

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

RESPOSTAS DE TRIGO À GEADA

EUNICE PORTELA DA SILVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, janeiro de 2008

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

RESPOSTAS DE TRIGO À GEADA

EUNICE PORTELA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Rocca da Cunha

Co-orientador: Dr. João Leonardo Fernandes Pires

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, janeiro 2008



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

“Respostas de trigo à geada”

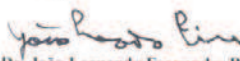
Elaborada por

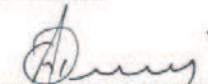
EUNICE PORTELA DA SILVA

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Área de Produção Vegetal

Aprovada em: 31/01/08
Pela Comissão Examinadora


Dr. Gilberto Rocca da Cunha
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador


Dr. João Leonardo Fernandes Pires
Embrapa Trigo
Co-orientador


Dr. Genesio Antonio Dalmago
Embrapa Trigo


Dr. Wilson Antonio Klein
Coordenador PPG Agro


Dr. Mauro Antonio Rizzardi
Diretor FAMV


Dr. Sandro Bonow
Embrapa Trigo

CIP – Catalogação na Publicação

S586r Silva, Eunice Portela da
Respostas de trigo à geada / Eunice Portela da Silva.
– 2008.
113 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Prof. Dr. Gilberto Rocca da Cunha.
Co-orientação: Dr. João Leonardo Fernandes Pires.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade
de Passo Fundo, 2008.

1. Trigo – Cultivo. 2. Plantas – Proteção da geada.
3. Trigo – Frio – Efeito fisiológico. I. Cunha, Gilberto
Rocca da, orientador. II. Pires, João Leonardo Fernandes,
co-orientador. III. Título.

CDU : 633.11

Catalogação: bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues-CRB10/1569

“... À vontade de se tornar algo melhor a cada dia é o que
faz o ser humano sonhar.

Projetar idéias e desejos, e lutar para transformar o que
um dia foi um simples pensamento em uma situação real.

Nunca desistir de algo que se deseja muito e que se
almeja fazer parte da vida.

O ser humano sonha! Mas se ele apenas sonhasse nunca
saberia do que é capaz,
é preciso conquistar os sonhos...”

AGRADECIMENTOS

À Universidade de Passo Fundo, em especial...

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, que tão bem souberam transmitir seus ensinamentos, suas experiências e saber.

A Mari Gomes Viecelli, pela idoneidade e presteza.

À Embrapa Trigo...

Por disponibilizar subsídios científicos, financeiros e técnicos para a execução do projeto.

Ao professor, pesquisador e orientador, Dr. Gilberto Rocca da Cunha, pela confiança, dedicação e instrução.

Ao pesquisador e co-orientador João Leonardo Fernandes Pires, pela orientação e, principalmente, pela extrema dedicação na realização de todos os ensaios realizados.

Aos empregados do Laboratório de Meteorologia Aplicada à Agricultura, Aldemir Pasinato e Ivegndonei Sampaio, pelo carinho, amizade e colaboração na realização desse trabalho.

Às estagiárias e aos estagiários do Laboratório de Meteorologia Aplicada à Agricultura, Ana Rubia Marquez Luiz, Cristiane Maria da Rosa, Fernanda Nicknich, Jackseli Hennerich, Silvana Ughini, Gilso Fanton e Irton Luersen, pela amizade, descontração e auxílio nos trabalhos de campo e nos de telado.

À Fernanda Nicknich, eterna companheira e amiga em todas as tarefas realizadas durante a execução do projeto.

A Taymara Bonissoni, empregada do Laboratório de Sementes.

Aos empregados do Laboratório de Solos, Marisa Dahmer e Olmiro Kellermann, pelo auxílio e amizade.

Aos empregados do Laboratório de Fisiologia Vegetal, Ângelo Dal Bosco Filho e Edson Roberto Costenaro, pela dedicação, ensinamento e estima.

Às estagiárias Pâmela e Nalígia, pela ajuda prestada durante a trilha de espigas e pela amizade.

Ao pesquisador Pedro Luiz Scheeren e aos empregados da Área de Melhoramento Genético, em especial Edson Maciel, Dirceu Rebechi e Eloi Primaz pela orientação, apoio, carinho, amizade e ajuda nas semeaduras dos ensaios a campo.

Aos empregados da Casa de Apoio, em especial Joacelia Colla, Sergio Zanchett, Juarez Fassini, Sebastião Facchi, Geraldo Nunes e Luis Rosa, pelo auxílio prestado na realização dos ensaios de telado e pela amizade.

Ao técnico agrícola Ademir Vicari, experiente contador de grãos.

Aos empregados da Turma Geral, em especial ao senhor Darci de Mello e Carlos Tuzen, pela assistência nas épocas de colheita.

Ao responsável pelos campos experimentais, Jaime Tonello.

Ao responsável pelo setor de transporte, Neori Damini, que sempre conseguia um carro.

À assistente de bibliotecária, Rosana Lopes, pelo excelente atendimento, atenção e respeito.

À analista do setor de informática, Márcia Pimentel, pela assistência técnica e amizade.

Aos colegas de curso...

Em especial a Karinne, Daniela F, Daniela H, Luciane, Fabiana, Étel, Rafael e Odirce, pela amizade, carinho e companheirismo.

Às amigas Margarida e Roseana, duas pessoas muito especiais que jamais esquecerei.

A minha família...

Meus queridos pais, Edy Maria e Orildo Portela da Silva, e meus irmãos Aline e Maurício, pelo incentivo, apoio, compreensão e força nos momentos de desânimo.

Ao meu marido Márcio Thielke, pelo apoio, ajuda, compreensão e amor.

A Deus...

Por permitir a finalização de mais uma etapa em minha vida.

SUMÁRIO

Lista de tabelas	x
Resumo	01
Abstract	03
1 INTRODUÇÃO	05
2 REVISÃO DE LITERATURA	07
2.1 Geada - fenômeno climático.....	07
2.2 Danos e tolerância de trigo à geada.....	10
2.2.1 Fases de desenvolvimento	11
2.3 Danos e tolerância à geada em nível celular	14
2.4 Genética da tolerância à geada	19
2.4.1 Vernalização	20

CAPÍTULO I

FATORES ABIÓTICOS ENVOLVIDOS NA TOLERÂNCIA DE TRIGO À GEADA

Resumo	22
Abstract	24
1 Introdução.....	26
2 Material e Métodos.....	29
2.1 Estudo I - Simulação de geada com aclimatação de plantas ...	31
2.2 Estudo II - Intensidade de geada	32
2.3 Estudo III - Simulação de geada em plantas submetidas a déficit hídrico	33
2.4 Levantamento e análise de dados	36
3 Resultados e Discussão	37

3.1 Estudo I: Simulação de geada com aclimação de plantas	37
3.1.1 Efeito da aclimação na percentagem de queima de folha	37
3.1.2 Efeito da aclimação na matéria seca total.....	42
3.1.3 Efeito da aclimação na matéria seca de grãos	44
3.2 Estudo II - Intensidade de simulação de geada	48
3.2.1 Efeito da intensidade de geada na matéria seca total	48
3.2.2 Efeito da intensidade de geada na matéria seca de grãos.....	50
3.3 Estudo III - Simulação de geada em plantas de trigo submetidas a déficit hídrico.....	52
3.3.1 Efeito do déficit hídrico na percentagem de queima de folha	52
3.3.2 Efeito do déficit hídrico na matéria seca total.....	57
3.3.3 Efeito do déficit hídrico na matéria seca de grãos.....	60
4 Conclusões.....	64

CAPÍTULO II

TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE TRIGO À GEADA

Resumo	65
Abstract	67
1 Introdução.....	69
2 Material e Métodos.....	71
2.1 Estudo I - Simulação de geada em diferentes genótipos de trigo.....	73
2.2 Estudo II: Simulação de geada em linhas quase-isogênicas de trigo.....	74

2.3 Análise estatística	76
3 Resultados e Discussão	76
3.1 Estudo I - Simulação de geada em diferentes genótipos de trigo.....	77
3.1.1 Efeito da geada na percentagem de queima de folha	77
3.1.2 Efeito da geada na matéria seca total	82
3.2 Estudo II: Simulação de geada em linhas quase-isogênicas de trigo.....	84
3.2.1 Efeito da geada na matéria seca total	84
3.2.2 Efeito da geada na matéria seca de grãos	86
4 Conclusões.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÊNDICES	96

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
1	Datas que determinaram os níveis de déficit hídrico para os estádios de trigo avaliados, com respectivos dias de simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005 35
2	Percentagem de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada em dois regimes térmicos diferentes, três distintos estádios de desenvolvimento e duas cultivares de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005 39
3	Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada em dois regimes térmicos diferentes, dois distintos estádios de desenvolvimento e duas cultivares de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005..... 40
4	Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada em dois regimes térmicos diferentes e duas cultivares de trigo, no estádio de desenvolvimento alongamento. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005..... 40
5	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) nos estádios de alongamento e espigamento em duas cultivares de trigo e em dois regimes térmicos de aclimação, com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004 43
6	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) nos estádios afilhamento, alongamento e espigamento em duas cultivares de trigo e em dois regimes térmicos de aclimação, com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005..... 44
7	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) nos estádios de alongamento e espigamento em duas cultivares de trigo, submetidas a dois regimes térmicos de aclimação, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004 45
8	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estádio de afilhamento em duas cultivares de trigo e regimes térmicos de aclimação. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005 46
9	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estádio de alongamento para duas cultivares de trigo e dois regimes térmicos de aclimação, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo,

Passo Fundo, RS-2005	46
10 Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de espigamento para duas cultivares de trigo e dois regimes térmicos de aclimatação, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005	47
11 Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) nos estádios alongamento e espigamento de duas cultivares de trigo em diferentes intensidades de geada, com respectivos valores médios. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004	49
12 Matéria seca de grãos (g m^{-2}) nos estádios alongamento e espigamento de duas cultivares de trigo em diferentes intensidades de geada, com respectivos valores médios. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004.....	51
13 Percentagem de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada, no estágio de afilhamento de duas cultivares de trigo e quatro intensidades de déficit hídrico, nos tratamentos com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005.....	54
14 Percentagem de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada, nos tratamentos com e sem geada, em dois diferentes estádios de desenvolvimento de duas cultivares de trigo, submetidas a quatro diferentes intensidade de déficit hídrico. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS -2005.....	54
15 Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada, no estágio de afilhamento de duas cultivares de trigo e quatro intensidades de déficit hídrico, nos tratamentos com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005.....	55
16 Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação de geada, nos estádios de alongamento e espigamento de duas cultivares de trigo, em quatro diferentes intensidades de déficit hídrico, nos tratamentos com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005.....	57
17 Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) no estágio de afilhamento em duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de	

	geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	58
18	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) no estádio de alongamento em duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	59
19	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) no estádio de espigamento de duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	60
20	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estádio de afilamento em duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	61
21	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estádio de alongamento de duas cultivares de trigo, em diferentes níveis de déficit hídrico e com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	62
22	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estádio de espigamento de duas cultivares de trigo, em diferentes níveis de déficit hídrico e com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005.....	63
23	Nota de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada no estádio de alongamento em diferentes genótipos de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	80
24	Nota de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada no estádio de alongamento em diferentes genótipos de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005	81
25	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) de diferentes genótipos de trigo, com e sem simulação de geada no estádio de alongamento. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005	83
26	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo no estádio de alongamento das plantas, na média de tratamentos com e sem aplicação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004	85
27	Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo, no estádio de espigamento, na	

	média de tratamentos com e sem aplicação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004	86
28	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo, submetidas a condições de geada no estágio de alongamento das plantas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004	87
29	Matéria seca de grãos (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo, com e sem simulação de geada no estágio de espigamento das plantas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004	88

RESPOSTAS DE TRIGO À GEADA

Eunice Portela da Silva¹, Gilberto Rocca da Cunha², João Leonardo Fernandes Pires³

RESUMO - A incidência de geadas tem ocasionado reduções significativas na produção de grãos em trigo. As condições ambientais que antecedem as geadas interferem na extensão dos danos provocados. O objetivo foi caracterizar a resposta de cultivares de trigo, quanto a sua susceptibilidade à geada. O trabalho foi realizado na Embrapa Trigo, nos anos de 2004 e 2005, em condições de telado e câmara de crescimento. Foram realizados cinco estudos. Nos três primeiros os tratamentos foram: cultivares de trigo, regimes de aclimação, intensidades de geada e níveis de déficit hídrico antes da geada. E nos dois subseqüentes, os tratamentos foram: 29 genótipos de trigo e geada e 7 linhas quase-isogênicas de trigo e geada. Os tratamentos foram simulados nos estádios de afilamento, alongamento e espigamento. Foram avaliados a queima de folhas após a geada, matéria seca total e de grãos. Para as intensidades de -4°C e -7°C no alongamento, ocorreu redução em 27,4% e 35,2% respectivamente, na matéria seca de grãos, em relação à temperatura

¹ Bióloga, mestranda do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, área de concentração Produção Vegetal.

² Orientador, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, professor de Bioclimatologia Vegetal do PPGAgro, e-mail: cunha@cnpt.embrapa.br.

³ Co-orientador, pesquisador da Embrapa Trigo.

de 2°C (não receberam geada). A geada de -7°C, no espigamento, provocou esterilidade das espiguetas. Déficit hídrico de 9 dias, no alongamento e espigamento reduziu queima de folhas e menor perda de matéria seca total e de grãos, em relação a déficits menores. O genótipo mais sensível à queima de folhas foi o BR18-Terena, enquanto BRS Umbu, BRS Guabiju e a Linhagem PF 990606, praticamente, não apresentaram queima de folhas. Os genótipos IAC-5 Maringá e BR18-Terena apresentaram maior matéria seca total da parte aérea. O trigo Pitic teve maior produção de matéria seca total aérea no alongamento e espigamento, enquanto o genótipo Yecora Rojo Inverno apresentou menor produção de matéria seca de grãos para geada no alongamento. Com geada no espigamento, somente as cultivares Phoenix e Yecora Rojo primavera apresentaram produção de grãos, sendo Phoenix, 96% mais produtiva. Entre os genótipos e as linhas quase-isogênicas de trigo avaliadas existem materiais tolerantes a geada, principalmente no alongamento e se forem submetidos à aclimação e/ou déficit hídrico antes da ocorrência das mesmas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., aclimação, temperaturas congelantes, déficit hídrico, linhas quase-isogênicas

WHEAT RESPONSE TO FROST

Eunice Portela da Silva¹, Gilberto Rocca da Cunha², João Leonardo Fernandes Pires³

ABSTRACT - The incidence of frost has caused significant grain yield losses in wheat. The environmental conditions that plants are exposed prior to frost interfere in the extent of damage. The objective of this work was to characterize wheat cultivar response to frost incidence. The experiments were carried out at Embrapa Trigo, during the years 2004 and 2005, under screen houses and growth chamber conditions. Experiments were planned to determine the effect of regimes of acclimatization, frost intensity and water stress on symptoms of leaf scorching and grain yield of two commercial wheat cultivars BR 18 and BRS 194. Frost was simulated at growth stages of tillering, stem elongation and heading. In another experiment the effect of frost, based on leaf symptoms and grain yield, at growth stages of stem elongation and heading was evaluated in 29 genotypes of wheat and frost and 7 near-isogenic lines (*vrn*). Frost intensity at -4 ° C and -7 ° C, at stem elongation stage, reduced grain dry matter by 27.4% and 35.2%, respectively, if compared to the control temperature of 2 ° C. A frost intensity of -7 °C, at heading, caused

¹Bióloga, mestranda do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, área de concentração Produção Vegetal.

² Orientador, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, professor de Bioclimatologia Vegetal do PPGAgro, e-mail: cunha@cnpt.embrapa.br.

³ Co-orientador, pesquisador da Embrapa Trigo.

spikelets sterility. A dry spell of 9 days, at heading and stem elongation reduced leaf scorching symptoms increased total grain dry weight compared to shorter periods of water stress. The cultivar BR18 showed the highest levels of leaf scorching while BRS Umbu, BRS Guabiju and PF 990606, showed almost no symptoms. The cultivars IAC-5 Maringá and BR18-Terena had the highest total shoot dry weight. The Pitic wheat showed the highest shoot weight at stem elongation and heading stage, while the genotype Yecora Rojo winter had lowest grain dry matter content when frost was simulated at stem elongation. In contrast, only the cultivars Phoenix and Yecora Rojo spring set some grains when frost was simulated at the heading stage. The cultivar Phoenix had 96% more grains when compared to the others. Among the genotypes and the near-isogenic lines of wheat evaluated exists materials tolerant of frost, especially, at the stem elongation and when subjected to acclimatization and / or water deficit prior the frost incidence.

Key words: *Triticum aestivum* L., acclimatization, freezing, water deficit, near-isogenic lines

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de geadas têm provocado reduções de rendimentos na cultura do trigo, na maioria dos estados onde esse cereal é cultivado no Brasil, principalmente quando ocorrem geadas de primavera (tardias).

Para a agricultura a geada é fator de risco devido à falta de uma regularidade cronológica. Em alguns anos, dependendo da intensidade e principalmente ao estágio de desenvolvimento do trigo, os danos podem ser elevados.

No Brasil, a geada é um fenômeno freqüente nas latitudes maiores que 19° S, englobando os estados de Minas Gerais (Triângulo Mineiro e região sul), São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A cultura do trigo em geral tem boa adaptação às baixas temperaturas durante grande parte de seu ciclo, mas há circunstâncias em que as variações bruscas de temperatura podem afetar tecidos em pleno crescimento.

O estado fisiológico da planta também tem interferência sobre a magnitude do dano. A prévia exposição às baixas temperaturas desempenha um papel importante antes da ocorrência de uma geada e, também, sua duração ou tempo de exposição às temperaturas extremas. Também é relevante a umidade relativa do ambiente e o conteúdo de água no solo no momento de ocorrência de geada.

A sensibilidade do trigo à geada começa a aumentar depois do início do emborrachamento. Atinge o seu máximo na floração e diminui após os estádios de grão em massa mole e dura.

Geadas também podem causar danos quando ocorrem antes do emborrachamento. Conforme a intensidade e a sensibilidade da cultivar, os prejuízos podem ser consideráveis como: a queima de folhas, estrangulamento de colmos e morte de plantas. As espigas, após exposição a geadas, exibem coloração branca e elevada esterilidade e na floração, não se identifica diferenciação genética entre cultivares (CUNHA, 2003).

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a resposta de cultivares de trigo a fatores abióticos, quanto à susceptibilidade à geada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A variabilidade atmosférica é um dos principais determinantes de incertezas na atividade agrícola. Neste particular, a cultura de trigo, apesar de sua ampla adaptação a regiões climaticamente muito diferentes, em nível mundial, tem seu rendimento de grãos afetado, tanto em quantidade como em qualidade, por variações meteorológicas durante o período de cultivo (PASCALE, 1974). As melhores condições que a atmosfera pode oferecer a esta gramínea são aquelas encontradas no clima temperado (BAYMA, 1960).

No sul do Brasil, as temperaturas do ar favoráveis ao crescimento do trigo ocorrem durante o período de junho a outubro (MUNDSTOCK, 1998). Porém, severos danos podem ser causados à cultura quando temperaturas muito baixas (geadas) coincidem com a floração e início da formação de grãos (SCHEEREN, 1986; MUNDSTOCK, 1998).

2.1 Geada - fenômeno climático

Geada, do ponto de vista físico, é o fenômeno de deposição de gelo cristalino, sobre superfícies expostas ao ar livre (VAREJÃO-SILVA, 2000). Do ponto de vista agrônomo, é qualquer queda de temperatura capaz de causar danos às plantas (ANTUNES et al., 1979).

O depósito de gelo, sobre superfícies expostas ao ar livre, ocorre em forma de agulhas ou de prismas, ramificados ou não, de escamas, ou de leque, resultantes da sublimação do vapor de d'água existente no ar adjacente (VAREJÃO-SILVA, 2000).

Por outro lado, como a ocorrência de gelo sobre a superfície depende do teor de umidade do ar, pode ocorrer igualdade entre a temperatura da superfície e a temperatura de ponto de orvalho do ar, a uma temperatura superior a 0°C, ocorrendo inicialmente a formação de orvalho o qual congela quando a temperatura da superfície cai a 0°C (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

Como o ar frio tende a escoar para os vales, o risco de geada em terrenos baixos é substancialmente maior que nos planaltos e nas encostas. Em certas situações a umidade do ar é insuficiente para originar quaisquer depósitos de gelo. No entanto, se são atingidas temperaturas inferiores a 0°C durante a madrugada, o protoplasma das células de algumas plantas, pode congelar, o que acarreta ruptura de membrana celular. Ao raiar do dia com o aquecimento provocado pelo sol, a temperatura volta a se elevar e as plantas apresentam parcial ou totalmente necrosadas, evidenciando a morte dos tecidos atingidos. Esse fenômeno, bastante temido pelos agricultores do sul do país, é vulgarmente conhecido como geada negra (VAREJÃO-SILVA, 2000).

A ocorrência de geadas está associada à entrada de massas de ar de origem polar, estacionada ou em deslocamento, caracterizadas por: geadas de advecção (provocadas por invasões de ar frio), geadas de radiação (resfriamento das superfícies por perda de radiação de ondas longas durante a noite) e geadas mistas, em que

estão envolvidos os dois processos (maioria). Conforme a época de ocorrência tem-se as populares: geadas do cedo (outono) e geadas do tarde (primavera) (CUNHA, 2003).

Somado a entrada de massas de ar polar, os fatores climáticos, especialmente, altitude, latitude, continentalidade, forma de relevo e características da superfície influem na formação de geadas (BERGAMASCHI et al., 2003).

A simples referência entre a primeira e a última geada, e o período entre elas, em seus diferentes níveis de probabilidade, permitem estimar riscos relativos de danos para a vegetação. A brotação e a floração das plantas perenes e a emergência das plântulas sobre o solo, indicam o início da primavera e maior sensibilidade ao frio e, portanto, susceptibilidade a geadas tardias. De igual modo, os frios prematuros podem interromper o processo de maturação dos frutos, prejudicando a produção para o ano subsequente (BURGOS, 1963).

A intensidade da geada é medida pela temperatura mínima atingida abaixo de 0°C com um termômetro de mínima instalado junto à superfície do solo no posto meteorológico. A temperatura mínima de relva é inferior à temperatura mínima no abrigo. Essa diferença ocorre em função da intensidade do resfriamento noturno, sendo em média de 3°C (TUBELIS e NASCIMENTO, 1980).

2.2 Danos e tolerância de trigo à geada

O crescimento das plantas e entre elas o trigo é sensível à temperatura. Alteração em poucos graus conduz em mudança significativa na razão de crescimento. Cada espécie tem um ciclo de vida e condições de temperatura mínima (abaixo da qual não cresce), temperatura ótima e temperatura máxima (acima da qual não ocorre crescimento) onde a planta pode morrer. As plantas param de crescer em temperatura mínima e máxima e freqüentemente entram em estresse (SALISBURY e ROSS, 1992).

A habilidade dos cereais de inverno em tolerar temperaturas relativamente baixas é determinada por meio de interações físicas e bioquímicas complexas que são dependentes do genótipo e de fatores ambientais. Entre estes fatores, a temperatura é o fator ambiental principal que sincroniza a expressão do potencial genético da planta com a demanda ambiental para tolerância ao frio (FOWLER et al., 1999).

A tolerância das plantas ao resfriamento pode aumentar se as mesmas forem aclimatadas por exposição a baixas temperaturas, mas não congelantes. Assim, o dano por resfriamento pode ser minimizado se a exposição for lenta e gradual. Uma exposição repentina a temperaturas em torno de 0°C, denominada de choque de frio, aumenta as chances de dano (FOWLER et al., 1999; XIN e BROWSE, 2000).

O fenômeno de aclimação ocasiona mudanças fisiológicas, bioquímicas, e moleculares a célula vegetal e estão

associadas com o desenvolvimento de tolerância a geadas (FOWLER et al., 1999; XIN e BROWSE, 2000).

2.2.1 Fases de desenvolvimento

Nos estádios iniciais de desenvolvimento do trigo a geada causa poucos danos, pois as partes expostas são apenas as folhas, que apresentam elevada tolerância, e a planta mantém o seu ponto de crescimento abaixo da superfície do solo, preservando os tecidos dos efeitos do congelamento (MUNDSTOCK, 1998). A temperatura letal para a fase germinativa é -9°C na relva e de -5°C no abrigo (ROSENBERG et al., 1983).

No pré-afilhamento o ápice de crescimento (vegetativo e gerador de folhas) permanece pequeno, em forma de uma cúpula, com 0,5 a 1,0 mm de comprimento, localizando-se abaixo da superfície do solo. Durante este período o ápice de crescimento gera folhas e afilhos até o momento do aparecimento do primeiro primórdio de espiguetas no ápice (estádio denominado duplo anel) (RODRIGUES, 2000). Nesta fase os órgãos vegetativos são capazes de desenvolver um elevado grau de aclimação, quando submetidos a baixas temperaturas não letais. Em trigos de inverno, a tolerância máxima a geadas, em plantas completamente aclimatadas pode chegar a -15°C por somente 6 dias, e sobreviver a -18°C por somente 24 horas, e a -23°C por 12 horas (GUSTA et al., 1982).

A aclimação das plântulas de trigo pode iniciar no começo da germinação, antes mesmo da emergência do coleóptilo,

caso a temperatura do solo se encontre suficientemente baixa. A aclimação nesta fase é importante para a sobrevivência das plântulas em regiões onde é freqüente a incidência de geadas ao início do desenvolvimento da cultura (SINGLE, 1971).

O estágio de alongação é marcado pelo rápido crescimento das células na base dos entrenós. Na alongação, a tolerância a geadas diminui gradualmente por causa do alto conteúdo hídrico e da baixa concentração de solutos existentes nas células, aumentando o ponto de congelamento (WENDT e TEIXEIRA, 1989).

À medida que a colheita se aproxima a planta fica mais vulnerável aos danos provocados por baixas temperaturas, pois os colmos e as espigas se elevam da superfície do solo para zonas onde temperaturas mais baixas ocorrem e as espigas quando emergem da bainha ficam expostas na parte mais fria do perfil da cultura (MUNDSTOCK, 1998).

As espigas são muito mais sensíveis a injúria que as folhas e colmos. Os órgãos florais são incapazes de tolerar o mínimo grau de formação de gelo interno. Quando as espigas são expostas a inoculação direta pelos cristais de gelo, os quais são abundantes na superfície das folhas e glumas, a resistência da espiga ao congelamento vai depender da eficiência dos nós da ráquis e da ráquila em bloquearem a propagação do gelo (WENDT e TEIXEIRA, 1989).

Durante o estágio de espigamento temperaturas menores ou iguais a -3°C podem ser letais à espiga de trigo. Segundo Scheeren et al. (2000) quando ocorrem geadas muito intensas, temperaturas

abaixo de -2°C no abrigo meteorológico, na fase de florescimento, os danos são totais e as perdas irreversíveis.

Estudos realizados por Cromey et al. (1998) sobre os efeitos da geada no enchimento de grãos de trigo revelaram perdas de rendimento de grãos globais entre 13 e 33%, considerando que em grãos saudáveis, as capas que compõem o pericarpo e a testa estavam comprimidas. Nos grãos afetados pela geada as capas encontravam-se frouxamente comprimidas e havia cadeias não estruturadas de células. A capa de aleurona era menos ordenada em grãos atingidos pela geada que em grãos normais, e sempre não era distinguida do endosperma.

Whaley et al. (2004) verificaram danos nos internódios das espiguetas claramente a campo, sendo que, espigas com falhas na região central são indicativas de incidência de geadas no início da antese.

Szúcs et al. (2003) relatam que a umidade do solo influencia na concentração de solutos nas células das plantas afetando a sobrevivência dos tecidos vegetais por causa da formação de gelo em temperaturas inferiores a 0°C . Os autores constataram que os genótipos de trigo (*Triticum durum*) toleraram mais a geada quando em solo muito seco (28% da capacidade do solo natural), enquanto que os cultivares com tolerância menor ao frio sofreram uma maior mortalidade em solo úmido (conteúdo de água 67,3%) ou muito úmido (conteúdo de água 74,8%). Os cultivares tolerantes ao congelamento não foram influenciados pela umidade do solo. Em uma experiência semelhante com trigo pão (VEISZ e TISCHNER, 1995), foi demonstrado que a diferença entre conteúdo de umidade do solo durante o processo de congelamento teve pouca influência na

sobrevivência das cultivares tolerantes ao frio. Enquanto para cultivares menos tolerantes ou com tolerância moderada ao frio, diferenças em mais de 50% foram observadas com relação a sobrevivência das plantas, em diferentes teores de umidade do solo.

Veisz et al. (2001) estudaram a percentagem de sobrevivência de quatro cultivares de trigo de inverno, com e sem tolerância a geadas, em condições de fitotron em temperaturas de -14°C e -16°C. Os danos sobre os componentes de rendimento em plantas danificadas por geada a -14°C foi menor que em plantas submetidas a temperaturas de -16°C. Dos componentes, a redução no número de espigas por planta e, por conseguinte, no número de grãos por espiga, a massa de grão e o rendimento de grão, deram a indicação mais clara da extensão dos danos na planta.

2.3 Danos e tolerância em nível celular à geada

Para Săulescu e Braun (2001) a tolerância das plantas à geada é definida pela habilidade de sobreviver à formação de gelo nos tecidos extracelulares. Deve-se destacar que a formação de gelo intracelular é sempre letal. O potencial químico da solução intracelular deve ser equivalente ao potencial químico da solução externa ou do gelo. O equilíbrio é atingido por meio da remoção da água intracelular. Para evitar a desidratação por estresse ao frio, o potencial osmótico da solução intracelular é aumentado e o potencial osmótico da solução extracelular é diminuído.

As folhas de plantas danificadas por resfriamento mostram inibição da fotossíntese, translocação mais lenta de carboidratos, taxas respiratórias mais baixas, inibição da síntese protéica e aumento da degradação de proteínas existentes que envolvem a perda de função da membrana plasmática durante o resfriamento (TAIZ e ZEIGER, 1998). Em plantas sensíveis ao resfriamento os lipídios na bicamada têm uma percentagem alta de cadeias de ácidos graxos saturados e as membranas com essa composição tendem a se solidificar em um estado semicristalino a uma temperatura inferior a 0°C. Os lipídios de membranas de plantas tolerantes ao resfriamento têm uma proporção maior de ácidos graxos não saturados e durante a aclimação a temperaturas baixas aumenta a atividade de enzimas como dessaturases e a proporção de lipídios não saturados eleva-se. Essa modificação diminui a temperatura a qual os lipídios começam uma gradual mudança de fase de fluido para semicristalino e permite às membranas permanecerem fluidas sob temperaturas mais baixas (PEARCE, 2001).

O gelo geralmente forma-se primeiro dentro de espaços intercelulares e nos vasos, ao longo dos quais pode se propagar rapidamente. Essa formação de gelo não é letal às plantas vigorosas e o tecido se refaz por completo, uma vez aquecido. No entanto, quando as plantas são expostas a temperaturas de congelamento por um período longo, o crescimento de cristais de gelo extracelulares provoca um movimento de água líquida do protoplasto para o gelo extracelular, causando desidratação excessiva (XIN e BROWSE, 2000). Segundo os mesmos autores, durante o congelamento rápido, o protoplasto, incluindo o vacúolo, refrigera, ou seja, a água celular

permanece líquida, mesmo sob temperaturas vários graus abaixo do ponto teórico de congelamento. Muitas centenas de moléculas são necessárias para começar a se formar um cristal de gelo. O processo pelo qual a quantidade de moléculas de água começam a formar um cristal de gelo estável é denominado nucleação de gelo e ele depende muito das propriedades das superfícies envolvidas.

Alguns polissacarídeos e proteínas facilitam a formação de cristal de gelo e são chamados de nucleadores de gelo. Algumas proteínas de nucleação de gelo produzidas por bactérias parecem facilitar esse processo, por intermédio do alinhamento de moléculas de água ao longo de repetidos domínios de aminoácidos dentro da proteína. Em células vegetais, os cristais de gelo começam a crescer a partir de nucleadores de gelo endógenos; os cristais de gelo intracelulares resultantes, relativamente grandes, provocam dano extensivo à célula e são, vias de regra, letais (TAIZ e ZEIGER, 1998).

Diversas proteínas vegetais especializadas podem auxiliar a limitar o crescimento de cristais de gelo, por meio de um mecanismo não-coligativo, isto é, um efeito que não depende do abaixamento do ponto de congelamento da água pela presença de solutos. Tais proteínas anticongelamento são induzidas por temperaturas baixas, as quais se ligam às superfícies de cristais de gelo, a fim de evitar ou retardar o seu crescimento interior (PEARCE, 2001).

Em folhas de centeio, as proteínas anticongelamento estão localizadas nas células epidérmicas e em células que delimitam os espaços intercelulares, onde elas podem inibir o crescimento de gelo extracelular. As plantas e os animais podem utilizar mecanismos similares para limitar cristais de gelo: um gene induzido pelo frio,

identificado em *Arabidopsis*, tem DNA homólogo a um gene que codifica a proteína anticongelamento em peixes (TAIZ e ZEIGER, 1998).

Os açúcares e algumas das proteínas induzidas pelo frio são suspeitos de terem efeitos crioprotetores. Eles estabilizam proteínas e membranas durante a desidratação induzida por temperatura baixa. No trigo de inverno, quanto maior a concentração de sacarose, tanto maior é também a tolerância ao congelamento. A sacarose predomina entre os açúcares solúveis associados com a tolerância ao congelamento, que funcionam de uma maneira coligativa, mas, em algumas espécies, a rafinose, os frutanos, o sorbitol ou o manitol cumprem a mesma função (VÁGÚJFALVI et al., 1999).

Durante a aclimação de cereais de inverno ao frio, os açúcares solúveis acumulam-se nas paredes celulares, onde podem restringir o crescimento dos cristais de gelo. A formação de gelo começa entre -3 a -5°C nos espaços intercelulares, onde os cristais continuam a crescer, supridos pela retirada gradual de água do protoplasto, que permanece não-congelada. A resistência a temperaturas de congelamento depende da capacidade dos espaços extracelulares de acomodar o volume de cristais de gelo em crescimento e da capacidade do protoplasto de suportar a desidratação. Porém, a exposição repentina a temperaturas muito baixas antes de aclimação total causa congelamento intracelular e morte celular (TAIZ e ZEIGER, 1998).

Quando folhas são submetidas a temperaturas de -3 a -5°C, a formação de cristais de gelo sobre a superfície (geada) é acelerada

por certas bactérias, tais como *Pseudomonas syringae* e *Erwinia herbicola*, que naturalmente habitam a superfície foliar e agem como nucleadores de gelo. Quando inoculadas artificialmente com culturas dessas bactérias, as folhas de espécies sensíveis à geada congelam a temperaturas mais altas que as folhas que estão livres de bactérias (LINDOW, 1983). O gelo da superfície rapidamente se expande para os espaços intercelulares dentro da folha, levando à desidratação celular (PEARCE, 2001).

Cepas de bactérias podem ser geneticamente modificadas, de modo que elas perdem as suas características de nucleação de gelo. Tais cepas têm sido usadas comercialmente em pulverizações foliares de cultivos de importância agrônômica sensíveis à geada, como o morangueiro, para competir com cepas nativas de bactérias e, assim, minimizar o número de pontos potenciais de nucleação de gelo (LINDOW, 1983). Segundo o mesmo autor, manter as plantas na condição mais saudável possível evita a ação dos microorganismos congelantes. Nem todas as raças de bactérias se tornam focos para a formação do gelo. Muitas vezes, as bactérias nocivas representam 1% do total existente na planta.

O ácido abscísico (ABA) parece ter um papel na indução de tolerância ao congelamento. O trigo de inverno, o centeio, o espinafre e *Arabidopsis thaliana* são espécies tolerantes ao frio, que, quando em condições de escassez de água tem sua tolerância ao congelamento aumentada. Essa tolerância ao congelamento é aumentada, sob temperaturas que não são de aclimação, por déficit hídrico moderado ou a temperaturas baixas, que elevam as concentrações do ABA endógeno em folhas (TAIZ e ZEIGER, 1998).

As plantas desenvolvem tolerância ao congelamento sob temperaturas que não promovem a aclimação, quando tratadas com ABA exógeno. Muitos dos genes ou proteínas expressos a temperaturas baixas ou sob déficit hídrico são também induzíveis pelo ABA sob condições de não-aclimação. Estas descobertas suportam o papel do ABA na tolerância ao congelamento. Por outro lado, quando reaquecidas, as plantas perdem rapidamente sua tolerância ao congelamento; elas podem se tornar suscetíveis ao congelamento novamente em 24 horas (TAIZ e ZEIGER, 1998).

2.4 Genética da tolerância à geada

Nos últimos anos, com os avanços da biologia molecular foi possível reconhecer os mecanismos moleculares ativados durante a aclimação ao frio que asseguram a sobrevivência de plantas em invernos mais rigorosos (FOWLER et al., 1999; XIN e BROWSE, 2000).

As baixas temperaturas por si mesmo ou fatores secundários (ABA, glicídios, lipídios e condições hídricas) produzem uma resposta primária ao sinal, que podem resultar em mudanças adaptativas na membrana, ou nas proteínas ou nos hormônios receptores ABA, e esses, podem resultar em alterações na regulação dos genes envolvidos com a aclimação ao frio (GUSTA et al., 1997).

2.4.1 Vernalização

Em trigo podem ser encontrados de 15 a 21 cromossomos envolvidos na tolerância a baixas temperaturas. O maior número de genes semelhantes estão ligados as *Fr1* e *Fr2*, mas separados dos genes *Vrn1* no cromossomo 5A e dos *Vrn3* no cromossomo 5D, respectivamente (SNAPE et al., 1997).

A vernalização, caracterizada pela sensibilidade da planta ao tratamento frio para acelerar a formação do primórdio da espiga, é principalmente controlada por três genes principais, Vrn-A1, Vrn-B1 e Vrn-D1, localizados nos cromossomos 5A, 5B e 5D, respectivamente (KATO et al., 2001).

Os trigos de primavera mostram pequena ou nenhuma resposta a vernalização e os cultivares semeados no sul do Brasil não necessitam receber período de frio intenso para produzirem espigas normais, mas alguns deles reagem a vernalização modificando o comprimento do período que vai desde a emergência ao florescimento (CUNHA et al., 1998; MUNDSTOCK, 1998; RODRIGUES, 2000). Segundo Snape et al. (2001) a falta de exigência de vernalização é geralmente dominante.

A associação entre tolerância ao frio e a vernalização pode explicar parcialmente a proximidade dos genes que controlam a tolerância ao frio e os genes que controlam o hábito de desenvolvimento. Assim, os genes vernalizantes são identificados como a chave de identificação para o desenvolvimento de fatores responsáveis pela expressão da indução a baixas temperaturas dos genes estruturais (FOWLER et al., 1996).

A manipulação de genes e a aclimação no programa de melhoramento é uma tarefa difícil, devido a numerosos genes envolvidos e as numerosas interações com o ambiente. Mas, a maior dificuldade no melhoramento de trigo é que a tolerância à geada está geralmente associada com baixos rendimentos e maturação tardia (SĂULESCU e BRAUN, 2001).

CAPÍTULO I

FATORES ABIÓTICOS ENVOLVIDOS NA TOLERÂNCIA DE TRIGO À GEADA

Eunice Portela da Silva¹, Gilberto Rocca da Cunha², João Leonardo Fernandes Pires³

RESUMO - As condições ambientais que antecedem as geadas interferem na extensão dos danos provocados em trigo. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da aclimação, intensidade de geada e déficit hídrico nos danos provocados por geadas em trigo. O trabalho foi realizado em telado, com plantas cultivadas em vasos na área experimental da Embrapa Trigo. A aclimação e a geada foram simuladas em câmaras de crescimento. Os tratamentos foram: cultivares de trigo (BR18-Terena e BRS 194); regimes de aclimação (com e sem aclimação); intensidades de geada (2°C, -2°C, -4°C e -7°C) e níveis de déficit hídrico antes da geada (9, 6, 3 e 1 dia sem irrigação), divididos em três estudos e simulados nos estádios de afilhamento, alongamento e espigamento. Foram avaliados a queima de folhas 7 e 14 dias após a geada, matéria seca total e de grãos. A aclimação reduziu a queima de folhas quando comparada às não-

¹ Bióloga, mestranda do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, área de concentração Produção Vegetal.

² Orientador, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, professor de Bioclimatologia Vegetal do PPGAgro, e-mail: cunha@cnpt.embrapa.br.

³ Co-orientador, pesquisador da Embrapa Trigo.

aclimatadas, com produção de matéria seca, de 11%, 13% e 24% superior nos estádios de afilamento, alongamento e espigamento, respectivamente, considerando geada com intensidade de -7°C . Para as intensidades de -4°C e -7°C , ocorreu redução em 27,4% e 35,2% na matéria seca de grãos, em relação à intensidade de 2°C , quando as geadas foram simuladas no alongamento. A geada de -7°C , no espigamento, provocou esterilidade das espiguetas, inviabilizando a produção de grãos. Déficit hídrico de 9 dias, no alongamento, determinou menor queima de folhas pela geada e maior produção de matéria seca total, em relação a déficits menores. No espigamento, a matéria seca total decresceu em 42% e a matéria seca de grãos em 68%, do déficit de 9 para aquele de um dia, em plantas que receberam simulação de geada. Aclimação, e déficit hídrico antes de geadas não muito intensas, tornam o trigo mais tolerante às mesmas.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., congelamento, aclimação, déficit hídrico, estádios fenológicos.

ABIOTIC FACTORS INVOLVED IN WHEAT TOLERANCE TO FROST

Eunice Portela da Silva¹, Gilberto Rocca da Cunha², João Leonardo Fernandes Pires³

ABSTRACT - The environmental conditions prior to frost incidence interferes with the extent of damage in wheat. The objective of this study was to evaluate the influence of acclimatization, frost intensity and soil water deficit on damage caused by frost in wheat. The experiments were carried out in a screen house. The wheat plants were grown in pots. The acclimatization and frost incidence were simulated in a growth chamber. The abiotic factors were: regimes of acclimatization (with and without); temperature gradient (2 ° C, -2 ° C, -4 ° C and -7 ° C) and levels of soil water deficit prior to incidence of frost (9, 6, 3 and 1 day without irrigation). All factors were examined at tillering, stem elongation and heading stage of wheat cultivars BR-18 and BRS 194. The response variable was the degree of leaf scorching symptoms at 7 and 14 days after frost, and total dry weight of grains. The acclimatization reduced leaf scorching symptoms when compared to the control. A frost intensity of -7 °C

¹Bióloga, mestranda do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, área de concentração Produção Vegetal.

²Orientador, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, professor de Bioclimatologia Vegetal do PPGAgro, e-mail: cunha@cnpt.embrapa.br.

³Co-orientador, pesquisador da Embrapa Trigo.

resulted in grain dry weight 11%, 13% and 24% higher at tillering, stem elongation and heading stage, respectively, compared with control. Frost intensities of -4°C and -7°C , reduced 27.4% and 35.2% grain dry weight, when compared control temperature of 2°C , when the frosts were simulated on stem elongation stage. Freezing temperatures of -7°C , at heading stage, caused spiklets sterility with complete failure of grain set. Soil water deficit of 9 days, at stem elongation, resulted in less leaf scorching symptoms and higher total shoot dry matter, compared to shorter periods without irrigation. At the heading stage, total shoot dry weight decreased by 42% and grain weight by 68%, in the treatment of 9 days without irrigation and one day, in those plants that received simulation of frost. Acclimatization and soil water deficit before frost make wheat more tolerant to frost, especially, if temperatures are not too low.

Key words: *Triticum aestivum* L., freezing, acclimatization, water deficiency, growth stage.

1 INTRODUÇÃO

As plantas freqüentemente sofrem estresses, circunstâncias externas adversas que afetam o crescimento, desenvolvimento, e/ou a produtividade. A reação depende do grau e da duração dos mesmos, além da capacidade de resistência e adaptação peculiar de cada genótipo.

Todas as plantas, e dentre elas o trigo, capazes de sobreviver a temperaturas congelantes, possuem habilidades para resistir ao congelamento das células por um processo chamado de aclimatação ao frio (STAEHELIN e NEWCOMB, 2000). O fenômeno de aclimatação ocasiona mudanças fisiológicas, bioquímicas, e moleculares na célula vegetal (FOWLER et al., 1999). Desse modo, as plantas podem resistir não somente a temperaturas congelantes, mas também a desidratação induzida pelo congelamento.

A aclimatação ocorre em dois estágios, dependendo da ação sequencial das temperaturas de resfriamento ($>0^{\circ}\text{C}$) e de congelamento (-3 e -5°C). A diminuição do potencial hídrico nos tecidos, devido à diminuição do potencial osmótico (acumulação de açúcar nos vacúolos) é o aspecto mais importante no primeiro estágio da aclimatação. Isso está correlacionado com o aumento significativo do nível de ácido absísico (ABA) e resulta na modificação da síntese de proteínas. Entre os cereais ocorre grande diferença de temperatura acima de 0°C para iniciação da aclimatação (SĂULESCU e BRAUN, 2001). Trigo e cevada de primavera não iniciam a aclimatação em temperaturas acima de 2°C (GUSTA et al., 1997).

As temperaturas baixas desempenham o papel inicial na indução do fator aclimatação, mas outros estresses como a deficiência hídrica e o vento, também induzem certo nível de tolerância ao congelamento (SĂULESCU e BRAUN, 2001). As baixas temperaturas por si só ou os fatores secundários (ácido abscísico, ácidos graxos, açúcares e condições hídricas) produzem, em resposta ao sinal inicial, irregularidades na membrana plasmática e mudanças na estrutura de outras membranas e/ou das proteínas e/ou do hormônio receptor, ABA, que pode resultar na ativação de genes envolvidos com a aclimatação ao frio (GUSTA et al., 1997).

Para Săulescu e Braun (2001) a tolerância ao frio não é uma condição estática, pois ocorrem mudanças com o tempo, temperatura, umidade das plantas e do solo, nutrição, estágio e condições fisiológicas. O processo de aclimatação ao frio depende basicamente desses fatores, podendo parar, reverter-se, e reiniciar.

Segundo os mesmos autores, cada estágio do trigo é influenciado não somente por fatores genéticos (requerimento de vernalização e resposta fotoperiódica) ou de desenvolvimento (estádio da planta), mas também pelo ambiente. Períodos prolongados a temperaturas abaixo de 0°C diminuem significativamente a tolerância ao frio em plântulas de trigos de inverno.

Em trigos de inverno, a tolerância máxima a geadas, em plantas completamente aclimatadas pode chegar a -15°C por somente 6 dias, e sobreviver a -18°C por somente 24 horas, e a -23°C por 12 horas (GUSTA et al., 1982).

A duração e intensidade das temperaturas sub-zero é o principal fator determinante da perda da tolerância à geada e

conseqüentemente da morte de plantas de trigo (GUSTA et al., 1997). As conseqüências do frio intenso para as plantas vão desde sua destruição abrupta até outros tipos de danos que podem ocorrer de maneira imperceptível. Quanto maior for o tempo de exposição a temperaturas congelantes, maiores serão os danos provocados às plantas de trigo (SHROYER et al., 1995).

O estado hídrico do solo pode acentuar ou atenuar os efeitos da geada. Os danos serão mais severos em solos saturados de água do que em solos secos (BELLIDO, 1991). Quanto mais próximo da capacidade de campo estiver o conteúdo de água no solo, maior será a disponibilidade hídrica para as plantas e as células permanecem hidratadas (FLOSS, 2004). Assim, quando as plantas são expostas à geada, o crescimento de cristais de gelo extracelulares provoca um movimento de água líquida do protoplasto para o gelo extracelular, causando desidratação excessiva (XIN e BROWSE, 2000). Nos solos, em capacidade de murcha permanente, o potencial da água no solo reduz e dificulta a absorção de água pelas plantas (FLOSS, 2004). Quanto mais concentrado for o tecido vegetal, menor será o potencial da água e a desidratação provocada por temperatura congelantes.

O estudo teve como objetivos avaliar a influência da aclimação, da intensidade de geada e do déficit hídrico quanto à extensão dos danos provocados por geadas à cultura de trigo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Embrapa Trigo – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, localizada no município de Passo Fundo/RS nos anos de 2004 e 2005. A área está georeferenciada em 28° 15' S, 52° 24' W e 687 m de altitude.

Pela classificação Climática de Köppen, Passo Fundo está localizada na Zona Climática fundamental temperada (C), apresentando clima do tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (Cfa), sendo descrito como subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano (normal climatológica 1961-1990: 1.788 mm) e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Dezembro e junho são os meses de maior e menor densidade de fluxo de radiação solar com 22,3 MJm⁻²dia⁻¹ e 9,3 MJm⁻² dia⁻¹, respectivamente. Junho, julho e agosto são os meses de temperaturas mínimas inferiores a 10°C e com maior probabilidade de ocorrência de geadas (CUNHA, 1997).

Os experimentos foram conduzidos em vasos (unidades experimentais) sob condições de telado (tela clarite de polietileno). A tela utilizada reduz a intensidade luminosa em 9% e a temperatura interna diária do telado aumenta, em média, 1,5°C quando comparado com a temperatura externa.

O solo utilizado nos vasos é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

As cultivares de trigo utilizadas foram BR18-Terena e BRS 194. Essas cultivares possuem tolerâncias distintas a geada, sendo a

BR18-Terena mais suscetível a dano por baixas temperaturas que a BRS 194 (SCHEEREN et al., 2000).

As sementes de trigo foram tratadas com fungicida e inseticida indicados para a cultura do trigo e colocadas em germinador à temperatura de 20°C por 48 horas (antes do plantio) em papel de germinação umedecido.

A semeadura foi realizada no período indicado para a cultura (REUNIÃO..., 2004) em vasos tipo PVC com 7,8 kg de solo. Em cada unidade experimental (452,16 cm²) foram semeadas quinze sementes pré-germinadas. Após a emergência foi realizado desbaste, deixando-se nove plantas por vaso nos experimentos realizados em 2004 e sete plantas por vaso nos experimentos realizados em 2005.

Os tratos culturais de adubação e controle fitossanitário foram realizados conforme indicações estabelecidas para a cultura de trigo pela Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo (REUNIÃO..., 2004). Visando obter controle total de doenças e de insetos foram realizadas aplicações sistemáticas de fungicida e inseticida, de quinze em quinze dias. Essa rotina foi implementada para evitar que a ação de doenças ou insetos mascarassem os efeitos provocados pela geada nas plantas.

A irrigação dos vasos foi realizada diariamente, disponibilizando 0,25 litros no final da manhã e 0,25 litros no final da tarde para cada vaso. A irrigação foi controlada com um temporizador desenvolvido na Embrapa Trigo. Em dias de ocorrência de chuva a irrigação artificial foi desligada.

A simulação de geada foi realizada em câmara de crescimento (Controlled Environment Inc., modelo PGW 36, série

71812) com capacidade de intensidade máxima de luz de 100 k luz, amplitude de temperatura de -10,0°C a 50°C e com precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. A simulação de geada foi realizada quando a temperatura da câmara de crescimento chegava a 0°C. As plantas foram umidificadas com água fria (0°C), com o auxílio de um pulverizador costal de alta pressão (Super Spray). O processo de umidificação das plantas tinha por finalidade incitar a formação de cristais de gelo nas superfícies expostas das plantas, simulando, assim, a formação de geada.

Foram realizados três estudos para atender os objetivos desse trabalho.

2.1 Estudo I - Simulação de geada com aclimação de plantas

Esse experimento foi realizado em dois anos: 2004 e 2005. Em 2004 foram simuladas geadas nos estádios de alongamento e espigamento do trigo. Já em 2005 as geadas foram simuladas nos estádios de afilhamento, alongamento e espigamento.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e o arranjo de tratamentos foi em fatorial com quatro repetições. Como tratamentos foram empregados duas cultivares (BR 18-Terena e BRS 194), geada (com e sem aplicação) e dois regimes térmicos (aclimatado e não aclimatado).

No tratamento aclimatado as plantas foram para a câmara de crescimento três dias antes da aplicação da geada (Apêndice 1), submetidas a temperaturas baixas (ciclo diário com mínima de 2°C e máxima de 12°C). Para determinar o ciclo diário foram analisadas temperaturas diárias, de hora em hora, de dias com ocorrências de

geada. Os dados foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Trigo e do INMET no município de Passo Fundo.

A aplicação da geada foi realizada no quarto dia com temperatura mínima de -7°C (Apêndice 2). No tratamento não aclimatado as plantas foram para a câmara de crescimento somente no dia em que receberam a geada. No dia da aplicação de geada as plantas sem aplicação de geada ficaram em outra câmara de crescimento com temperatura de aclimação. Após a geada, tanto as plantas aclimatadas e quanto as não aclimatadas permaneceram na câmara de crescimento por mais três dias com temperatura de aclimação antes de retornarem ao telado.

2.2 Estudo II - Intensidade de geada

Esse experimento foi conduzido apenas no ano de 2004. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e o arranjo de tratamentos foi em fatorial com quatro repetições.

Os tratamentos foram duas cultivares (BR 18-Terena e BRS 194) e quatro intensidades de simulação de geada: sem geada, leve, moderada e forte, representando as temperaturas de 2°C , -2°C , -4°C e -7°C , respectivamente. As geadas foram simuladas em dois estádios de desenvolvimento do trigo: alongamento e espigamento.

Quando às plantas encontravam-se no estágio de alongamento foram conduzidas para a câmara de crescimento para passarem pelo processo de aclimação, conforme descrito no Estudo I. Quando a temperatura da câmara de crescimento, no dia da aplicação de geada (Apêndice 2), chegou a -2°C , os vasos de plantas

para essa intensidade foram imediatamente passados para outra câmara de crescimento ao lado com temperatura de 0°C. O mesmo procedimento foi realizado para a intensidade -4°C. Já os vasos de plantas com aplicação de geada na intensidade -7°C permaneceram na câmara de crescimento inicial. As plantas não submetidas à geada foram colocadas em outra câmara de crescimento com temperatura de aclimação.

Após a geada, todas as plantas ficaram por mais três dias na câmara de crescimento, com temperatura de aclimação, antes de retornarem para o telado. Igual procedimento foi utilizado para o estágio fenológico espigamento.

2.3 Estudo III - Simulação de geada em plantas submetidas a déficit hídrico

O experimento foi conduzido somente no ano de 2005 sob condições de casa de vegetação e de telado. As plantas foram submetidas à geada em três estádios de desenvolvimento do trigo: afilhamento, alongamento e espigamento.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e o arranjo de tratamentos foi em fatorial com três repetições. Os tratamentos utilizados foram duas cultivares (BR 18-Terena e BRS 194), geada (com e sem aplicação) e déficit hídrico (nove dias, seis dias, três dias e um dia sem as plantas receberem água, antes da aplicação da geada).

Quando as plantas iniciaram o afilhamento foram transferidas para casa de vegetação e permaneceram até que os vasos

de plantas referentes ao último estágio (espigamento) foram submetidos à geada. Após, todas as plantas do experimento foram transferidas para o telado até completarem o ciclo. O procedimento foi adotado para controlar o volume de água em cada vaso, já que, no telado as plantas receberam, também, água da chuva.

Os níveis de déficit hídrico foram definidos em relação ao número de dias que antecederam a geada em cada estágio proposto. Todas as plantas receberam diariamente 0,5 litros de água por vaso. Contudo, quando o estágio fenológico estava definido para a aplicação de geada, as plantas referentes ao déficit hídrico “nove dias” receberam 1,5 litros de água no dia em que iniciou o tratamento déficit hídrico, equivalendo uma precipitação de 33 mm, e permaneceram sem o recebimento de suplementação hídrica até o dia de aplicação de geada. O mesmo procedimento ocorreu para os níveis “seis dias”, “três dias” e “um dia”. A aplicação de geada artificial foi realizada no décimo dia, após o início do tratamento de deficiência hídrica, com temperatura mínima chegando a -7°C (Apêndice 2). As datas dos níveis de déficit hídricos podem ser verificadas na tabela 1 para os três estágios de desenvolvimento do trigo em estudo.

Tabela 1. Datas que determinaram os níveis de déficit hídrico para os estádios de trigo avaliados, com respectivos dias de simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Estádio Fenológico	Níveis de Déficit Hídricos (dias) ¹				Simulação de Geada (dia)
	9	6	3	1	
Afilhamento	18/07/05	21/07/05	24/07/05	27/07/05	28/07/05
Alongamento	28/07/05	31/07/05	03/08/05	06/08/05	07/08/05
Espigamento	12/08/05	15/08/05	18/08/05	21/08/05	22/08/05

¹ Datas em que cada grupo de três vasos para cada nível de déficit hídrico recebeu 1,5 litros de água e permaneceu sem suplementação hídrica antes a aplicação da geada.

As plantas não submetidas à geada, mas aos diferentes níveis déficit hídrico (nove dias, seis dias, três dias e um dia), permaneceram em outra câmara de crescimento com temperatura de aclimação, conforme descrito no Estudo I (Apêndice 1).

No dia da simulação da geada foi realizada a coleta de uma amostra de solo, de cada vaso, de aproximadamente 10 cm de profundidade com um trado calador cilíndrico. Essa amostra foi enviada ao Laboratório de Solo da Embrapa Trigo, onde, imediatamente, realizou-se a pesagem. Depois, as amostras permaneceram por 48 horas na estufa de secagem a temperatura de 105°C, e novamente foi efetuada a pesagem das mesmas. Com isso, foi estabelecida a percentagem de umidade do solo no momento de aplicação da geada. Os teores de umidade do solo podem ser observados no apêndice 3.

2.4 Levantamento e análise de dados

Para avaliar os três estádios característicos de desenvolvimento (afilhamento, alongamento e espigamento) da cultura de trigo foi utilizada a escala de Feekes, 1940, modificada por Large em 1954 (SCHEEREN, 1986). Essa avaliação foi realizada visualmente, caracterizando o estádio quando mais de 50% das plantas encontravam-se no estádio avaliado.

Quando as plantas que não receberam a aplicação de geada estavam em ponto de colheita (maturação fisiológica), foi realizada a colheita do experimento. Para avaliação da matéria seca total da parte área, as plantas foram cortadas próximas ao solo e colocadas em estufa a 65°C até massa constante. Após, foi realizado a trilha das espigas e os grãos foram novamente colocados em estufa a 65°C até massa constante.

Além da matéria seca total da parte área (g m^{-2}) e massa de grãos (g m^{-2}), nos experimentos conduzidos em 2005 foi avaliada também a percentagem de queima de folha aos 7 e 14 dias após a simulação da geada. A nota de queima foi avaliada pela observação visual de três pessoas, as quais concederam uma nota para as plantas de cada vaso, adotando o critério de uma escala de 1 a 5 (Apêndice 4). A nota de queima de folhas foi obtida pela média das duas notas mais próximas, atribuídas pelos avaliadores.

Os dados referentes à massa de grãos e nota de queima de folha foram transformados (raiz quadrada de $y + 1 = \sqrt{y+1}$) para estabilizar as variâncias de tratamentos, pois ocorreram valores zero.

A análise de variância (ANOVA) foi estruturada de acordo com os apêndices (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14) e a comparação de médias dos tratamentos foi efetuada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização dos experimentos, na época indicada para o trigo, a temperatura externa do telado variou entre 32 e -1,4°C e 32,8 e 0,5°C, respectivamente para os anos de 2004 e 2005. Em ambos os anos de experimentação, para o período de junho a outubro, a temperatura média, a umidade relativa e a radiação solar permaneceram próximas às condições de normalidade climatológica, para a região.

3.1 Estudo I: Simulação de geada com aclimação de plantas

3.1.1 Efeito da aclimação na percentagem de queima de folha

A análise de variância evidenciou efeito significativo para a interação regime térmico, cultivar e geada nos três estádios de desenvolvimento avaliados (Tabela 2). A percentagem de área foliar queimada foi menor nas plantas aclimatadas submetidas à simulação de geada. No afilhamento e alongamento a diferença de queima entre as plantas aclimatadas e não aclimatadas foi de 28,2 e 28,5 pontos percentuais para a BR 18-Terena e 2,2 e 2,0 pontos percentuais para

BRS 194, respectivamente. Porém, por ocasião do espigamento, os danos provocados pela geada às folhas foram mais severos, chegando à queima de folhas 90% e 70,0%, em plantas aclimatadas, para as cultivares BR 18-Terena e BRS 194 respectivamente (Tabela 2). A diferença de 10 pontos percentuais entre as plantas aclimatadas e não aclimatadas no espigamento foram menores que nos demais estádios para a BR 18-Terena. Enquanto que a diferença entre as plantas aclimatadas e não aclimatadas para a BRS 194 aumentou para 27,5 pontos percentuais, no espigamento (Tabela 2). As maiores percentagens de queima tanto nas plantas aclimatadas quanto nas não aclimatadas, no estágio de espigamento, ocorrem devido ao rápido crescimento das plantas, as quais são incapazes de se aclimatarem completamente Levitt (1972). As folhas danificadas por geada apresentaram inicialmente coloração amarelada e, posteriormente, aspecto necrosado (queimado), com forte odor, devido à desidratação da vegetação (SHROYER et al., 1995).

Na avaliação de queima de folhas realizadas aos 14 dias, a análise de variância evidenciou efeito significativo para a interação regime térmico, cultivar e geada nos estádios de desenvolvimento afilhamento e espigamento (Tabela 3). No estágio de alongamento houve interação significativa entre regime térmico e geada e entre cultivar e geada (Tabela 4). No afilhamento houve redução de 9,8 e 11,5 pontos percentuais na queima de folhas dos sete para os 14 dias após a geada em plantas aclimatadas e não aclimatadas, respectivamente, para a cultivar BR 18-Terena. Entretanto em plantas aclimatadas da cultivar BRS 194, no afilhamento, apresentaram queima de folhas 0,5 pontos percentuais superior a avaliação realizada

aos 14 dias, enquanto que as plantas não aclimatadas apresentaram redução de 1,0 ponto percentual (Tabela 2 e 3). Na fase vegetativa, a planta além de possuir alto grau de aclimação, (SINGLE, 1971), possui capacidade de compensação da injúria provocada pelo frio, com a emissão de novas folhas e afilhos (SHROYER, 1995). Com isso, a extensão dos danos provocados pela geada foi minimizada, o que explica a redução da percentagem de queima de folha entre a primeira e segunda avaliações.

Tabela 2. Percentagem de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada em dois regimes térmicos diferentes, três distintos estádios de desenvolvimento e duas cultivares de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Regime Térmico	% Queima de folhas aos 7 dias			
	BR 18-Terena		BRS 194	
	Geada	Sem geada	Geada	Sem geada
	-----Afilhamento-----			
Aclimatado	44,0 Ab ¹	0,0 Ca	1,5 Bb	0,0 Ca
Não Aclimatado	72,2 Aa	0,0 Ca	3,7 Ba	0,0 Ca
	-----Alongamento-----			
Aclimatado	21,5 Ab	0,0 Ba	0,0 Bb	0,0 Ba
Não Aclimatado	50,0 Aa	0,0 Ca	2,0 Ba	0,0 Ca
	-----Espigamento-----			
Aclimatado	90,0 Ab	0,0 Ca	70,0 Bb	0,0 Ca
Não Aclimatado	100,0 Aa	0,0 Ba	97,5 Aa	0,0 Ba

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3. Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada em dois regimes térmicos diferentes, dois distintos estádios de desenvolvimento e duas cultivares de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Regime Térmico	% Queima de folhas aos 14 dias			
	BR 18-Terena		BRS 194	
	Geada	Sem geada	Geada	Sem geada
-----Afilhamento-----				
Aclimatado	34,2 Ab ¹	0,0 Ca	2,0 Ba	0,0 Ca
Não Aclimatado	60,7 Aa	0,0 Ca	2,7 Ba	0,0 Ca
-----Espigamento-----				
Aclimatado	93,0 Aa	0,0 Ca	52,5 Bb	0,0 Ca
Não Aclimatado	100,0 Aa	0,0 Ca	90,0 Ba	0,0 Ca

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4. Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada em dois regimes térmicos diferentes e duas cultivares de trigo, no estágio de desenvolvimento alongamento. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
% Queima de folhas aos 14 dias		
BR18-Terena	33,5 Aa ¹	0,0 Ba
BRS 194	4,0 Ab	0,0 Ba
Regime Térmico		
Aclimatado	11,7 Ab	0,0 Ba
Não Aclimatado	25,7 Aa	0,0 Ba

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

No alongamento, as plantas aclimatadas percentagem de queima de folhas foi 14,0 pontos percentuais menor do que às plantas não aclimatadas nas avaliações realizadas aos 14 dias após as geada (Tabela 4). Enquanto que no espigamento somente a cultivar BRS 194

apresentou diferença significativa de 37,5 pontos percentuais entre as plantas aclimatadas e não aclimatadas (Tabela 3). Com exceção da cultivar BRS 194, no estágio de afilhamento, e da cultivar BR 18-Terena, no espigamento, na avaliação de queima de folhas realizadas aos 14 dias após a geada (Tabela3), constatou-se que a queima foi mais intensa nas plantas de trigo que não passaram pelo processo de aclimação prévia. Isso demonstra que o processo de aclimação, ou seja, que um período de frio antes da geada torna as plantas de trigo mais tolerantes ao frio, devido às modificações fisiológicas, bioquímicas, e moleculares da célula vegetal (FOWLER et al., 1999; XIN e BROWSE, 2000).

A cultivar BRS 194 apresentou redução significativa de 29,5 pontos percentuais em relação a cultivar BR 18-Terena para a queima de folhas (Tabela 4). A maior tolerância da BRS 194 para queima de folhas foi constatado por Scheeren et al. (2000) em experimento realizado em condições de campo. Esses autores encontram uma diferença 67% menor na queima de folhas da cultivar BRS 194 quando comparada com a cultivar BR 18-Terena. À medida que as plantas se aproximaram do estágio reprodutivo, a diferença entre as cultivares, para tolerância a geada, diminuiu, concomitantemente, apesar de ter ocorrido diferença entre a cultivar mais tolerante e a menos tolerante na análise da queima de folhas. Com a avaliação de nota de queima de folhas é possível indicar, preliminarmente, cultivares que respondem favoravelmente quando submetidas às condições de temperaturas congelantes (WENDT e ROSA, 1989). A queima das folhas, total ou parcial, por ocasião do espigamento, além de reduzir consideravelmente a atividade fotossintética da planta,

impede a translocação dos fotoassimilados estocados nas folhas para a espiga, prejudicando o enchimento de grãos. As sementes formadas apresentaram aspecto enrugado e áspero (SHROYER et al., 1995).

3.1.2 Efeito da aclimação na matéria seca total

Houve interação significativa para regime térmico, cultivar e geada no ensaio realizado em 2004. Em ambos os estádios analisados as plantas submetidas à simulação de geada, que foram aclimatadas, não diferiram das plantas não aclimatadas na produção de matéria seca total (Tabela 5). No espigamento, no regime térmico aclimatado a cultivar BRS 194 apresentou uma produção de matéria seca 29,7% superior a BR 18-Terena (Tabela 5).

No experimento realizado em 2005, a análise de variância evidenciou efeito simples significativo de regime térmico, cultivar e geada nos três estádios avaliados para matéria seca total (Tabela 6). A diferença de resultados estatísticos entre os anos de 2004 e 2005, apesar da aclimação e simulação de geadas terem sido realizadas em câmara de crescimento, pode estar relacionada à diminuição de duas plantas por vaso e às variações climáticas do período indicado para o cultivo do trigo na região de Passo Fundo, uma vez que as plantas permaneceram a maior parte de seu ciclo sob condições de telado.

Nas avaliações realizadas em 2005, a produção de matéria seca no regime térmico aclimatado foi superior 11% no afilhamento, 11 % no alongamento e 15% no espigamento quanto comparado com o regime térmico não aclimatado (Tabela 6). A maior diferença na

produção de matéria seca total no espigamento, pode está relacionada à complexidade desse estágio e a dificuldade para dimensionar a extensão dos danos, já que, nesta fase, os tecidos não toleram a mínima formação de gelo em seu interior (WENDT e ROSA, 1989). Além disso, a produção de matéria seca superior em plantas aclimatadas, antecedendo a geada, está relacionada às alterações fisiológicas que proporcionam às plantas suportarem os efeitos danosos da geada. Isto esta de acordo com as menores porcentagens de queima de folhas, tanto aos sete quanto aos 14 dias, após a simulação de geada. Dalmago, et. al. (2007) também constaram, em canola, que a produção de matéria seca em plantas aclimatadas foi superior as não aclimatadas.

Tabela 5. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) nos estádios de alongamento e espigamento em duas cultivares de trigo e em dois regimes térmicos de aclimação, com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Regime Térmico	Matéria seca total (g m^{-2})			
	BR 18-Terena		BRS 194	
	Geada	Sem geada	Geada	Sem geada
	-----Alongamento-----			
Aclimatado	552,8 Ba ¹	534,8 Ba	674,4 Ba	1218,1 Aa
Não Aclimatado	537,6 Aa	537,6 Aa	577,5 Aa	576,3 Ab
	-----Espigamento-----			
Aclimatado	319,1 Ca	534,8 Ba	453,8 BCa	1218,1 Aa
Não Aclimatado	232,7 Ba	537,6 Aa	332,8 Ba	576,3 Ab

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 6. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) nos estádios afilhamento, alongamento e espigamento em duas cultivares de trigo e em dois regimes térmicos de aclimação, com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005

Tratamentos/ Estádio fenológico	Matéria seca total (g m^{-2})		
	Afilhamento	Alongamento	Espigamento
	Regime Térmico		
Aclimatado	568,9 a ¹	509,5 a	431,9 a
Não Aclimatado	508,4 b	451,2 b	365,8 b
	Cultivar		
BR18-Terena	474,8 b	425,0 b	353,5 b
BRS 194	602,5 a	535,6 a	444,2 a
	Geada		
Com	506,9 b	390,4 b	227,4 b
Sem	570,4 a	570,4 a	570,4 a

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.1.3 Efeito da aclimação na matéria seca de grãos

Houve interação significativa para regime térmico, cultivar e geada no ensaio realizado em 2004 (Tabela 7). As plantas aclimatadas não diferiram das não aclimatadas no tratamento com geada, tanto no estágio de alongamento quanto no espigamento. No tratamento aclimatado, quando a simulação de geada foi realizada no alongamento, a cultivar BRS 194 apresentou maior rendimento de grãos que a BR 18-Terena (Tabela 7), mostrando a maior tolerância da primeira cultivar em relação à segunda para os efeitos danosos provocados à cultura do trigo por temperaturas congelantes. As plantas aclimatadas e não aclimatadas, submetidas à geada por ocasião

do espigamento, com temperatura até -7°C , praticamente não apresentaram formação de grãos (Tabela 7). Nesta condição, as perdas foram de 100%. Segundo Scheeren (1982), o estágio da planta mais sensível ao dano de geada é aquele que vai do espigamento até o início da formação de grãos. Esta fase, em que existe uma grande quantidade de líquidos nos tecidos da flor, coincide com a polinização e posterior abertura das flores para extrusão das anteras, favorecendo um rápido resfriamento da câmara floral. Com isso, a fecundação pode ser severamente afetada e ocorrer redução na produção de grãos por espiga e, conseqüentemente, no rendimento.

Tabela 7. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) nos estádios de alongamento e espigamento em duas cultivares de trigo, submetidas a dois regimes térmicos de aclimação, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Regime Térmico	Matéria seca de grãos (g m^{-2})			
	BR 18-Terena		BRS 194	
	Geada	Sem geada	Geada	Sem geada
-----Alongamento-----				
Aclimatado	161,9 Ca ¹	205,7 BCa	241,5 Ba	457,5 Aa
Não Aclimatado	177,3 Aa	197,2 Aa	207,2 Aa	220,6 Ab
-----Espigamento-----				
Aclimatado	0,0 Ca	205,7 Ba	0,0 Ca	457,5 Aa
Não Aclimatado	0,0 Ba	197,2 Aa	0,0 Ba	220,6 Ab

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

No estudo realizado em 2005, no estágio fenológico do afilhamento não houve interação, mas efeito simples significativo para regime térmico e cultivar (Tabela 8). O tratamento aclimatado foi superior em 11,5% ao não aclimatado para a produção de grãos, apresentando diferenças estatísticas significativas. No alongamento houve efeito significativo na interação cultivar e geada e efeito

simples significativo para regime térmico (Tabela 9). Conforme as análises o tratamento aclimatado teve produção de matéria seca de grãos 13,8% superior ao regime térmico não aclimatado (Tabela 9). Os maiores rendimentos obtidos no tratamento aclimatado devem-se ao grau de tolerância à geada devido à aclimação do tecido que, por sua vez, confere a célula certa capacidade para tolerar a formação de gelo intercelular, a desidratação e a contração protoplasmática (WENDT e TEIXEIRA, 1989).

Tabela 8. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de afilamento em duas cultivares de trigo e regimes térmicos de aclimação. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005

Cultivar	Matéria seca de grãos (g m^{-2})
BR18-Terena	137,2 b ¹
BRS 194	203,2 a
Regime Térmico	
Aclimatado	180,6 a
Não Aclimatado	159,8 b

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 9. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de alongamento para duas cultivares de trigo e dois regimes térmicos de aclimação, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca de grãos (g m^{-2})	
BR18-Terena	69,9 Bb ¹	144,2 Ab
BRS 194	146,8 Ba	207,3 Aa
Regime Térmico		
Aclimatado	152,6 a	
Não Aclimatado	131,5 b	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

No espigamento houve interação significativa entre cultivar e geada e efeito simples significativo para regime térmico (Tabela 10). No tratamento aclimatado a produção de matéria seca de grãos foi superior em 13,7% quanto comparado com o regime térmico não aclimatado, apresentando diferenças estatísticas significativas. Os efeitos da aclimação podem estar relacionado não somente a fatores genéticos (requerimento de vernalização e resposta fotoperiódica) ou de desenvolvimento (estádio da planta), mas também por fatores ambientais (SĂULESCU e BRAUN, 2001), como a duração e a intensidade das temperaturas sub-zero. Esses fatores podem determinar a perda de tolerância à geada em plantas de trigo (GUSTA et al., 1997).

Tabela 10. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de espigamento para duas cultivares de trigo e dois regimes térmicos de aclimação, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca de grãos (g m^{-2})	
BR18-Terena	0,0 Ba ¹	144,2 Ab
BRS 194	1,2 Ba	207,3 Aa
Regime Térmico		
Aclimatado	94,6 a	
Não Aclimatado	81,6 b	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.2 Estudo II - Simulação de intensidade de geada

3.2.1 Efeito da intensidade de geada na matéria seca total

A análise de variância evidenciou interação significativa para intensidade de geada e cultivar, no estágio de alongamento (Tabela 11). Nesse estágio, a cultivar BRS 194 não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A resposta da BRS 194 aos diferentes tratamentos de intensidade de geada pode estar relacionada a maior tolerância a temperaturas congelantes dessa cultivar durante o estágio de alongamento (SCHEEREN et al., 2000). Para a cultivar BR18-Terena, houve diferença significativa entre os tratamentos com redução de 29% da produção de matéria seca da intensidade -2°C para a -4°C , revelando a maior susceptibilidade dessa cultivar à injúria provocada pela geada.

No estágio fenológico do espigamento não houve interação significativa entre cultivar e intensidade de geada, mas em média, ocorreu redução significativa na produção de matéria seca na intensidade de geada -7°C , em relação aos demais tratamentos (Tabela 11). Entre as cultivares a diferença de produção de matéria seca não foi significativa. Isto está de acordo com Scheeren et al., (2000), que relatam dificilmente ser possível à obtenção de cultivares de trigo tolerante á geada, na fase reprodutiva. Segundo os mesmos autores, em diversos experimentos realizados na Embrapa Trigo, em que houve ocorrência de geadas fortes (abaixo de -2°C) durante a floração de trigo, foram verificados danos irreversíveis nas espigas de todos os genótipos avaliados.

As temperaturas congelantes durante a fase reprodutiva do trigo comprometeram a produção de matéria seca total da parte área, provavelmente, devido aos efeitos danosos provocados pela formação de cristais de gelo entre as membranas das células, e até pela ruptura das mesmas, prejudicando a área verde fotossintética. Assim, a produção de fotoassimilados foi comprometida. A maior disponibilidade de assimilados próximos à antese pode representar mais flores férteis e, conseqüentemente, grãos em maior número e tamanho, com maior capacidade de formar grãos cheios (SLAFER et al., 1994; RODRIGUES et al., 1998; RODRIGUES, 2000).

Tabela 11. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) nos estádios alongamento e espigamento de duas cultivares de trigo em diferentes intensidades de geada, com respectivos valores médios. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Intensidade de geada ($^{\circ}\text{C}$)	Matéria seca total (g m^{-2})		Média
	BR 18-Terena	BRS 194	
-----Alongamento-----			
+2	642,4 Aa ¹	612,1 Aa	627,3
-2	643,0 Aa	610,2 Aa	626,6
-4	460,3 Ab	526,7 Aa	493,5
-7	435,4 Bb	607,9 Aa	521,7
-----Espigamento-----			
+2	642,6	612,1	627,4 a
-2	607,9	615,7	611,8 a
-4	591,1	580,4	585,7 a
-7	452,8	447,3	450,1 b
Média	573,6 A	563,9 A	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.2.2 Efeito da intensidade de geada na matéria seca de grãos

Na análise da matéria seca de grãos houve interação significativa entre intensidade de geada e cultivar no estágio de alongamento (Tabela 12). A diferença de rendimento de grãos entre as intensidades +2°C e -4°C foi de 31,5% e de 35,6% entre as intensidades -4°C e -7°C para a BR 18-Terena (Tabela 12). Todavia, as intensidades de geada não apresentaram diferenças significativas no rendimento de grãos para a cultivar BRS 194. No espigamento (Tabela 12) não houve interação entre intensidade de geada e cultivar. Mas, em média ocorreu redução significativa no rendimento de grãos na intensidade de geada de -7°C, em relação aos demais tratamentos. A intensidade de geada -7°C provocou esterilidade das espiguetas, não ocorrendo formação de grãos. De acordo com Shroyer et al. (1995), as temperaturas de -1°C durante a fase reprodutiva (espigamento/florescimento) provoca a esterilidade das flores e branqueamento de aristas e espigas, além disso, há a descoloração das folhas e o estrangulamento de colmos. Também, Scheeren et al. (2000), relatam ocorrer redução no número de grãos por espiguetas e, conseqüentemente, por espiga. Assim, os danos são totais e as perdas irreversíveis.

Foram observadas falhas nas espigas por ocasião do enchimento de grãos, em plantas de trigo submetidas à geada no estágio do espigamento. Segundo Shroyer et al. (1995), a antese inicia no centro da espiga e segue para as extremidades num intervalo de dois a quatro dias. Essa pequena diferença no estágio de florescimento provoca esterilidade das espiguetas em diferentes secções da espiga

quando da ocorrência de geadas. Também foi observado que os grãos formados nas espigas que apresentavam falhas eram maiores, devido à compensação da redução do número de grãos por espiguetas (VEISZ et al., 2001).

Tabela 12. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) nos estádios alongamento e espigamento de duas cultivares de trigo em diferentes intensidades de geada, com respectivos valores médios. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Intensidade de geada ($^{\circ}\text{C}$)	Matéria seca de grãos (g m^{-2})		Média
	BR 18-Terena	BRS 194	
	----- Alongamento -----		
+2	258,7 Aa ¹	217,1 Aa	627,3
-2	259,7 Aa	209,9 Aa	626,6
-4	177,0 Ab	168,7 Aa	493,5
-7	113,9 Bc	194,7 Aa	521,7
	----- Espigamento -----		
+2	258,7	217,1	237,9 a
-2	241,8	188,8	215,3 a
-4	232,0	179,9	155,9 a
-7	0,7	0,0	0,4 b
Média	183,3 A	121,5 B	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.3 Estudo III - Simulação de geada em plantas de trigo submetidas a déficit hídrico

3.3.1 Efeito do déficit hídrico na percentagem de queima de folha

A análise de variância evidenciou efeito significativo para a interação déficit hídrico e geada e entre cultivar e geada, no estágio fenológico do afilhamento, (Tabela 13), e interação significativa para déficit hídrico, cultivar e geada nos estádios de alongamento e espigamento avaliados (Tabela 14), quando as leituras de nota de queima de folhas foram realizadas sete dias após as plantas serem submetidas a temperaturas congelantes. No afilhamento as plantas submetidas ao déficit hídrico de nove dias, antecedentes à aplicação de geada, apresentaram menor percentagem de queima de folhas (Tabela 13), sendo que a diferença foi de 9,8 pontos percentuais em relação ao déficit hídrico de seis dias. Entretanto, entre os tratamentos de déficit hídrico de seis, três e um dia apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 13). No alongamento, a percentagem foliar injuriada por geada foi maior para a cultivar BRS 194 com um dia de déficit hídrico e três e um dias para a BR 18-Terena (Tabela 14). O fato das maiores percentagens de danos terem ocorrido nas plantas mais hidratadas, no alongamento, pode estar relacionado ao conteúdo hídrico. O conteúdo hídrico está, de certa forma, inversamente correlacionado à concentração de suco celular e ao ponto de congelamento, em decorrência de maior ou menor quantidade de água no tecido, devido ao teor de umidade no solo (WENDT e TEIXEIRA, 1989).

No espigamento, no tratamento de déficit hídrico de nove dias ocorreu menor queima de folhas para a BR18-Terena, no tratamento com geada (Tabela 14). Sendo que, as maiores percentagens de injúria ocorreram nos tratamentos de seis, três e um dias chegando a 66,7%, 89,3% e 56,7%, respectivamente. Para a cultivar BRS 194 a menor percentagem de queima de folhas as plantas submetidas à geada foi no tratamento de déficit hídrico de um dia, não diferindo dos tratamentos de 9 e 6 dias (Tabela 14). Desse modo, a planta com um dia de déficit hídrico não deve alterar a condição em relação à planta que está com as necessidades hídricas plenamente atendidas, por isso ela não deve ser afetada pela geada, pois ainda existe água nas células para atender a redução de potencial extracelular, provocada pela formação do gelo. Aquela que está com nove dias de déficit hídrico, provavelmente, já se adaptou osmoticamente, ou seja, aumentou o potencial osmótico da célula (FLOSS, 2004). A geada, na seqüência, provavelmente não afetou significativamente os tecidos, uma vez que a célula consegue competir com o gelo que se forma no ambiente extracelular. Portanto o ajuste osmótico promove a célula vegetal, tolerância à desidratação (MCCREE e RICHARDSON, 1987), ou seja, há um equilíbrio em favor de manter mais água no interior da célula. No caso das plantas com 3 e 6 dias de déficit hídrico, provavelmente ainda não ocorreram mudanças no potencial osmótico e também já não apresenta quantidade de água significativa no interior da célula. Desse modo, a ação da geada foi mais agressiva, devido a acentuada desidratação celular dos tecidos foliares nos tratamentos com 3 e 6 dias de déficit hídrico.

Tabela 13. Percentagem de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada, no estágio de afilhamento de duas cultivares de trigo e quatro intensidades de déficit hídrico, nos tratamentos com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	% Queima de folhas aos 7 dias	
BR18-Terena	52,0 Aa ¹	0,0 Ba
BRS 194	3,2 Ab	0,0 Ba
Déficit hídrico (dias)		
9	19,8 Ab	0,0 Ba
6	29,6 Aa	0,0 Ba
3	30,3 Aa	0,0 Ba
1	30,8 Aa	0,0 Ba

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 14. Percentagem de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada, nos tratamentos com e sem geada, em dois diferentes estádios de desenvolvimento de duas cultivares de trigo, submetidas a quatro diferentes intensidade de déficit hídrico. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Déficit hídrico (dias)	% Queima de folhas aos 7 dias			
	BR 18-Terena		BRS 194	
	Geada	Sem geada	Geada	Sem geada
	-----Alongamento-----			
9	49,0 Ab ¹	0,0 Ca	2,3 Bc	0,0 Ca
6	52,3 Ab	0,0 Ca	5,7 Bb	0,0 Ca
3	77,7 Aa	0,0 Ca	5,0 Bbc	0,0 Ca
1	66,7 Aa	0,0 Ca	23,3 Ba	0,0 Ca
	-----Espigamento-----			
9	20,0 Ab	0,0 Ba	4,7 Bab	0,0 Ba
6	66,7 Aa	0,0 Ca	10,8 Bab	0,0 Ca
3	89,3 Aa	0,0 Ca	12,3 Ba	0,0 Ca
1	56,7 Aa	0,0 Ba	1,0 Bb	0,0 Ba

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Quando as leituras de nota de queima de folhas foram realizadas 14 dias após as plantas serem submetidas à geada, a análise de variância evidenciou efeito significativo para interação déficit hídrico e geada e entre cultivar e geada, no estágio fenológico do afilhamento (Tabela 15). Neste estágio, a percentagem de queima de folhas foi menor no tratamento de déficit hídrico de nove dias, antecedentes à simulação de geada (Tabela 15). Nos demais tratamentos a percentagem de queima de folhas variou entre 19 e 22%. A BR18-Terena apresentou queima de folhas 30,2 pontos percentuais superior a BRS 194 (Tabela 15). As maiores porcentagens de injúria ocorridas no trigo BR18-Terena pode estar relacionado à sensibilidade dessa cultivar as temperaturas congelantes.

Tabela 15. Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada, no estágio de afilhamento de duas cultivares de trigo e quatro intensidades de déficit hídrico, nos tratamentos com e sem geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	% Queima de folhas aos 14 dias	
BR18-Terena	33,6 Aa ¹	0,0 Ba
BRS 194	3,4 Ab	0,0 Ba
Déficit hídrico (dias)		
9	12,3 Ab	0,0 Ba
6	20,3 Aa	0,0 Ba
3	19,3 Aa	0,0 Ba
1	22,1 Aa	0,0 Ba

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Nos estádios de alongamento e espigamento ocorreu interação entre déficit hídrico, geada e cultivar (Tabela 16). No alongamento, as percentagens de queima de folhas foram menores no tratamento de déficit hídrico de nove dias, não diferindo do tratamento de três dias. Na mesma tendência, a cultivar BR18-Terena também apresentou menor percentagem de queima de folhas no tratamento de déficit de nove dias, não diferindo do tratamento de seis dias. O fato da geada ter ocasionado menos danos no tratamento mais seco pode estar relacionado a regeneração dos tecidos devido a tolerância induzida as células pelo déficit hídrico (SZÚCS et al., 2003). Nos demais tratamentos as percentagens de queima de folha foram maiores, chegando a 84,3% no tratamento de déficit hídrico de três dias para a cultivar BR 18-Terena.

No espigamento, os efeitos da geada, com relação à queima de folhas, foram mais acentuados para a cultivar BR18-Terena do que para BRS 194 (Tabela 16). As percentagens de queima de folhas aumentaram significativamente para a cultivar BR18-Terena do tratamento de déficit hídrico de nove dias para os demais tratamentos. Para a cultivar BRS 194 os efeitos danosos da geada e do déficit hídrico foram mais acentuados no tratamento de três e seis dias.

Tabela 16. Percentagem de queima de folhas, 14 dias após a simulação de geada, nos estádios de alongamento e espigamento de duas cultivares de trigo, em quatro diferentes intensidades de déficit hídrico, nos tratamentos com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Déficit hídrico (dias)	% Queima de folhas aos 14 dias			
	BR 18-Terena		BRS 194	
	Geada	Sem geada	Geada	Sem geada
-----Alongamento-----				
9	36,7 Ac ¹	0,0 Ba	0,7 Bb	0,0 Ba
6	50,0 Abc	0,0 Ca	10,0 Ba	0,0 Ca
3	84,3 Aa	0,0 Ba	5,0 Bab	0,0 Ba
1	76,7 Aab	0,0 Ca	10,0 Ba	0,0 Ca
-----Espigamento-----				
9	16,7 Ac	0,0 Ca	5,1 Bb	0,0 Ca
6	71,7 Ab	0,0 Ca	7,7 Bab	0,0 Ca
3	97,7 Aa	0,0 Ca	16,0 Ba	0,0 Ca
1	84,3 Aab	0,0 Ba	2,4 Bb	0,0 Ba

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.3.2 Efeito do déficit hídrico na matéria seca total

Não houve interação significativa entre déficit hídrico e geada, no afilhamento (Tabela 17). As diferenças entre os tratamentos de déficit hídrico não foram significativas. A produção de matéria seca para a cultivar BRS 194 foi superior 13% em relação à produção da cultivar BR18-Terena no tratamento com geada. Neste estágio a BR18-Terena apresentou diferença significativa entre os tratamentos com e sem geada (Tabela 17). No alongamento, houve diferenças significativas entre os tratamentos de déficit hídrico quanto ao efeito da geada (Tabela 18). Em média ocorreu uma redução na produção de matéria seca de 4% do tratamento déficit hídrico de três dias para os

tratamentos de um dia e seis dias e de 12,7% para o tratamento de nove dias (Tabela 18). A diferença mais expressiva nesse último tratamento quanto à produção de matéria pode ser explicado pelo maior período sem suplementação hídrica, afetando o crescimento da planta. A produção de matéria seca para a cultivar BRS 194 no estágio de alongamento foi superior em 33%, em relação à produção da cultivar BR18-Terena no tratamento com geada. Essa diferença na produção de matéria seca, entre as cultivares testadas, pode estar relacionada a maior queima de folhas da BR18-Terena. As folhas danificadas mostram inibição da fotossíntese, translocação mais lenta de carboidratos, taxas respiratórias mais baixas, inibição da síntese protéica, relacionadas às perdas de função da membrana (TAIZ e ZEIGER, 1998). Neste estágio, tanto a BRS 194 quanto a BR18-Terena demonstraram diferenças significativas para os tratamentos com e sem geada (Tabela 18).

Tabela 17. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) no estágio de afilamento em duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca total (g m^{-2})	
BR18-Terena	498,3 Bb ¹	578,7 Aa
BRS 194	576,2 Aa	541,1 Ab
Déficit hídrico (dias)		
9	553,6 a	
6	551,8 a	
3	542,7 a	
1	545,1 a	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 18. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) no estágio de alongamento em duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca total (g m^{-2})	
BR18-Terena	207,6 Bb ¹	347,6 Aa
BRS 194	309,5 Ba	346,1 Aa
Déficit hídrico (dias)		
9	278,4 c	
6	307,4 b	
3	319,1 a	
1	305,8 b	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

No espigamento foram verificadas diferenças significativas para a interação déficit hídrico e geada e entre cultivar e geada (Tabela 19). A maior produção de matéria seca total ocorreu no tratamento de deficiência hídrica de nove dias sem as plantas receberem suplementação de água, antecedentes a simulação de geada, mas não diferem do tratamento de seis e três dias. Neste estágio, a produção de matéria seca reduziu aproximadamente 42% do tratamento de déficit hídrico de nove dias para um dia. O tratamento de um dia de déficit hídrico foi o que apresentou a menor produção de matéria seca. Isto provavelmente ocorreu devido a grande quantidade de água que havia nos tecidos celulares. Durante o processo de congelamento cerca de 70-80% da água existente no tecidos é congelada, resultando na desidratação celular (LEVITT, 1980). Na interação cultivar e geada, verificou-se diferença entre os tratamentos com e sem geada, em ambas as cultivares, sendo que para cultivar

BRS 194 ocorreu produção de matéria seca superior a 14% quando comparado com a cultivar BR18-Terena (Tabela 19).

Tabela 19. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) no estágio de espigamento de duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca total (g m^{-2})	
BR18-Terena	193,0 Bb ¹	445,1 Ab
BRS 194	225,3 Ba	544,0 Aa
Déficit hídrico (dias)		
9	275,8 Ba	401,2 Ab
6	218,9 Bab	528,5 Aa
3	181,9 Bab	554,2 Aa
1	159,9 Bb	494,4 Aab

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.3.3 Efeito do déficit hídrico na matéria seca de grãos

Foram verificadas interações significativas para cultivar e geada, no afilhamento (Tabela 20). Neste estágio, o rendimento de grãos no tratamento sem geada foi superior 14,5% em relação ao tratamento com geada para a cultivar BR 18-Terena. No afilhamento as plantas parecem não ser influenciadas pela deficiência hídrica. Isto pode ser em virtude da menor exigência hídrica da cultura para seu crescimento e desenvolvimento durante o estágio de afilhamento.

Tabela 20. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de afilamento em duas cultivares de trigo, submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico, com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca de grãos (g m^{-2})	
BR18-Terena	191,4 Ba ¹	223,8 Aa
BRS 194	212,1 Aa	197,1 Ab
Déficit hídrico (dias)		
9		241,1 a
6		209,3 a
3		202,6 a
1		198,4 a

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

No alongamento, houve interação significativa para déficit hídrico e cultivar e entre cultivar e geada (Tabela 21). Os diferentes níveis de déficit hídrico não apresentaram diferenças significativas no rendimento de grãos para a cultivar BRS 194. No entanto, ocorreram reduções significativas no rendimento para a cultivar BR18-Terena. Para essa cultivar o tratamento de déficit hídrico de um e três dias apresentou menor perda de rendimentos de grãos. À medida que o estresse hídrico foi prolongado para nove dias, ocorreram reduções no rendimento de grãos superiores a 28%, quando comparado com o tratamento de um dia de déficit hídrico. A resposta ao efeito do déficit hídrico neste estágio, provavelmente, está relacionada a um menor acúmulo de fotoassimilados na planta, devido à redução da atividade fotossintética, por desidratação das células do mesófilo. Com isso, o reflexo posterior foi à redução no rendimento de grãos, uma vez que a

planta não apresentava reservas suficientes para enchimento dos grãos. Neste estágio, tanto a BRS 194 quanto a BR18-Terena demonstraram diferenças quanto ao tratamento geadá. Essas diferenças podem estar relacionadas às características dessas cultivares quanto à susceptibilidade e tolerância a geadá.

Tabela 21. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de alongamento de duas cultivares de trigo, em diferentes níveis de déficit hídrico e com e sem simulação de geadá. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Geadá	Cultivar	
	BR18-Terena	BRS 194
	Matéria seca de grãos (g m^{-2})	
Com	58,9 Bb ¹	108,7 Ab
Sem	125,8 Aa	127,3 Aa
Déficit hídrico (dias)		
9	73,1 Bb	116,5 Aa
6	92,1 Bab	119,9 Aa
3	101,7 Aa	124,3 Aa
1	102,1 Aa	111,1 Aa

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

No espigamento houve interação significativa para déficit hídrico e geadá e entre cultivar e geadá (Tabela 22). O maior rendimento de grãos, conseqüentemente a menor perda de rendimento, ocorreu no tratamento de deficiência hídrica de nove dias sem as plantas receberem suplementação de água, antecedentes a aplicação de geadá. Neste estágio, o rendimento de grãos reduziu significativamente em 68% do tratamento de déficit hídrico de nove dias para o de seis dias, no tratamento com geadá (Tabela 22). A

redução expressiva do rendimento, no tratamento sem geada com déficit hídrico de nove dias durante o espigamento está relacionada com os efeitos que a deficiência hídrica provoca na fecundação das flores, promovendo diminuição do número de grãos por espiga (SCHEEREN, 1986; MACHADO et al., 1993). Porém, o maior rendimento constatado em déficit hídrico de nove dias, quando as plantas são submetidas à geada, evidencia possível mecanismo de tolerância de trigo à geada, na fase reprodutiva, com menor perda de rendimento. Na interação cultivar e geada, verificou-se diferença em ambas as cultivares para o tratamento geada, sendo que para cultivar BRS 194 o rendimento de grãos foi superior em 62% quando comparado com a cultivar BR18-Terena.

Tabela 22. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) no estágio de espigamento de duas cultivares de trigo, em diferentes níveis de déficit hídrico e com e sem simulação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Cultivar	Geada	
	Com	Sem
	Matéria seca de grãos (g m^{-2})	
BR18-Terena	6,6 Bb ¹	166,4 Aa
BRS 194	17,7 Ba	151,2 Aa
Déficit hídrico (dias)		
9	34,5 Ba	112,3 Ab
6	10,9 Bb	179,5 Aa
3	0,6 Bb	184,3 Aa
1	2,6 Bb	159,8 Aab

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

4 CONCLUSÕES

1. A aclimatação de plantas de trigo anteriormente a ocorrência de geada diminui os danos provocados por baixas temperaturas nos estádios que antecedem o espigamento, resultando em menor queima de folhas e maiores rendimentos de grãos.
2. Intensidades de geada chegando a -7°C , em trigo, no estágio de espigamento, ocasiona perdas significativas de rendimentos de grãos.
3. O déficit hídrico proporciona menor perda de rendimento de grãos no estágio de espigamento do trigo, quando as plantas são submetidas à geada.

CAPÍTULO II

TOLERÂNCIA DE GENÓTIPOS DE TRIGO À GEADA

Eunice Portela da Silva¹, Gilberto Rocca da Cunha², João Leonardo Fernandes Pires³

RESUMO - A incidência de geadas, tem ocasionado reduções significativas na produção de grãos em trigo. Os objetivos do trabalho foram avaliar genótipos de trigo e verificar características de linhas quase-isogênicas quanto à tolerância ou susceptibilidade a geada. Foram realizados dois estudos na Embrapa Trigo. O estudo I foi realizado em câmara de crescimento e o II, em telado, com plantas cultivadas em vasos. Os tratamentos no I constaram de 29 genótipos de trigo e geada (com e sem geada) e no II constaram de 7 linhas quase-isogênicas de trigo e geada (com e sem geada). A aclimação e a geada foram simuladas em câmara de crescimento nos estádios do alongamento e espigamento. Foram avaliados: queima de folhas (7 e 14 dias após a geada), matéria seca total e de grãos. O genótipo mais sensível à queima de folhas foi o BR18-Terena, enquanto BRS Umbu,

¹Bióloga, mestranda do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, área de concentração Produção Vegetal.

²Orientador, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, professor de Bioclimatologia Vegetal do PPGAgro, e-mail: cunha@cnpt.embrapa.br.

³Co-orientador, pesquisador da Embrapa Trigo.

BRS Guabiju e a Linhagem PF 990606, praticamente, não apresentaram queima de folhas sete dias após a geada. Entre as linhas quase-isogênicas o trigo Pitic apresentou maior produção de matéria seca total aérea, no alongamento, no tratamento com geada. O genótipo Yecora Rojo Original produziu 40% menos matéria seca aérea do que o Pitic inverno, que teve maior produção. O genótipo Yecora Rojo Inverno apresentou menor produção de matéria seca de grãos, com redução de 32% em relação ao Pitic original (mais produtivo), para geada no alongamento. Com geada no espigamento, somente as cultivares Phoenix e Yecora Rojo primavera apresentaram produção de grãos, sendo a Phoenix, 96% mais produtiva. Entre os genótipos e as linhas quase-isogênicas de trigo avaliadas, existem materiais tolerantes à geada, principalmente no alongamento.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., congelamento, estágio fenológico, linhas quase-isogênicas.

FROST TOLERANCE OF WHEAT GENOTYPES

Eunice Portela da Silva¹, Gilberto Rocca da Cunha², João Leonardo Fernandes Pires³

ABSTRACT - Frost causes relevant grain yield reductions in wheat. The aim of this work was to access the tolerance or susceptibility to frost of some spring wheat genotypes and near-isogenic breeding lines. Two studies with potted plants were undertaken at Embrapa Trigo. Study I was carried on a controlled-environment chamber (fitotron), and study II on a net-protected area. Treatments were constituted of twenty-nine wheat genotypes exposed or not to freezing conditions in the study I, whereas in study II they were made of seven near-isogenic lines exposed or not to freezing conditions. Plant acclimatation, frost at elongation and at heading were simulated in a controlled-environment chamber (fitotron). The degree of burnt leaf area (necrotic tissue) at 7 and at 14 days after frost, total dry-matter (DM) and grain DM were accessed. BR18-Terena was the most susceptible genotype, whereas BRS Umbu, BRS Guabiju and the line PF 990606, present almost no burnt leaves at seven days after frost. BRS Guatambu had the lowest total above-ground DM. Among the

¹Bióloga, mestranda do programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade de Passo Fundo, área de concentração Produção Vegetal.

²Orientador, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, professor de Bioclimatologia Vegetal do PPGAgro, e-mail: cunha@cnpt.embrapa.br.

³Co-orientador, pesquisador da Embrapa Trigo.

near-isogenic lines the variety Pitic presented the highest total DM at elongation and at heading. Yecora Rojo Original yielded 40% less above-ground DM than winter Pitic, which yielded the most. Yecora Rojo Inverno displayed the lowest grain DM, which was 32% lower than Pitic Original, the highest yielding when submitted to frost at elongation. Only the cultivars Phoenix e Yecora Rojo primavera produced grain when exposed to frost at heading, with Phoenix yielding 96% more than Yecora Rojo. Among the wheat genotypes and near-isogenic lines tested some displayed tolerance to frost, especially during elongation.

Key words: *Triticum aestivum* L., freezing, growth stage, near-isogenic lines

1 INTRODUÇÃO

A incidência de geadas, em alguns anos no Rio Grande do Sul, tem ocasionado redução significativa na produção de grãos na cultura do trigo, acarretando aos agricultores elevados prejuízos econômicos. Isso tem acontecido mesmo em semeaduras realizadas dentro do calendário indicado pelo zoneamento agrícola, o que resulta na necessidade de associar outras estratégias para reduzir os riscos dessa natureza. A adaptação de genótipo a distintos ambientes pode ser uma alternativa, a qual está em estrita dependência da satisfação de necessidades bioclimáticas de cada material, particularmente, em termos de temperaturas, vernalização, e de fotoperíodo (CUNHA et al., 1997).

A planta de trigo parece responder de maneira diversa às injúrias causadas pela geada, dependendo do estágio de desenvolvimento em que a mesma se encontra (SCHEEREN, 1982). O trigo é sensível a temperaturas do ar entre 1°C e 2°C abaixo de zero durante o florescimento (MOTA, 1982). Outro período crítico é o da formação dos grãos em que temperaturas abaixo de 2°C negativo ocasionam o chochamento dos grãos, afetando seriamente o rendimento da cultura (SHROYER et al., 1995). Esses danos provocados às plantas de trigo, devido às temperaturas congelantes são atenuados quando o genótipo, dependendo do estágio de desenvolvimento da planta, possui capacidade de aclimação.

A capacidade de aclimação ao frio de um cereal tem estreita relação com o estado de vernalização da planta, geneticamente condicionada pelo gene *Vrn* (MCINTOSH, 1988). Somente durante

períodos vernalizantes, caracterizados por dias curtos e temperaturas baixas é que a aclimação pode ser adquirida (BELLIDO, 1991). Por essa razão, os tipos de trigo de inverno são menos sensíveis ao frio e mais aptos a aclimação que os tipos de primavera, que não possuem vernalização. Entretanto, mesmo dentro dos chamados trigos de primavera, que são menos sensíveis a vernalização e que não possuem o gene *Vrn*, podem responder favoravelmente ao processo de aclimação.

À medida que se dá o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos ocorre perda acentuada na tolerância à geada devido ao crescimento rápido das plantas as quais são incapazes de se aclimatarem (LEVITT, 1972). Assim, a avaliação de materiais que podem ser tolerantes a geada, pelo processo de aclimação, não podem se avaliados em estádios fenológicos avançados, como no espigamento. Neste caso, é necessário que as avaliações dos genótipos que toleram injúrias provocadas pelas geadas, dentro dos programas de melhoramento, sejam feitas logo no estágio fenológico do alongamento para, posteriormente, selecionar cultivares que resultem em rendimento de grãos semelhantes aquelas que não passaram por períodos de estresse por temperaturas congelantes.

Portanto, o conhecimento das características bioclimáticas de cada genótipo de trigo é fundamental para subsidiar o planejamento de cruzamentos em programas de melhoramento voltados à criação de cultivares para ambientes específicos (CUNHA et al., 1997). Desse modo, o estudo teve como objetivos avaliar genótipos de trigo quanto à tolerância a geada em condições de câmara de crescimento no estágio de alongamento das plantas e verificar características de linhas

quase-isogênicas de trigo quanto à tolerância ou susceptibilidade a geada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Embrapa Trigo – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, localizada no município de Passo Fundo/RS nos anos de 2004 e 2005. A área está georeferenciada em 28° 15' S, 52° 24' W e 687 m de altitude.

Pela classificação Climática de Köppen, Passo Fundo, está localizada na Zona Climática fundamental temperada (C), apresentando clima do tipo fundamental úmido (f) e variedade específica subtropical (Cfa), sendo descrito como subtropical úmido, com chuvas bem distribuídas durante o ano (normal climatológica 1961-1990: 1.788 mm) e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Dezembro e junho são os meses de maior e menor densidade de fluxo de radiação solar com 22,3 MJ/m² dia⁻¹ e 9,3 MJ/m² dia⁻¹, respectivamente. Junho, julho e agosto são os meses de temperaturas mínimas inferiores a 10°C e com maior probabilidade de ocorrência de geadas (CUNHA, 1997).

O solo utilizado nos vasos é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico, textura argilosa (EMBRAPA, 1999).

As sementes de trigo foram tratadas com fungicida e inseticida indicados para a cultura do trigo e colocadas em germinador à temperatura de 20°C por 48 horas (antes do plantio) em papel de germinação umedecido para realização de pré-germinação.

Os tratos culturais de adubação e controle fitossanitário foram realizados conforme indicações estabelecidas para a cultura de trigo pela Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo (REUNIÃO..., 2004). Visando obter controle total de doenças e de insetos foram realizadas aplicações sistemáticas de fungicida e inseticida, de quinze em quinze dias. Essa rotina foi implementada para evitar que a ação de doenças ou insetos mascarassem os efeitos provocados pela geada nas plantas. A irrigação dos vasos foi realizada a cada dois dias até o solo atingir a capacidade de campo.

A simulação de geada foi realizada em câmara de crescimento, (Controlled Environment Inc., modelo PGW 36, série 71812) com capacidade de intensidade máxima de luz de 100 k luz, amplitude de temperatura de $-10,0^{\circ}\text{C}$ a 50°C e com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Quando a temperatura da câmara de crescimento chegava a 0°C as plantas foram umidificadas com água fria (0°C), com o auxílio de um pulverizador costal de alta pressão (Super Spray). O processo de umidificação das plantas tinha por finalidade incitar a formação de cristais de gelo nas superfícies expostas das plantas, simulando, assim, a formação de geada.

Foram realizados dois estudos para atender os objetivos desse trabalho.

2.1 Estudo I - Simulação de geada para diferentes genótipos de trigo

Esse experimento foi conduzido em 2005 utilizando-se 29 genótipos de trigo: BR 18-Terena; BRS 177; BRS 179; BRS 194, BRS 208; BRS 220; BRS ANGICO; BRS BURITI; BRS CAMBOATÁ; BRS CAMBOIM; BRS CANELA; BRS FIGUEIRA; BRS GUABIJU; BRS GUAMIRIM; BRS GUATAMBU; BRS LOURO; IAC-5 MARINGÁ; BRS TARUMÃ; BRS TIMBAÚVA; BRS UMBU; PF 001033; PF 001046; PF 980347; PF 980537; PF 980557; PF 990056; PF 990233; PF 990270 e PF 990606.

O mesmo foi instalado em vasos pequenos, tipo PVC, com capacidade para 2 kg de solo. Em cada unidade experimental (165,05 cm²) foram cultivadas sete sementes pré-germinadas por vaso.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e o arranjo dos tratamentos foi em fatorial com três repetições. Os tratamentos constaram de 29 genótipos e da simulação de geada (com e sem). Esse experimento foi conduzido somente em câmara de crescimento com temperatura diurna de 15°C e noturna de 10°C. O fotoperíodo utilizado foi de 12 horas e a umidade relativa foi mantida entre 80-90%. Após a emergência das plantas, foi realizado desbaste, deixando-se quatro plantas por vaso.

Quando as plantas referentes ao tratamento com geada atingiram o estágio de alongamento, segundo a escala de Feekes, 1940, modificada por Large 1954 (SCHEEREN, 1986) foram submetidas à simulação de geada. Essa avaliação foi realizada visualmente, caracterizando o estágio quando mais de 50% das plantas

encontravam-se no estádio avaliado. Três dias antes da aplicação da geada, as plantas foram aclimatadas. Para isso foram submetidas a temperaturas baixas (ciclo diário com mínima de 2°C e máxima de 12°C) (Apêndice 1). A aplicação da geada foi realizada no quarto dia com temperatura mínima de -7°C (Apêndice 2). Após a geada, as plantas permaneceram por mais três dias com temperatura de aclimação antes de retornar a temperatura de 10°C noturna e 15°C diurna.

A avaliação de queima de folhas foi determinada pela atribuição de notas, por meio da observação visual feita por três pessoas, as quais concederam uma nota para as plantas de cada vaso, adotando o critério de uma escala de 1 a 5 (Apêndice 4). A nota de queima de folhas foi obtida pela média das duas notas mais próximas atribuídas pelos avaliadores. Aos 14 dias, após a geada, as plantas de cada unidade experimental foram cortadas próximo ao solo e colocadas em estufa a 65°C até peso constante para determinação da matéria seca total da parte aérea (g m^2).

2.2 Estudo II: Simulação de geada em linhas quase-isogênicas de trigo

O experimento foi realizado em 2004 sob condições de telado (tela clarite de polietileno). Essa tela reduz a intensidade luminosa em 9% e a temperatura interna diária do telado aumenta, em média, 1,5°C quando comparado com a temperatura externa.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado e o arranjo dos tratamentos foi em fatorial com quatro repetições. Os tratamentos constaram de 7 linhas quase-isogênicas (com e sem gene de resposta à vernalização) e da simulação de geada (com e sem geada).

Foram utilizadas as seguintes linhas quase-isogênicas de trigo: PHOENIX, PITIC, PITIC INVERNO, PITIC PRIMAVERA, YECORA ROJO, YECORA ROJO INVERNO E YECORA ROJO PRIMAVERA. O experimento foi instalado em vasos tipo PVC com capacidade para 7,8 kg de solo. Em cada unidade experimental (452,16 cm²) foram cultivadas quinze sementes pré-germinadas por vaso. Após a emergência das plantas, foi realizado desbaste, deixando-se nove plantas por vaso.

Para avaliar os estádios característicos de desenvolvimento da cultura utilizou-se a escala de Feekes, 1940, modificada por Large em 1954 (SCHEEREN, 1986). Foram avaliados os seguintes estádios de desenvolvimento fenológico: emergência, afilhamento, alongamento, espigamento, antese e maturação fisiológica. Essa avaliação era realizada visualmente, caracterizando o estádio quando mais de 50% das plantas encontravam-se no mesmo. Essas avaliações foram necessárias para o planejamento da simulação de geada nos dois estádios mencionados.

A simulação de geada foi realizada em dois estádios de desenvolvimento do trigo: no alongamento e no espigamento. Para cada estádio foram utilizados um conjunto de quatro vasos de plantas diferentes para cada linha quase-isogênica em estudo a fim de simular o processo de congelamento. Três dias antes da aplicação da geada

todas as plantas foram submetidas ao processo de aclimação, conforme descrito no estudo I (Apêndice 1).

A colheita do material foi realizada quando as plantas que não foram submetidas à simulação de geada estavam em ponto de colheita (maturação fisiológica). Para avaliação da matéria seca total da parte aérea, as plantas foram cortadas próximas ao solo e colocadas em estufa a 65°C até massa constante. Após, foi realizada a trilha das espigas e os grãos foram novamente colocados em estufa a 65°C até massa constante.

2.3 Análise estatística

A análise estatística foi realizada pela análise de variância (ANOVA) estruturada de acordo com os apêndices (15, 16 e 17). A comparação de médias de tratamentos foi efetuada pelo teste de Tukey a 5% e a 10% de probabilidade de erro. Os dados referentes a nota de queima de folha foram transformados (raiz quadrada de $y + 1 = \sqrt{y+1}$) para estabilizar as variâncias dos tratamentos, pois ocorreram valores zero.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização dos experimentos, na época indicada para o trigo, a temperatura externa do telado variou entre 32 e -1,4°C e 32,8 e 0,5°C, respectivamente para os anos de 2004 e 2005. Em ambos

os anos de experimentação, para o período de junho a outubro, a temperatura média, a umidade relativa e a radiação solar permaneceram próximas às condições de normalidade climatológica, para a região.

3.1 Estudo I - Simulação de geada para diferentes genótipos de trigo

3.1.1 Efeito da geada na percentagem de queima de folha

A análise de variância evidenciou efeito significativo para a interação genótipos e geada, quando as leituras de nota de queima de folhas foram realizadas sete e 14 dias após as plantas serem submetidas a temperaturas congelantes (Tabela 23 e 24).

Dentre os genótipos estudados que apresentaram as maiores percentagens de queima de folhas aos sete dias destacam-se a cultivar BR 18 - Terena seguida pela BRS Camboim, BRS 177 e BRS Guamirim e pelas linhagens PF 980537, PF 001033 e PF 980557. Nas folhas danificadas pela geada nesses genótipos observou-se inicialmente coloração amarelada e, posteriormente, aspecto necrosado (queimado), com forte odor, devido à desidratação da vegetação (SHROYER et al., 1995). As maiores porcentagens de injúria ocorridas no trigo BR18-Terena pode estar relacionado à sensibilidade dessa cultivar as temperaturas congelantes.

Por outro lado, as cultivares BRS Umbu, BRS Guabiju, BRS 194, BRS Guatambu, BRS Figueira e BRS 179 e a linhagem PF

990606 apresentaram as menores percentagens de queima, sendo que a BRS Umbu, a BRS Guabiju e a linhagem PF 990606, praticamente, não apresentaram injúria nas folhas por ocasião da geada. As demais cultivares e linhagens ficaram numa faixa intermediária entre as mais e menos tolerantes (Tabela 23).

Quando a avaliação de queima de folhas foi realizada aos 14 dias após a simulação da geada, a tendência geral se manteve semelhante à avaliação feita aos sete dias. As maiores percentagens de queima de folhas foram da cultivar BR 18 - Terena seguida pela BRS Camboim. Enquanto que as cultivares BRS Umbu, BRS Guabiju, BRS Guatambu, BRS Figueira e BRS 179 e a linhagem PF 990606 não apresentaram queima de folhas 14 dias após a geada (Tabela 24), mas não diferiram das cultivares BRS 220, BRS Camboatá, BRS Tarumã, BRS Louro, BRS 177, BRS Canela, BRS Figueira, BRS Buriti, BRS 194 e das linhagens PF 980557, PF 001033, PF 990233, PF 001046, PF 990270, PF 980347 e PF 990056. Uma maior tolerância à geada da cultivar BRS 194 para queima de folhas foi constatado por Scheeren et al. (2000) em experimento realizado em condições de campo. Esses autores encontraram uma diferença 67% menor na queima de folhas da cultivar BRS 194 quando comparada com a cultivar BR 18-Terena

A variabilidade dentro de um mesmo genótipo, em diferentes estádios ou entre genótipos provavelmente pode ser explicada pelos diferentes tipos de danos que a geada pode causar na planta e pelos distintos mecanismos de tolerância envolvidos. As cultivares BRS 194, BRS Guabiju, BRS Guatambu, BRS Figueira são oriundas de cruzamentos com a BR 23. Em experimentos de campo realizados por Scheeren et al. (2000) foram constatados que os danos de

queima de folhas para essa cultivar não diferiram da BRS 194, indicando que a BR 23 possui tolerância semelhante a da BRS 194 as temperaturas congelantes. A cultivar BR 23 deriva do cruzamento: CORRE CAMINOS/ALONDRA SIB/3/IAS 54-20/COTIPORÃ//CNT 8 (EMBRAPA TRIGO). Scheeren (1982) constatou que a cultivar CNT 8 apresentou tolerância elevada a geada quando foi submetida a esse estresse no emborrachamento, mas passou para uma condição intermediária quando foi submetida a geada no espigamento. A cultivar Cotiporã, também apresentou certa tolerância a geada segundo os estudos de Scheeren (1982). Desse modo, talvez os genótipos que deram origem a cultivar BR 23 possuem genes com certa tolerância à geada e a mesma foi transferida para os materiais que derivaram dela (BR 23).

Contudo, a BRS Umbu, sem apresentar queima de folhas, no alongamento, é oriunda do cruzamento Century/BR 35. A cultivar BR 35 (SCHEEREN et al., 2000), é considerado material suscetível à geada. Talvez, a tolerância da BRS Umbu a queima de folhas esteja ligada a cultivar Century, de origem canadense, a qual, provavelmente, apresenta maior tolerância às temperaturas baixas, uma vez que o Canadá é uma região fria.

Tabela 23. Nota de queima de folhas, sete dias após a simulação da geada no estádio de alongamento em diferentes genótipos de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Genótipo	Geada	
	Com	Sem
	Queima de folhas aos 7 dias	
BR 18-Terena	A 1,33 a ¹	B 0,00 a
BRS Camboim	A 1,17 a b	B 0,00 a
PF 980537	A 1,17 a b	B 0,00 a
BRS 177	A 1,00 a b c	B 0,00 a
BRS Guamirim	A 0,92 a b c d	B 0,00 a
PF 001033	A 0,92 a b c d	B 0,00 a
PF 980557	A 0,92 a b c d	B 0,00 a
BRS Angico	A 0,83 b c d e	B 0,00 a
BRS Timbauva	A 0,83 b c d e	B 0,00 a
PF 990270	A 0,83 b c d e	B 0,00 a
PF 001046	A 0,75 b c d e f	B 0,00 a
BRS Camboatá	A 0,67 c d e f g	B 0,00 a
BRS Louro	A 0,67 c d e f g	B 0,00 a
BRS Tarumã	A 0,67 c d e f g	B 0,00 a
IAC-5 Maringá	A 0,58 c d e f g	B 0,00 a
BRS 208	A 0,50 d e f g h	B 0,00 a
BRS Buriti	A 0,50 d e f g h	B 0,00 a
BRS Canela	A 0,50 d e f g h	B 0,00 a
PF 980347	A 0,50 d e f g h	B 0,00 a
PF 990056	A 0,50 d e f g h	B 0,00 a
BRS 220	A 0,45 d e f g h	B 0,00 a
PF 990233	A 0,42 e f g h	B 0,00 a
BRS 179	A 0,33 f g h i	A 0,00 a
BRS Figueira	A 0,30 g h i	A 0,00 a
BRS Guatambu	A 0,17 h i	A 0,00 a
BRS 194	A 0,10 h i	A 0,00 a
BRS Guabiju	A 0,00 i	A 0,00 a
BRS Umbu	A 0,00 i	A 0,00 a
PF 990606	A 0,00 i	A 0,00 a
Média	0,60	0,00
C. V. (%)	4,74	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Nota: 1= 0-20%, 2 = 20-40%, 3 = 40-60%, 4 = 60-80% e 5 = 80-100%

Tabela 24: Nota de queima de folhas, 14 dias após a simulação da geada no estádio de alongamento em diferentes genótipos de trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Genótipo	Geada	
	Com	Sem
	Queima de folhas aos 14 dias	
BR 18-Terena	A 1,83 a ¹	B 0,00 a
BRS Camboim	A 1,50 a b	B 0,00 a
BRS Guamirim	A 1,08 b c	B 0,00 a
BRS Angico	A 0,92 c d	B 0,00 a
PF 980537	A 0,70 c d e	B 0,00 a
IAC-5 Maringá	A 0,55 d e f	B 0,00 a
BRS 208	A 0,50 d e f	B 0,00 a
BRS Timbauva	A 0,50 d e f	B 0,00 a
PF 980557	A 0,45 d e f g	A 0,00 a
BRS 220	A 0,43 d e f g	A 0,00 a
BRS Camboatá	A 0,43 d e f g	A 0,00 a
BRS Tarumã	A 0,43 d e f g	A 0,00 a
BRS Louro	A 0,42 d e f g	A 0,00 a
BRS 177	A 0,40 d e f g	A 0,00 a
BRS Canela	A 0,40 d e f g	A 0,00 a
BRS Figueira	A 0,38 e f g	A 0,00 a
PF 001033	A 0,38 e f g	A 0,00 a
PF 990233	A 0,38 e f g	A 0,00 a
BRS Buriti	A 0,27 e f g	A 0,00 a
PF 001046	A 0,27 e f g	A 0,00 a
PF 990270	A 0,23 e f g	A 0,00 a
PF 980347	A 0,13 f g	A 0,00 a
BRS 194	A 0,12 f g	A 0,00 a
PF 990056	A 0,10 f g	A 0,00 a
BRS 179	A 0,00 g	A 0,00 a
BRS Guabiju	A 0,00 g	A 0,00 a
BRS Guatambu	A 0,00 g	A 0,00 a
BRS Umbu	A 0,00 g	A 0,00 a
PF 990606	A 0,00 g	A 0,00 a
Média	0,44	0,00
C. V. (%)	5,73	

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Nota: 1= 0-20%, 2 = 20-40%, 3 = 40-60%, 4 = 60-80% e 5 = 80-100%

3.1.2 Efeito da geada na matéria seca total

Houve efeito significativo para a interação genótipos e geada para matéria seca total (Tabela 25). De todos os genótipos estudados a cultivar BRS Guatambu foi a que se destacou com menor produção de matéria seca no tratamento com geada, apesar de ter apresentado menor queima de folha. Isso pode ser atribuído a menor taxa inicial de crescimento, uma vez que essa cultivar também apresentou a menor produção de matéria seca no tratamento sem geada.

A mesma tendência pode ser observada para a cultivar IAC-5 Maringá, que apresentou a maior produção de matéria seca entre todas, embora diferindo apenas da BRS Guatambu. Entretanto, neste caso, além de provável maior taxa de crescimento inicial, conforme mostram os valores de matéria seca do tratamento sem geada, a cultivar, provavelmente, apresente também maior tolerância aos efeitos da geada no aparato fotossintético que as demais, embora tenha sido classificada como intermediária na queima de folhas (Tabelas 23 e 24).

Tabela 25. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) de diferentes genótipos de trigo, com e sem simulação de geada no estágio de alongamento. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2005

Genótipo	Geada		% Redução MS
	Com	Sem	
	Matéria seca (g m^{-2})		
IAC-5 Maringá	A 159,14 a ¹	A 234,27 a	32,1
BRS Louro	A 139,35 a b	A 217,31 a b	35,9
BRS 220	A 137,33 a b	A 188,23 a b c d e	27,0
BRS Guabiju	A 135,31 a b	A 194,49 a b c d	30,4
PF 980347	A 127,03 a b	A 178,33 a b c d e	28,8
BR 18-Terena	B 120,57 a b	A 205,39 a b c	41,3
BRS Canela	A 118,55 a b	A 145,21 b c d e f	18,4
PF 990056	A 117,14 a b	A 130,26 c d e f	10,1
BRS Figueira	A 116,93 a b	A 144,40 b c d e f	19,0
BRS 208	A 116,13 a b	A 180,96 a b c d e	35,8
BRS Timbauva	A 115,72 a b	A 158,13 a b c d e f	26,8
BRS 177	A 114,11 a b	A 172,88 a b c d e f	34,0
PF 001033	A 113,30 a b	A 152,48 a b c d e f	25,7
PF 980537	A 111,08 a b	A 149,05 b c d e f	25,5
BRS Guamirim	B 109,66 a b	A 194,28 a b c d	43,6
PF 990270	A 108,86 a b	A 161,37 a b c d e f	32,5
PF 990233	A 105,22 a b	A 157,12 a b c d e f	33,0
BRS Umbu	A 103,81 a b	A 161,37 a b c d e f	35,7
PF 990606	A 101,59 a b	A 156,52 a b c d e f	35,1
BRS 194	A 95,73 a b	A 136,12 c d e f	29,7
BRS 179	A 94,31 a b	A 121,38 c d e f	22,3
BRS Angico	A 87,85 a b	A 156,32 a b c d e f	43,8
BRS Camboatá	A 87,25 a b	A 138,95 b c d e f	37,2
PF 001046	A 83,81 a b	A 109,66 e f	23,6
PF 980557	B 82,20 a b	A 178,53 a b c d e	54,0
BRS Camboim	B 80,38 a b	A 205,59 a b c	60,9
BRS Tarumã	A 79,98 a b	A 114,71 d e f	30,3
BRS Buriti	B 79,17 a b	A 185,80 a b c d e	57,4
BRS Guatambu	A 62,41 b	A 92,90 f	32,8
Média	107,03	162,82	33,2
C. V. (%)	19,44		

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 10% de probabilidade de erro.

As cultivares BR 18-Terena, BRS Guamirim, BRS Camboim, BRS Buriti e a linhagem PF 980557 apresentaram diferença significativa para produção de matéria seca total entre os tratamentos com e sem geada. O fato de apenas cinco genótipos apresentarem essa diferença pode ser explicado pela interrupção no ciclo das plantas 14 dias após serem submetidas à geada. Talvez esse período não fosse totalmente suficiente para essas cultivares e linhagem retomassem de maneira efetiva as atividades fisiológicas, principalmente aquelas que despenderam maior energia para tolerar a injúria provocada por temperaturas abaixo de 0°C. Isso pode ser comprovado quando se observa a produção de matéria seca dos genótipos que não apresentaram diferenças entre as plantas submetidas à geada comparada com aquelas que não receberam geada (Tabela 25).

3.2 Estudo II - Simulação de geada em linhas quase-isogênicas de trigo

3.2.1 Efeito da geada na matéria seca total

A análise de variância não evidenciou interação significativa entre linhas quase-isogênicas e geada, indicando que a geada tem efeito semelhante sobre os materiais testados. Houve diferença significativa para linhas quase-isogênicas, no estágio do alongamento (Tabela 26). Na média dos genótipos, o tipo Pitic inverno apresentou a maior produção de matéria seca total, seguido

pela Pitic original, Pitic primavera e Phoenix (Tabela 26). A cultivar Yecora Rojo original, apresentou a menor produção de matéria seca total. A redução foi em torno de 40% quando comparada a tipo Pitic inverno. Também, no espigamento, na média dos genótipos, o tipo Pitic inverno apresentou a maior produção de matéria seca (Tabela 27), não diferindo do tipo Pitic original, Pitic primavera e Phoenix. A redução semelhante para ambos os estádios fenológicos em estudo, está, provavelmente, relacionado ao crescimento inicial e/ou a característica genética de melhor tolerância à geada da linha Pitic em relação a Yecora. As linhas de inverno têm o gene *vrn* que necessita de vernalização e que, portanto, teria menor queima de folhas e conseqüentemente maior produção de matéria seca.

Tabela 26. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo no estágio de alongamento das plantas, na média de tratamentos com e sem aplicação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Linha quase-isogênica	Matéria seca total (g m^{-2})
Phoenix	549,3 a b c d ¹
Pitic original	713,3 a b
Pitic inverno	749,1 a
Pitic primavera	688,0 a b c
Yecora Rojo original	449,4 d
Yecora Rojo inverno	511,3 b c d
Yecora Rojo primavera	494,8 c d

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 27. Matéria seca total da parte área (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo, no estágio de espigamento, na média de tratamentos com e sem aplicação de geada. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Linha quase-isogênica	Matéria seca total (g m^{-2})
Phoenix	486,8 a b ¹
Pitic original	642,1 a
Pitic inverno	682,6 a
Pitic primavera	627,8 a
Yecora Rojo original	367,7 b
Yecora Rojo inverno	418,4 b
Yecora Rojo primavera	408,2 b

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

3.2.2 Efeito da geada na matéria seca de grãos

A análise de variância não evidenciou interação significativa entre linhas quase-isogênicas e geada, mas diferença significativa para linhas quase-isogênicas, no estágio do alongamento (Tabela 28). Na média dos genótipos, o tipo Pitic primavera apresentou a maior produção de matéria seca de grãos, seguido pela Pitic original, e Pitic inverno (Tabela 28), não diferindo da Yecora Rojo primavera e Yecora Rojo original. A cultivar Yecora Rojo tipo inverno, apresentou a menor produção de matéria seca de grãos, não diferindo da Yecora Rojo original, Yecora Rojo primavera, Phoenix e Pitic de inverno. A redução foi em torno de 32% quando comparada a Pitic original.

Tabela 28. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo, submetidas a condições de geada no estágio de alongamento das plantas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Linha quase-isogênica	Matéria seca de grãos (g m^{-2})
Phoenix	193,4 b ¹
Pitic original	274,8 a
Pitic inverno	267,0 a b
Pitic primavera	276,6 a
Yecora Rojo original	208,4 a b
Yecora Rojo inverno	186,6 b
Yecora Rojo primavera	213,3 a b

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Para o estágio do espigamento a análise de variância evidenciou interação significativa entre linhas quase-isogênicas e geada (Tabela 29). A cultivar Phoenix foi a que apresentou a maior produção de grãos quando submetida à geada, mas não diferindo da Yecora Rojo primavera. O rendimento foi 96% superior em relação as demais linhas quase-isogênicas, no tratamento com geada. Esse resultado pode ser explicado devido a cultivar de inverno Phoenix ser doadora do gene *vrn1*, gene de vernalização (CUNHA et al, 1999). Segundo, Săulescu e Braun (2001) a associação entre tolerância ao frio e requerimento de vernalização pode parcialmente explicar a relação entre os genes responsáveis pela tolerância ao frio e os que controlam o hábito de crescimento. Além disso, os genes de vernalização tem sido a chave de desenvolvimento para identificar os fatores responsáveis pela indução da expressão de genes estruturais as baixas temperaturas (FOWLER et al., 1996). Quando comparados os efeitos na produção de matéria seca entre o tratamento com e sem geada, todas as linhas apresentaram maior rendimento de grãos no tratamento sem geada. A cultivar Pitic tipo primavera destacou-se por

apresentar o maior rendimento, quando comparada com os demais genótipos no tratamento sem geada, diferindo somente da Phoenix, indicando a adaptação desse genótipo às condições bioclimáticas do Rio Grande do Sul.

Tabela 29. Matéria seca de grãos (g m^{-2}) de diferentes linhas quase-isogênicas de trigo, com e sem simulação de geada no estágio de espigamento das plantas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS-2004

Linha quase-isogênica	Geada	
	com	sem
	-----Matéria seca de grãos (g m^{-2})-----	
Phoenix	B 35,4 a ¹	A 162,1 b
Pitic original	B 0,0 b	A 292,8 a
Pitic inverno	B 0,0 b	A 286,6 a
Pitic primavera	B 0,0 b	A 306,6 a
Yecora Rojo original	B 0,0 b	A 185,7 a b
Yecora Rojo inverno	B 0,0 b	A 188,3 a b
Yecora Rojo primavera	B 1,2 a b	A 220,3 a b

¹ Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

4 CONCLUSÕES

1. Os genótipos avaliados apresentam variabilidade de tolerância a geada, tanto para queima de folhas, quanto para perdas de matéria seca total em função de geada;
2. As linhas quase-isogênicas do cultivar Pitic apresentam maior produção de matéria seca total e matéria seca de grãos, em relação as demais linhas testadas, quando a geada ocorre no alongamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, F. Z; VILELA, E., de A.; COELHO, D. T.; SEDIYAMA, G. C.; VIEIRA, H. Climatologia: considerações sobre geadas. Geada: definições para o agricultor. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.5, n.54, p. 17-21, 1979.

BAYMA, C. *Trigo*. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola – Mistério da Agricultura, 1960. (Estudo Técnico, 14).

BELLIDO, L.L. *Cultivos herbaceos-cereals*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1991.

BERGAMASCHI, H. et al. *Clima na estação experimental da UFRGS (e região de abrangência)*. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

BURGOS, J. J. *Las geadas en la Argentina*. Argentina: Secretaria de Estado de Agricultura y Ganaderia de la Nacion-Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria, 1963. (Coleção Científica, v. III).

CROMEY, M.G.; WRIGHT, D.S.C.; BODDINGTON, H.J. Effects of frost during grain filling on wheat yield and grain structure. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Lower Hutt, v.26, n.4, p. 279-290, 1998.

CUNHA, G.R. da. Geada e trigo. *Informativo Fundação Pró-Sementes & Apassul*, Passo Fundo, ano 01, n.04, set. 2003.

CUNHA, G.R. da. *Meteorologia: fatos e mitos*. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997.

CUNHA, G.R. da; MINELLA, E.; DALMAGO, G.A; PASINATO, A. Comportamento fenológico de linhagens de trigo quase-isogênicas para resposta à vernalização, no Sul do Brasil. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE TRIGO, XVIII, Passo Fundo, 1999. Anais...Passo Fundo: Embrapa Trigo, v.2, 1999. P. 604-609.

CUNHA, G.R. da; SCHEEREN, P.L.; DEL DUCA, L.J. A.; FIORINI, M.C.; SILVA, C.F.L. Índice de sensibilidade a vernalização em trigos sul-brasileiros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.1, , p. 29-33, 1998.

CUNHA, G.R. da; SCHEEREN, P.L.; RODRIGUES, O.; DEL DUCA, L.J. A.; FIORINI, M.C.; SILVA, C.F.L. Bioclimatologia de trigos sul-brasileiros. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.2, , p. 195-198, 1997.

DALMAGO, G.A ; CUNHA, G.R. da ; PIRES, J.L.F.; TOMM, G.O. ; PASINATO, A.; LEURSEN, I. ; FANTON, G. . Aclimação e intensidade de geada em canola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007, Aracaju. *Anais...* Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2007. v. 1. CD-ROM.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção e Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FLOSS, E. L. *Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo está por trás do que se vê*. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2004.

FOWLER, D.B.; LIMIN, A.E.; RITCHIE, J.T. Low-Temperature Tolerance in Cereals: Model and Genetic Interpretation. *Crop Science*, Madison, v.39, n.3. p. 626-633, 1999.

FOWLER, D.B.; LIMIN, A.E.; WANG, S-Y; WARD, R.W. Relationship between low-temperature tolerance and vernalization response in wheat and rye. *Canadian Journal of Plant Science.*, v.76, p.37-42, 1996.

GUSTA, L.V.; BURKE, M.J.; TYLER, N.J. Factors influencing hardening and survival in winter wheat. In: LI, P.H.; SAKAI, A. (Eds.). *Plant cold hardiness and freezing stress*. Vol. II. New York: Academic Press, 1982. p. 23-40.

GUSTA, L.V.; WILLEN, R.; FU, P.; ROBERTOTSON, A.J.; WU, G.H. Genetic and environmental control of winter survival of winter cereals. *Acta Agronomica Hungarica*, Budapest, v. 45, n.3, p. 231-240. 1997.

KATO, H. ; TAKETA, S.; BAN, T.; IRIKIT, N.; MURAI, K. The influence of a spring habit gene, Vrn-D1, on heading time in wheat. *Plant Breeding*, Berlin, v. 120, p. 115-120, 2001.

LEVITT, J. *Responses of plant to environmental stress*. 2ª ed. v.1. New York: Academic Press, 1980.

LEVITT, J. Temperature stress. In _____. *Responses of plant to environmental stress*. New York: Academic Press, 1972. p.28-228.

LINDOW, S. E. Methods of preventing frost injury caused by epiphytic ice-nucleation-active bacteria. *Plant Disease*, St. Paul, v.67, n.3, p. 327-332, 1983.

MACHADO, E. C., LAGÔA, A. M. M. A., TICELLI, R. Relações fonte-dreno em trigo submetido a deficiência hídrica no estágio reprodutivo. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal: São Carlos*, v. 5, n. 2, p. 145-150, 1993.

MCINTOSH, R.A. Catalogue of gene symbols for wheat. In: INTERNATIONAL WHEAT GENETICS SYMPOSIUM, 7, 1988, Cambridge. *Proceedings...* Cambridge: Institute of Science Research, 1988, v. 2, p. 1259-1261.

MCCREE, K.J.; RICHARDSON, S.G. Stomatal closure vs. Osmotic adjustment: a comparison of stress responses. *Crop Science: Madison*, v. 27, p. 539-543, 1987.

MOTA, F.S. da. Clima e Zoneamento para a triticultura no Brasil. In: OSÓRIO, E. A. (Coord). *Trigo no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1982. p 27-61.

MUNDSTOCK, C. M. *Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo*. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

PASCALE. A.J. Design of agrometeorological field experiments. In: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION SYMPOSIUM, 1973, Braunschweig. *Agrometeorology of the wheat crop. Proceedings...* Offenbach: WMO, 1974. p. 74-102.

PEARCE, R. S. Plant freezing and damage. *Annals of Botany*, London, v. 87, p. 417-424, 2001.

REUNIÃO DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. *Indicações técnicas da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo: trigo e triticales*. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2004. 152p.

RODRIGUES, O. Manejo de trigo: bases fisiológicas. In: CUNHA, G.R.; BACALTCHUK, B (Org.). *Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Assembléia Legislativa. Comissão

de Agricultura, Pecuária e Cooperativismo / Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p.120-155.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; MARCHESE, J.A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 6, p. 839-846, 1998.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. *Microclimate – The biological environment*. New York: John Wiley & Sons, 1983.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C. W. *Plant Physiology*. Belmont, 4ª edição, 1992.

SĂULESCU, N.N.; BRAUN, H.-J. Cold tolerance. In: REYNOLDS, M.P.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; MCNAB, A. (Ed.). *Application of physiology in wheat breeding*. Mexico: CIMMYT, 2001. p. 111-123.

SCHEEREN, P.L. Danos de geada em trigo: avaliação preliminar de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, n.6, p.853-858, 1982.

SCHEEREN, P. *Informações sobre o trigo (Triticum spp.)*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1986. (Documentos, 2). 34p.

SCHEEREN, P; CUNHA, G.R.; QUADROS, F.J.S.; MARTINS, L.F. *Efeito do frio em trigo*. 2000. Disponível em: <http://w.w.w.embrapa.br/biblio/p_co57.htm>. Acesso em: 14 abr. 2004.

SHROYER, J.P.; MIKESELL, M. E.; PAULSEN, G.M. Spring freeze injury to Kansas wheat. *Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service*, Manhattan: Kansas State University, p. 1-12, 1995.

SINGLE, W. V. Frost damage in wheat crop. *Agriculture Gazette N. S. W.*, Sidney, v.82, p.211-214, 1971.

SLAFER, G.A.; SATORRE, E. H.; ANDRADE, F.H. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. In: SLAFER, G. A. (Ed). *Genetic improvement of field crops*. New York: M. Dekker, 1994. p. 1-68.

SNAPE, J.; BUTTERWORTH, K.; WHITECHURCH, E.; WORLAND, A.J. Waiting for fine times: genetics of flowering time

in wheat. In: BEDO, Z.; LÁNG, L. *Wheat in a Global Environment*. Inglaterra: Kluwer Academic Publishers, 2001. p.67-74.

SNAPE, J.W.; SEMOKHOSKII, A.; FISH, L.; SARMA, R.N.; QUARRIE, S.A.; ALIBA, G.; SUTKA, J. Mapping frost tolerance loci in wheat and comparative mapping with other cereals. *Acta Agronomica Hungarica*, Budapest, v. 45, n. 3, p. 265-270, 1997.

STAEHELIN, L. A.; NEWCOMB, E. H. Membrane structure and membranous organelles. In: BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (ed). *Biochemistry & molecular biology of plants*. Maryland: American Society of Plant Physiologists, 2000. p 2-50.

SZÚCS, P.; VEISZ, O.; BEDO, Z. Frost tolerance of *Triticum durum* (Desf.) genotypes in soils with various moisture contents. *Cereal Research Communications*, Szeged, v.31, n.1-2, p.153-160, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 1998. 792p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.J. L. *Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras*. 1. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1980.

VÁGÚJFALVI, A.; KEREPESI, I.; GALIBA, G.; TISCHNER, T.; SUTKA, J. Frost hardiness depending on carbohydrate changes during cold acclimation in wheat. *Plant Science*, Limerick, v. 144, p. 85–92, 1999.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo, 2000.

VEISZ, O.; BRAUN, H.J.; BEDO, Z. Plant damage after freezing, and the frost resistance of varieties from the facultative and winter wheat observation nurseries. *Euphytica*, Dordrecht, v.119, n.1-2, p.179-183, 2001.

VEISZ, O.; TISCHNER, T. Hardiness of winter wheat varieties as a function of changes in certain environmental factors. *Biotronics*, Japan, v. 24, p. 73-83, 1995.

WENDT, W.; ROSA, O. de S. Avaliação preliminar do efeito da geada sobre a fertilidade de espiga em trigo (*Triticum aestivum* L.),

sob condições controladas. In. MOTA, F.S. da, (Ed.) *Agrometeorologia do trigo no Brasil*. Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.87-94.

WENDT, W.; TEIXEIRA, J.B. As geadas e o trigo no Brasil. In. MOTA, F.S. da, (Ed.) *Agrometeorologia do trigo no Brasil*. Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. p.65-86.

WHALEY, J.M.; KIRBY, E.J.M.; SPINK, J.H.; FOULKES, M.J.; SPARKES, D.L. Frost damage to winter wheat in the UK: the effect of plant population density. *European Journal of Agronomy*, Amsterdam, v.21, p.105-115, 2004.

XIN, Z.; BROWSE, J. Cold comfort farm: the acclimation of plants to freezing temperatures. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v.23, p.893-902, 2000.

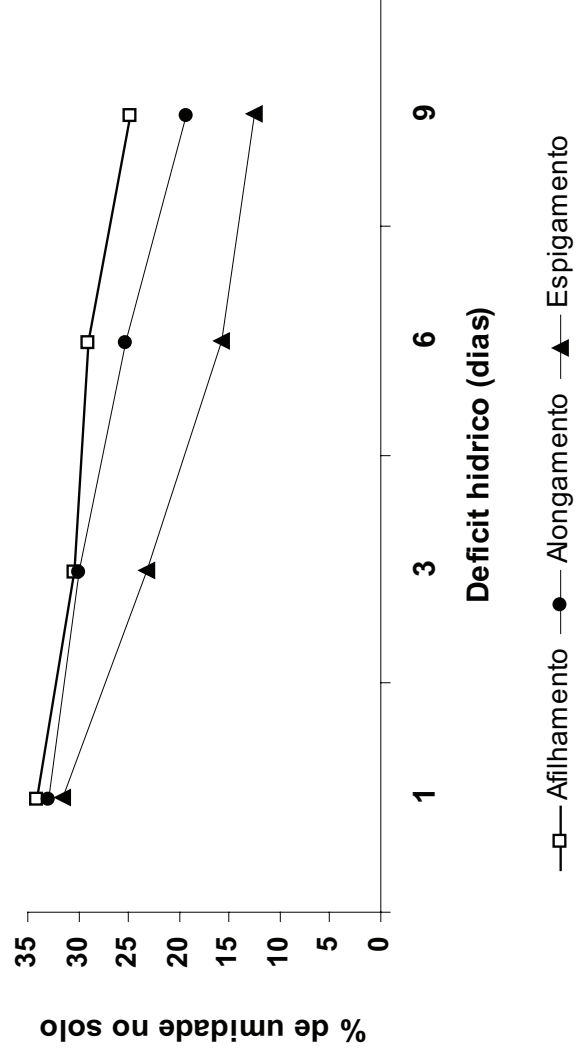
APÊNDICES

APÊNDICE 1. Programa do Fitotron para o período de aclimatação. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Horas do dia	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	
Horas fitotron	19	20	21	22	23	00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Temperatura °C	9,5	8	8	7	6	4,5	4	3	2,5	2	2	2	2,5	3	4	5	7	9,5	10	11	11,5	12	11,5	11	
Lux do fitotron	Noite : sem lux																								
Umidade relativa	80 a 100%												Dia :40 a 50 Klux												50 a 60 %

APÊNDICE 2. Programa do Fitotron - Simulação de Geadas. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Horas do dia	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4												
Horas fitotron	19	20	21	22	23	00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18												
Temperatura °C	9	8	6	4	2	1	0	-1	-2	-4	-7	-3	-1	0	3	6	7	8	9	10	11	12	11	12	11	10										
Lux do fitotron	Dia :40 a 50 K.lux																																			
Umidade relativa	Noite : sem lux												80 a 100%												50 a 60 %											



APÊNDICE 3. Teor de umidade no solo durante a simulação de geada nos diferentes estádios de desenvolvimento do trigo. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

APÊNDICE 4. Parâmetros utilizados para a avaliação de queima de folha. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

Nota	Queima de Folha (%)
1	0 – 20
2	20-40
3	40-60
4	60-80
5	80-100

APÊNDICE 5. Resumo da análise de variância para a simulação de geada com aclimação de plantas no estádio de afilhamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	66,4992781**	51,25781250**	130215,8028**	52,37761250**
Geada (G)	1	112,3125781**	90,45125000**	32203,4131*	1,54880000
Aclimação (A)	1	3,0938281**	2,25781250**	29242,0836*	5,26501250*
Cult*Geada (C*G)	1	66,4992781**	51,25781250**	4355,2445	0,20801250
Cult*Aclimação (C*A)	1	0,7472531**	1,47920000**	3012,4322	0,02420000
Gead*Aclimat (G*A)	1	3,0938281**	2,25781250**	513,9218	0,09031250
Cult*Gead*Aclimat (C*G*A)	1	0,7472531**	1,47920000**	3578,1570	0,96605000
Erro	24	0,7818250	0,4206500	4277,9323	1,04576458
Total	31	-	-	-	-
C.V. (%)	-	6,28	4,93	12,14	7,87

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 6. Resumo da análise de variância para a simulação de geada com aclimação de plantas no estádio de alongamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadro Médio			
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	42,27401250**	26,77290312**	98070,2400**	74,84761250**
Geada (G)	1	55,59851250**	67,36702812**	259111,8075**	69,44311250**
Aclimação (A)	1	4,72781250**	5,19225313**	27219,6945**	5,59451250*
Cult*Geada (C*G)	1	42,27401250**	26,77290312**	334,9519	3,49801250
Cult*Aclimação (C*A)	1	1,48781250**	0,07702813	1037,9707	1,77661250
Gead*Aclimat (G*A)	1	4,72781250**	5,19225313**	823,0639	0,05281250
Cult*Gead*Aclimat (C*G*A)	1	1,48781250**	0,07702813	744,4976	0,25561250
Erro	24	1,3143000	8,2594750	3277,4714	0,8433500
Total	31	-	-	-	-
C.V. (%)	-	10,09	23,93	11,91	7,83

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 7. Resumo da análise de variância para a simulação de geada com aclimação de plantas no estádio de espigamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	0,7781281**	4,2195125**	65837,3185**	14,297878**
Geada (G)	1	575,7072781**	530,8911125**	941075,3836**	1164,151878**
Aclimação (A)	1	2,0250781**	3,3282000**	34936,4961**	2,850078*
Cult*Geada (C*G)	1	0,7781281**	4,2195125**	1464,7578	8,999403**
Cult*Aclimação (C*A)	1	0,4925281**	1,7484500**	830,0775	0,646953
Gead*Aclimat (G*A)	1	2,0250781**	3,3282000**	45,6968	0,822403
Cult*Gead*Aclimat (C*G*A)	1	0,4925281**	1,7484500**	1138,5992	0,000528
Erro	24	0,4730750	1,0292500	2952,469	0,669374
Total	31	-	-	-	-
C.V. (%)	-	2,67	4,08	13,62	11,41

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 8. Resumo da análise de variância para a simulação de geada com aclimação de plantas no estádio de alongamento do trigo, GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2004

Fonte de variação	GL	Quadro Médio	
		Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	390317,0481**	67,77390312**
Geada (G)	1	137542,2576**	37,95382813**
Aclimação (A)	1	282124,4286**	26,15452813**
Cult*Geada (C*G)	1	157096,9404**	7,83090312*
Cult*Aclimação (C*A)	1	263821,2161**	31,10632813**
Gead*Aclimat (G*A)	1	138759,1200**	20,27252813**
Cult*Gead*Aclimat (C*G*A)	1	158402,8755**	10,22650312**
Erro	24	7388,776	1,2451406
Total	31	-	-
C.V. (%)	-	13,20	7,39

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 9. Resumo da análise de variância para a simulação de geada com aclimação de plantas no estádio de espigamento do trigo, GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2004

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	457833,590**	30,420000**
Geada (G)	1	1167987,996**	1840,727813**
Aclimação (A)	1	358226,105**	23,120000**
Cult*Geada (C*G)	1	118662,433**	30,420000**
Cult*Aclimação (C*A)	1	230680,093**	19,251012**
Gead*Aclimat (G*A)	1	93109,070**	23,120000**
Cult*Gead*Aclimat (C*G*A)	1	186056,100**	19,251012**
Erro	24	6607,848	0,498440
Total	31	-	-
C.V. (%)	-	15,46	8,22

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 10. Resumo da análise de variância para intensidade de simulação de geada no estádio de alongamento do trigo, GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2004

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	15379,0722	0,00070313
Intensidade (I)	3	39109,9919**	19,34892813**
Cult*Intens (C*I)	3	18998,1311*	10,32091979**
Erro	24	5158,5852	0,7407073
Total	31	-	-
C.V. (%)	-	12,66	6,12

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 11. Resumo da análise de variância para intensidade de simulação de geadas no estádio de espigamento do trigo, GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2004

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	759,2330	13,741903**
Intensidade (I)	3	52436,5473**	375,465086**
Cult*Intens (C*I)	3	503,9130	1,122528
Erro	24	2579,7855	1,021634
Total	31	-	-
C.V. (%)	-	8,93	8,88

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 12. Resumo da análise de variância para simulação de geada em plantas submetidas a déficit hídrico no estádio de afilhamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	83,6352000**	45,3574083**	4896,88401	0,09900833
Geada (G)	1	155,2321333**	102,1416750**	6146,30803	1,05020833
Déficit hídrico (DH)	3	0,7478611**	1,1078750**	287,85658	0,70400556
Cult*Geada (C*G)	1	83,6352000**	45,3574083**	40034,61120**	7,905633333**
Cult*Déf híd (C*DH)	3	0,3011167	0,0774750	4682,41090	0,97614722
Gead* Déf híd (G*DH)	3	0,7478611**	1,1078750**	2285,35597	0,47145833
Cult*Gead* Déf híd (C*G*DH)	3	0,3011167	0,0774750	1256,54704	0,40190556
Erro	32	4,2982667	2,8785333	3191,1148	0,54138125
Total	47	-	-	-	-
C.V. (%)	-	13,09	12,19	10,29	5,12

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 13. Resumo da análise de variância para simulação de geada em plantas submetidas a déficit hídrico no estádio de alongamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	72,6192000**	85,8942521**	30212,87630**	25,56460208**
Geada (G)	1	232,4080083**	206,2137521**	93579,45775**	59,20741875**
Déficit hídrico (DH)	3	2,5778583**	3,0969299**	3570,51083**	2,26299653*
Cult*Geada (C*G)	1	72,6192000**	85,8942521**	32104,15577**	22,31776875**
Cult*Déf híd (C*DH)	3	1,2679722**	1,2852299*	1194,72965	2,27894097*
Gead* Déf híd (G*DH)	3	2,5778583**	3,0969299**	1665,34112	0,88293542
Cult*Gead* Déf híd (C*G*DH)	3	1,2679722**	1,2852299*	1497,35091	1,23227431
Erro	32	1,7554000	10,4313333	789,0067	0,5211521
Total	47	-	-	-	-
C.V. (%)	-	7,31	18,58	9,27	7,10

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 14. Resumo da análise de variância para simulação de geada em plantas submetidas a déficit hídrico no estágio de espigamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Cultivar (C)	1	69,1920187**	80,1867000**	51672,4690**	1,868352
Geada (G)	1	194,2063021**	229,6875000**	977680,5251**	1137,924252**
Déficit hídrico (DH)	3	5,9058299**	6,8343333**	6113,1348	3,766641
Cult*Geada (C*G)	1	69,1920187**	80,1867000**	13300,3538*	13,557502**
Cult*Déf híd (C*DH)	3	2,3290910**	4,4916222**	2797,5407	0,420335
Gead* Déf híd (G*DH)	3	5,9058299**	6,8343333**	36171,4451**	30,386147**
Cult*Gead* Déf híd (C*G*DH)	3	2,3290910**	4,4916222**	1692,6476	3,000174
Erro	32	15,1269333	6,9600667	3313,159	1,477275
Total	47	-	-	-	-
C.V. (%)	-	22,83	14,63	16,35	15,80

* Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 15. Resumo da análise de variância para simulação de geada para diferentes genótipos de trigo no estádio de alongamento do trigo, QF = queima de folhas e GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2005

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		QF 7dias	QF 14 dias	Matéria seca parte área (g m ⁻²)
Genótipo (GEN)	28	0,03068461**	0,03989651**	3695,2690**
Geada (G)	1	2,80441437**	1,50641437**	135427,1585**
Cult*Geada (GEN*G)	28	0,03068461**	0,03989651**	1029,9398*
Erro	116	0,00285632	0,00392644	688,7167
Total	173	-	-	-
C.V. (%)	-	4,74	5,73	19,44

* Diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 16. Resumo da análise de variância para simulação de geada em linhas quase-isogênicas de trigo no estádio de alongamento do trigo, GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2004

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Linhas (L)	6	115635,1149**	13,73832679**
Geada (G)	1	8895,5828	0,04686429
Linh*Gead (L*G)	6	33513,1690	4,93276012
Erro	42	17989,304	3,0223702
Total	55	-	-
C.V. (%)	-	22,59	11,50

* Diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.

APÊNDICE 17. Resumo da análise de variância para simulação de geada em linhas quase-isogênicas de trigo no estádio de espigamento do trigo, GL = graus de liberdade. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS – 2004

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		Matéria seca parte área (g m ⁻²)	Matéria seca de grãos (g m ⁻²)
Linhas (L)	6	133449,8040**	5,042679
Geada (G)	1	424734,4464**	2532,635000**
Linh*Gead (L*G)	6	31611,8606	21,372083**
Erro	42	16885,372	2,929643
Total	55	-	-
C.V. (%)	-	25,03	20,34

* Diferença significativa ao nível de 10% de probabilidade de erro.

** Diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade de erro.