

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

CULTIVARES DE TRIGO SUBMETIDAS À INOCULAÇÃO DAS SEMENTES  
COM *Azospirillum brasilense* E À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO  
EM QUATRO AMBIENTES

Neuri Antonio Feldmann  
Engenheiro Agrônomo/FAI

Dissertação apresentada como um dos requisitos  
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia  
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil  
Agosto de 2014

### CIP - Catalogação na Publicação

Feldmann, Neuri Antonio

Cultivares de trigo submetidas à inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* e à aplicação de nitrogênio em quatro ambientes / Neuri Antonio Feldmann. -- 2014.

92 f.

Orientador: Christian Bredemeier.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Trigo. 2. Inoculação. 3. *Azospirillum*. 4. Nitrogênio. I. Bredemeier, Christian, orient. II. Título.

NEURI ANTONIO FELDMANN  
Engenheiro Agrônomo - FAI/Faculdades de Itapiranga

## DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos  
para obtenção do Grau de

### **MESTRE EM FITOTECNIA**

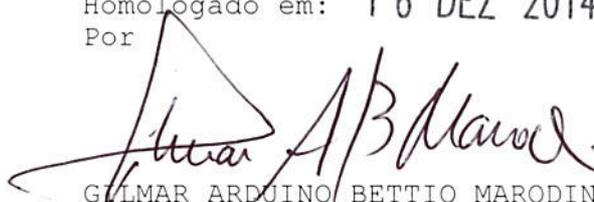
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia  
Faculdade de Agronomia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 28.08.2014  
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 16 DEZ 2014  
Por



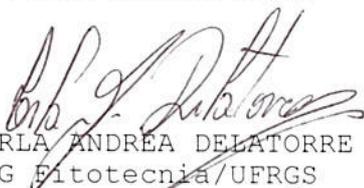
CHRISTIAN BREDEMEIER  
Orientador - PPG Fitotecnia



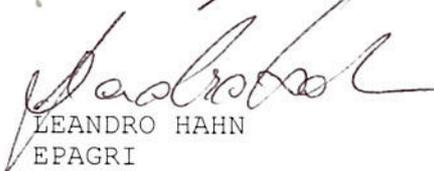
GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia



PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA  
PPG Fitotecnia/UFRGS



CARLA ANDREA DELATORRE  
PPG Fitotecnia/UFRGS



LEANDRO HAHN  
EPAGRI



PEDRO ALBERTO SELBACH  
Diretor da Faculdade de  
Agronomia

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo, fará coisas admiráveis.”

**José de Alencar**

A minha esposa Fabiana e meu filho Davi  
Luiz, pelo apoio e compreensão na busca  
da realização de mais esta importante  
etapa de nossas vidas.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, pelas oportunidades e por guiar e iluminar meu caminho.

Ao Prof. Dr. Christian Bredemeier, pela orientação, amizade, conhecimento e experiências compartilhadas durante esta etapa.

À minha companheira Fabiana e meu filho Davi Luiz, pelo apoio e compreensão que tiveram durante esta caminhada.

Aos professores Leandro Hahn, Carla A. Delatorre e Paulo Regis Ferreira da Silva, pela participação na banca examinadora desta dissertação.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, que, de diferentes formas, fizeram parte de minha formação, auxiliando em todos os momentos de dificuldade.

Aos amigos que sempre estiveram dispostos a ajudar nos momentos de dificuldade, momentos estes que não foram poucos durante esta etapa.

Aos colegas e amigos do Departamento de Plantas de Lavoura Cecília Giordano, Danielle Almeida, André Vian, Murilo Hendz de Jesus, André Schönhofen Nunes, Jacqueline Flores Schmitz, Júlia Perin e Julia Corato, que contribuíram para a realização deste trabalho.

À FAI-Faculdades, por disponibilizar sua infraestrutura para realização do trabalho.

À UFRGS, pela oportunidade de realização do mestrado, possibilitando meu crescimento pessoal e profissional.

As demais pessoas que, de uma forma ou de outra, fizeram parte desta conquista.

A CAPES, pela bolsa de estudos.

# CULTIVARES DE TRIGO SUBMETIDAS À INOCULAÇÃO DAS SEMENTES COM *Azospirillum brasilense* E À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM QUATRO AMBIENTES<sup>1</sup>

Autor: Neuri Antonio Feldmann  
Orientador: Christian Bredemeier

## RESUMO

A resposta à inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense* é variável, dependendo de fatores relacionados à colonização da planta pela bactéria, do genótipo considerado e do ambiente em que a associação se estabelece. As práticas de manejo da cultura apresentam também forte influência sobre a interação planta-bactéria, sendo que a adubação nitrogenada pode afetar a qualidade desta associação. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a resposta de diferentes cultivares de trigo à inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* e à aplicação de diferentes doses de N em diferentes ambientes. Para tanto, foram conduzidos experimentos a campo em dois locais, em Eldorado do Sul (RS) e Itapiranga (SC), nos anos de 2012 e 2013. Os tratamentos constaram de diferentes doses de nitrogênio (0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N) e níveis de inoculante (com e sem inoculação) em três cultivares de trigo (Mirante, Quartzo e TBIO Pioneiro). Foram avaliados a quantidade de biomassa seca da parte aérea, a quantidade de nitrogênio acumulado na biomassa, a reflectância do dossel (Índice de vegetação por diferença normalizada - NDVI) e o teor relativo de clorofila na folha. Além disso, foram avaliados o rendimento de grãos e seus componentes e o peso do hectolitro. A produção de biomassa da parte aérea foi influenciada pelo ambiente, apresentando variações entre anos e locais. Em relação ao nitrogênio acumulado, as maiores respostas foram observadas em relação às doses de N aplicadas em Eldorado do Sul (RS). O NDVI, avaliado somente no experimento de Eldorado do Sul (RS), apresentou resposta positiva com o incremento da dose de nitrogênio. Em relação ao teor relativo de clorofila na folha, foi observado incremento somente em função das doses de N, sendo esta resposta dependente do genótipo considerado. Para as avaliações de rendimento de grãos e seus componentes, os principais resultados puderam ser observados quando variada a dose de N, sendo que respostas ao uso da inoculação, na maioria das avaliações, somente foram observadas em Eldorado do Sul (RS). Os resultados encontrados no presente trabalho indicam relação da resposta ao uso de inoculação das sementes de trigo com *Azospirillum brasiliense* com a escolha do genótipo, associado ao cultivo em solos com baixo conteúdo de matéria orgânica.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (92p.) Agosto, 2014.

# WHEAT GENOTYPES SUBMITTED TO SEED INOCULATION WITH *Azospirillum brasilense* AND NITROGEN APPLICATION IN FOUR ENVIRONMENTS<sup>1</sup>

Author: Neuri Antonio Feldmann  
Adviser: Christian Bredemeier

## ABSTRACT

The response to seed inoculation with *Azospirillum brasilense* in wheat is variable, depending on factors related to plant colonization by bacteria, genotype and ambient in which the association plant-bacteria occurs. Management practices have also great influence on the interaction plant-bacteria, since nitrogen (N) fertilization can affect association quality. The objective of this work was to evaluate the response of different wheat genotypes to seed inoculation with *Azospirillum brasilense* and to nitrogen availability in different environments. Field experiments were carried out in two sites in southern Brazil (Eldorado do Sul, RS, and Itapiranga, SC) in 2012 and 2013. Treatments consisted of different N rates applied (no N, 50 and 100 kg ha<sup>-1</sup> de N) and seed inoculation (with or without inoculation) in three wheat genotypes (Mirante, Quartzo e TBIO Pioneiro). Shoot dry biomass, N uptake, canopy reflectance (NDVI) as well as relative leaf chlorophyll content were evaluated. Moreover, grain yield and yield components as well as hectoliter weight were determined. Shoot biomass was affected by growing conditions and was highly variable between years and sites. In relation to N uptake, greater responses were observed in relation to N rates applied in Eldorado do Sul (RS). Canopy reflectance (NDVI) was significantly related to increase of N rates. Moreover, NDVI of cultivar Mirante was negatively affected by seed inoculation. Relative leaf chlorophyll content increased with increasing N rates applied and the response was dependent of the genotype considered. Grain yield and its components were mainly affected by N rates applied. Response to seed inoculation in general were observed only in the experiments carried out at Eldorado do Sul (RS). The results of this work indicate that the response of wheat to seed inoculation with *Azospirillum brasilense* is genotype-specific and associated with soils with low organic matter content.

---

<sup>1</sup> Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (92p.) August, 2014.

## SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Aspectos gerais da cultura do trigo.....	4
2.2 Importância e efeitos do nitrogênio na cultura do trigo.....	5
2.3 Fixação biológica de nitrogênio (FBN).....	7
2.4 Promoção do crescimento vegetal.....	9
2.5 Efeitos e respostas da inoculação com <i>Azospirillum brasilense</i> .....	12
2.5.1 Avaliação do efeito de <i>Azospirillum</i> durante o desenvolvimento da cultura.....	14
2.6 Problemas e limitações no uso de <i>Azospirillum brasilense</i> .....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Dados meteorológicos das estações de crescimento 2012 e 2013.....	25
4.2 Biomassa seca da parte aérea.....	31
4.3 Nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea.....	38
4.4 Rendimento de grãos e componentes do rendimento.....	47
4.5 Peso do hectolitro.....	61
4.6 Reflectância do dossel (NDVI) em diferentes estádios de desenvolvimento.....	64
4.7 Teor relativo de clorofila na folha (leitura do clorofilômetro).....	68
5 CONCLUSÕES.....	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
7 APÊNDICES.....	81
8 VITA.....	92

## RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Características químicas das amostras de solo retiradas das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos, nos anos de 2012 e 2013.....	19

## RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2012 e normal climática (1970-2000), em Eldorado do Sul (RS).....	27
2. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2012 e normal climática (1986-2013) em Itapiranga (SC).....	28
3. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2013 e normal climática (1970-2000), em Eldorado do Sul (RS).....	29
4. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2013 e normal climática (1986-2013), em Itapiranga (SC)....	30
5. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com <i>Azospirillum brasilense</i> , em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.....	34
6. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com <i>Azospirillum brasilense</i> , em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.....	35
7. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estágio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com <i>Azospirillum brasilense</i> , em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.....	36

8. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estádio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 37
9. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estádio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 41
10. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estádio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 42
11. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estádio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 45
12. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estádio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 46
13. Rendimento de grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 52

14. Rendimento de grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 53
15. Massa de mil grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 55
16. Massa de mil grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 56
17. Número de espigas  $m^{-2}$  de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 57
18. Número de espigas  $m^{-2}$  de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 58
19. Número de grãos espiga<sup>-1</sup> de cultivares de trigo, em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 59
20. Número de grãos espiga<sup>-1</sup> de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 60

21. Peso do hectolitro de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 62
22. Peso do hectolitro de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo..... 63
23. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na cultivar de trigo Mirante em diferentes estádios do desenvolvimento em função da aplicação de N (a) e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (b). Médias seguidas pela mesma letra, em cada estágio de desenvolvimento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). ns=não significativo. Eldorado do Sul (RS), 2013..... 66
24. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na cultivar de trigo Quartzo em diferentes estádios do desenvolvimento em função da aplicação de N (a) e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (b). Médias seguidas pela mesma letra, em cada estágio de desenvolvimento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). ns=não significativo. Eldorado do Sul (RS), 2013..... 67
25. Teor relativo de clorofila na folha (leitura do clorofilômetro) em cultivares de trigo nos estádios de 6 folhas expandidas (a) e florescimento (b) em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo. Itapiranga (SC), 2013..... 70

## 1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, a cultura do trigo ocupa lugar de destaque, principalmente pelo seu amplo uso na alimentação humana. Entre as culturas de inverno, o trigo é a que apresenta maior área e produção mundial. No Brasil, os maiores produtores são os estados do Paraná e do Rio Grande do Sul, representando mais de 90% da área cultivada no país com este cereal. No entanto, as produtividades médias observadas no ano de 2013 no Brasil ( $2.311 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e no mundo ( $3.113 \text{ kg ha}^{-1}$ ) estão aquém das produtividades obtidas em ensaios experimentais (acima de  $6.000 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

Muitos fatores influenciam a produtividade da cultura do trigo. Entre eles, se destaca a ocorrência de estresses hídricos, seja pela falta ou excesso de precipitação pluvial, sendo que o excesso de chuvas está diretamente relacionado a condições de baixa radiação solar, lixiviação de nutrientes do solo e maior incidência de moléstias. Além disso, a ocorrência de temperaturas do ar inadequadas e de deficiências nutricionais, assim como a incidência de pragas, afetam o potencial produtivo da cultura. Analisando os estresses nutricionais, nota-se grande importância do nitrogênio (N) para a cultura do trigo, sendo a deficiência deste nutriente um dos principais gargalos para a obtenção de elevadas produtividades nesta cultura.

O N é um elemento fundamental no metabolismo da planta, sendo constituinte de proteínas, aminoácidos, hormônios, clorofila e inúmeras enzimas

essenciais para o desenvolvimento das plantas. A deficiência deste nutriente afeta o número de afilhos emitidos e sobreviventes, a produção de biomassa e a eficiência do uso da radiação solar, causando diminuição na produção de grãos.

Sabendo da importância do elemento nitrogênio e dos inúmeros fatores que afetam a capacidade produtiva da cultura do trigo, busca-se há muito tempo alternativas para o aumento do potencial produtivo desta cultura, as quais sejam economicamente viáveis e não agressivas ao meio ambiente. Para atender essa necessidade, muitos estudos vêm sendo realizados com a utilização de bactérias fixadoras de nitrogênio, denominadas diazotróficas, que promovem o crescimento das plantas, principalmente em espécies de importância agrícola da família *Poaceae*, tais como trigo, milho, arroz e cana de açúcar.

Estudos utilizando bactérias do gênero *Azospirillum* foram intensificados a partir da década de 1970 pela Dra. Johanna Döbereiner, com o objetivo de reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados e incrementar o rendimento de grãos das culturas pelo fornecimento de nitrogênio fixado biologicamente. Inicialmente, acreditava-se que a contribuição das bactérias do gênero *Azospirillum* estivesse relacionada somente à fixação de N. Posteriormente, entretanto, descobriu-se que estas bactérias tem capacidade muito mais ampla, promovendo o crescimento de plantas pela produção de fito-hormônios e liberação de exsudatos que solubilizam fósforo, aumentando a capacidade da planta em resistir a períodos de deficiência hídrica, em função do maior crescimento radicular.

Mesmo depois de décadas de estudo e do conhecimento da importância da associação com *Azospirillum* para o desenvolvimento das plantas, a adoção da técnica de inoculação das sementes com estas bactérias ainda é incipiente. Neste sentido, um dos principais entraves é a inconsistência das respostas das plantas à inoculação das sementes, as quais podem variar em função do genótipo, estirpe

da bactéria, condições edafoclimáticas e metodologia empregada na condução dos ensaios. Diante da dificuldade em prever qual a contribuição que, de fato, as bactérias do gênero *Azospirillum* podem fornecer à cultura do trigo, torna-se necessária a condução de estudos nesta área. Com este enfoque, foram realizados experimentos a campo nos anos de 2012 e 2013 com diferentes cultivares de trigo, em dois locais com condições contrastantes de fertilidade do solo.

Os objetivos do presente trabalho foram:

- Avaliar o efeito da inoculação de trigo com bactérias do gênero *Azospirillum* em dois locais e dois anos, buscando determinar o efeito de ambiente.

- Avaliar a produção de biomassa e a quantidade de N acumulada na parte aérea no estágio de seis folhas completamente expandidas e no estágio de florescimento, visando identificar possíveis respostas à inoculação em função da disponibilidade de nitrogênio.

- Avaliar o estado nutricional das plantas de forma não destrutiva, pela determinação do teor relativo de clorofila na folha e da reflectância do dossel, identificando se a aplicação de nitrogênio via fertilizante mineral afeta a resposta à inoculação na cultura do trigo.

- Avaliar o rendimento de grãos e seus componentes em diferentes cultivares de trigo em função da aplicação de fertilizante nitrogenado e da inoculação das sementes com *Azospirillum*.

- Avaliar a ocorrência de interação entre a utilização de inoculação com diferentes doses de adubação nitrogenada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais da cultura do trigo

O trigo é uma cultura que teve sua origem no Oriente Médio, onde até hoje são encontrados progenitores selvagens. O gênero *Triticum* possui grande número de espécies, sendo que os genótipos de trigo cultivados no Brasil são predominantemente da espécie *Triticum aestivum*.

A introdução da cultura do trigo no Brasil ocorreu na Capitania de São Vicente (São Paulo) em 1534, praticamente junto com o início da colonização. Desde esta época, até os dias de hoje, a cultura enfrentou varias dificuldades, principalmente com o surgimento de doenças, como a ferrugem da folha. A expansão do trigo no Brasil ocorreu na Região Sul, principalmente devido à chegada de imigrantes de regiões temperadas da Europa, que já conheciam as técnicas de cultivo desta espécie (Mundstock, 1999).

Durante todo este período, vários fatores possibilitaram a consolidação da cultura do trigo no país, como o desenvolvimento de sistemas de manejo mais eficientes, o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas, com resistência a doenças e com potencial de rendimento de grãos mais elevado, o desenvolvimento de máquinas agrícolas em grande escala e o aumento da disponibilidade e do uso de insumos agrícolas (corretivos, fertilizantes e defensivos).

Atualmente, o trigo é a espécie com maior área e produção mundial entre os cereais de estação fria, devido à sua ampla capacidade de adaptação e ao intenso trabalho de melhoramento genético, sendo a segunda cultura de grãos mais produzida no mundo. Os principais produtores são a União Europeia, China, Índia e Estados Unidos, com 25,73; 24,15; 29,4 e 18,27 milhões de hectares cultivados e com produtividade média de 5,55; 5,05; 3,14 e 3,17 toneladas por hectare, respectivamente (USDA, 2013).

No Brasil, a área cultivada com trigo na safra 2013 foi de, aproximadamente, 1,9 milhão de hectares, apresentando rendimento médio de grãos de 2.311 kg ha<sup>-1</sup>. Os principais estados produtores neste ano foram o Paraná, com 773,8 mil hectares cultivados, e o Rio Grande do Sul, com 976,2 mil hectares, representando 40,8% e 51,5% da área total cultivada com trigo no país, respectivamente (CONAB, 2014).

Notoriamente, existe grande variação de produtividade entre safras, caracterizada pela instabilidade do rendimento de grãos da cultura no decorrer dos anos. Esta instabilidade ocorre não somente em função da ocorrência de estresses bióticos e abióticos impostos pelo ambiente, mas também pelo manejo inadequado da adubação nitrogenada, bem como a sua não utilização, o que limita a obtenção de elevadas produtividades (Benin *et al.*, 2012).

## **2.2 Importância e efeitos do nitrogênio na cultura do trigo**

Entre os nutrientes que a planta extrai do solo, o nitrogênio (N) é aquele absorvido em maior quantidade, estando sua essencialidade relacionada à sua participação como constituinte de proteínas, aminoácidos, enzimas e coenzimas, ácidos nucleicos, hormônios, vitaminas, alcaloides e clorofila, tendo importante papel nos processos bioquímicos da planta. Por isso, a deficiência de nitrogênio

afeta a produção de biomassa e a eficiência do uso da radiação solar, refletindo-se em baixo potencial produtivo da cultura. Esta limitação na produtividade em função da deficiência de N se dá, em grande parte, pela diminuição do número de afilhos emitidos e do número de afilhos sobreviventes e produtivos (Wendling *et al.*, 2007; Floss, 2008; Kutman *et al.*, 2011).

Os teores de nitrogênio na planta podem variar devido a diferenças intrínsecas de cada cultivar e em função das condições ambientais em que esta se desenvolve. Deficiências deste nutriente na planta podem ser visualizadas pela ocorrência de cloroses, as quais se iniciam nas folhas mais velhas, podendo esta clorose estender-se para as folhas mais jovens, dependendo do grau de limitação na disponibilidade de N. Este sintoma está associado à degradação da clorofila e a modificações na forma dos cloroplastos (Floss, 2008).

As necessidades de nitrogênio da cultura do trigo podem ser supridas de diversas formas, ou seja, pela mineralização de restos culturais com baixa relação C/N, da matéria orgânica do solo e de dejetos de animais e por fontes industrializadas de fertilizante, bem como da fixação de nitrogênio por bactérias diazotróficas fixadoras de N (Wendling, 2005). O período crítico no desenvolvimento da planta para suplementação de N em cobertura na cultura do trigo pode variar de acordo com a fertilidade do solo. No entanto, estudos realizados por Bredemeier & Mundstock (2001) caracterizaram o estágio de seis folhas completamente expandidas no colmo principal como o período ideal para aplicação de N em cobertura na cultura do trigo. Aplicações nesta fase aumentam a quantidade de afilhos férteis por planta.

### 2.3 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

O nitrogênio, em sua forma estável ( $N_2$ ), é o elemento mais abundante na atmosfera. Esta estabilidade ocorre devido à presença de forte ligação tripla entre as duas moléculas de N. Para que este nitrogênio possa ser incorporado em esqueletos de carbono, é necessário que ocorra a quebra da ligação tripla do  $N_2$  atmosférico. Na natureza, apenas algumas espécies de bactérias são capazes de fazê-lo, através do complexo proteico da nitrogenase, que é a enzima que catalisa a reação de redução do  $N_2$  a amônia ( $NH_3$ ), a qual é rapidamente convertida a amônio ( $NH_4^+$ ), o qual se torna prontamente disponível para as plantas. Este processo é conhecido como fixação biológica de nitrogênio (FBN) (Moreira & Siqueira, 2006). A FBN é um dos mais importantes processos desenvolvido por microrganismos que se tem conhecimento, pois se trata da conversão do nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) em formas disponíveis para absorção e uso pelas plantas (Nunes *et al.*, 2003). Um dos melhores exemplos do potencial da FBN é demonstrado pela simbiose entre bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e espécies leguminosas, sendo que hoje, no Brasil, a fixação biológica de nitrogênio chega a substituir totalmente a necessidade de adubação nitrogenada na cultura da soja (Hungria *et al.*, 2005).

Os primeiros estudos envolvendo a fixação biológica de  $N_2$  atmosférico foram desenvolvidos por Hellriegel & Wilfarth (1888). Desde então, muitos estudos têm sido realizados com bactérias fixadoras de nitrogênio, principalmente envolvendo a associação entre bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e espécies da família *Fabaceae* (Hungria *et al.*, 2005). Atualmente, outra interação está sendo muito estudada, sendo esta a associação de bactérias de vida livre com espécies de plantas da família *Poaceae* (Reis *et al.*, 2006). A FBN em poáceas é conhecida desde que a bactéria *Beijerinckia fluminensis* foi isolada

da rizosfera da cultura da cana-de-açúcar na década de 1950. No entanto, somente na década de 1970, após o desenvolvimento de meio de cultura semi-sólido livre de nitrogênio, mimetizando ambiente com baixo nitrogênio encontrado no solo e nas plantas, se teve a possibilidade de estudos mais aprofundados com bactérias do gênero *Azospirillum*, viabilizando o estudo da FBN em espécies poáceas (Baldani & Baldani, 2005).

A FBN é uma importante ferramenta na substituição total ou parcial do nitrogênio exigido pelas culturas, que é oferecido na forma de fertilizantes oriundos de combustíveis fósseis, sem que a produção de grãos seja prejudicada, tornando os cultivos mais sustentáveis e economicamente viáveis (Bergamaschi, 2006).

As bactérias diazotróficas associam-se às espécies poáceas, colonizando as raízes e outros tecidos internos da planta sem causar sintomas de doenças, disponibilizando nitrogênio e outros compostos considerados promotores de crescimento. Entre as bactérias fixadoras de nitrogênio que não formam nódulos destacam-se as do gênero *Azospirillum*, que são bactérias gram-negativas encontradas associadas a diversas espécies vegetais de regiões tropicais e temperadas (Kloepper, 2003; Reis *et al.*, 2006; Cohen *et al.*, 2008). As bactérias do gênero *Azospirillum* são encontradas naturalmente na rizosfera de inúmeras espécies poáceas, incluindo espécies de interesse agrícola, como milho, trigo, sorgo e arroz (Silveira, 2012). A maior parte das espécies de bactéria desse gênero são encontradas colonizando as zonas de alongamento das raízes e os pelos radiculares, além de serem encontradas no interior da planta, o que caracteriza estas bactérias como endofíticas facultativas (Cardoso, 2008; Kizilkaya, 2008; Hungria, 2011; Novakowski, 2011).

Atualmente, trabalha-se com a possibilidade de substituir, mesmo que parcialmente, a adubação nitrogenada em espécies poáceas pela FBN realizada pela associação da planta com bactérias diazotróficas (Bashan *et al.*, 2004). Estudos realizados com arroz (Baldani & Baldani, 2005; Guimarães *et al.*, 2007; Rodrigues *et al.*, 2008), milho (García de Salamone *et al.* 1996), sorgo (Pereira *et al.*, 1988), trigo (Kapulnik *et al.*, 1987; Caballero-Mellado *et al.*, 1992) e cana-de-açúcar (Oliveira *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2006) têm demonstrado resultados positivos com o uso da associação com bactérias diazotróficas. Na cultura do trigo, Saubidet *et al.* (2002) concluíram que a inoculação não substitui a adubação nitrogenada. Contudo, promove melhor absorção e utilização do N mineral disponível no solo.

Quando se analisa a FBN em espécies poáceas, observa-se que somente parte do nitrogênio fixado torna-se disponível para a planta. Somente a partir da morte e subsequente mineralização das bactérias diazotróficas é que são liberadas quantidades significativas de nitrogênio fixado para a planta (Dommelen *et al.*, 1998).

#### **2.4 Promoção de crescimento vegetal**

As bactérias promotoras de crescimento de plantas foram introduzidas nos sistemas de cultivos em função de sua contribuição potencial para o aumento da produtividade, pela FBN (García de Salamone *et al.*, 1996; Iniguez *et al.*, 2004; Montañez *et al.*, 2009), maior solubilização de fósforo (Sessitsch *et al.*, 2002; Sturz *et al.*, 2000), produção de hormônios vegetais de crescimento, como auxinas (Mishra *et al.*, 2010), citocininas (Castro *et al.*, 2008), giberelinas (Narula *et al.*, 2006), inibição da produção de etileno (Saleem *et al.*, 2007), ácido abscísico e poliaminas (Perrig, 2007) e produção de sideróforos (Scher & Baker,

1982), Além disso, estas bactérias podem atuar pela da indução de resistência sistêmica, antagonismo a patógenos, aumento da tolerância a estresses e produção de antibióticos (Zorita & Canigia, 2008; Pathma *et al.*, 2011).

Dentre as bactérias promotoras de crescimento, destacam-se as do gênero *Azospirillum*, as quais foram, inicialmente, conhecidas pela sua capacidade associativa em fornecer N às plantas pela FBN. Atualmente, vários outros benefícios são conhecidos, como produção de fito-hormônios que interferem no crescimento das plantas e podem alterar a morfologia de raízes, possibilitando a exploração de maior volume de solo e aumentando a absorção de nutrientes e água, além da mitigação de estresses e controle biológico da microflora patogênica (Sala *et al.*, 2008; Zorita & Canigia, 2008; Evseeva *et al.*, 2011; Novakowiski, 2011). Estudos conduzidos com a cultura do arroz mostraram que a inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* estimulou o crescimento da parte aérea e do sistema radicular em diferentes genótipos (Didonet *et al.*, 2003), além de aumentar a disponibilidade de fósforo para a planta, pelos mecanismos de solubilização (Fageria & Barbosa Filho, 2006; Silveira, 2012). A utilização destas bactérias na agricultura tem sido de interesse de pesquisadores em muitos países, sendo que avaliação da interação de algumas estirpes com a cultura do trigo resultaram em aumentos na produção de biomassa da parte aérea de até 62% (Dobbelaere *et al.*, 2001).

Creus *et al.* (2004) concluíram que plantas de trigo inoculadas que sofreram déficit hídrico durante a antese apresentaram maior crescimento, rendimento e qualidade de grãos. Resultados semelhantes foram observados em plantas de milho submetidas ao estresse hídrico durante a floração (Casanovas *et al.*, 2003). Uma das explicações para este efeito pode estar relacionada à ocorrência de alterações morfológicas nas raízes, incrementando a absorção de

água do solo pelas plantas inoculadas (Arzanesh *et al.*, 2010; Pereyra *et al.*, 2012).

Trabalhos utilizando *Azospirillum* em condições de deficiência hídrica mostraram a capacidade de adaptação das plantas de trigo inoculadas, afetando a morfologia radicular e aumentando a tensão de água na raiz (Arzanesh *et al.*, 2010). Bactérias isoladas de raízes e solo da rizosfera de trigo sob condições de estresse apresentam maior capacidade de tolerar a falta de água, sendo mais eficazes para regiões áridas (Ilyas & Bano, 2010). De acordo com Arzanesh *et al.* (2010), a eficiência de algumas estirpes pode aumentar à medida que se intensificam as condições de estresse para a planta.

Estudos tem demonstrado que as variações de rizodeposições radiculares (tempo, quantidade e/ou constituintes) se constituem em um mecanismo pelo qual as plantas podem modular diferentes comunidades rizobacterianas, tanto em diversidade quanto em quantidade de indivíduos (Micallef *et al.*, 2009; Bakker *et al.*, 2012). Este aspecto é apontado como uma das principais justificativas na variabilidade da promoção de crescimento verificada entre diferentes espécies e genótipos de uma mesma espécie (García de Salamone *et al.*, 1996; Montañez *et al.*, 2009; Walker *et al.*, 2011).

Walker *et al.* (2011) verificaram que bactérias do gênero *Azospirillum* apresentaram influência do metabolismo secundário de plantas de milho em função da interação bactéria-genótipo. De acordo com Raja *et al.* (2006), plantas de milho submetidas à inoculação apresentaram rizodeposições de benzoxazinonas em quantidade maior do que plantas não inoculadas. As benzoxazinonas são compostos do metabolismo secundário da planta e que atuam como sinalizadores para ocorrência da interação bactéria-planta. Além do

papel na sinalização, também atuam no metabolismo de defesa da planta contra patógenos e pragas e na funcionalidade de hormônios vegetais.

Todos estes efeitos benéficos para o desenvolvimento da planta possibilitam a redução de aplicações de fertilizantes minerais, diminuição de custos de produção e redução de problemas de contaminação de recursos hídricos decorrentes de perdas de nutrientes aplicados (Fischer *et al.*, 2007; Cardoso, 2008).

### **2.5 Efeitos e respostas da inoculação com *Azospirillum brasilense***

Atualmente, a explicação para o efeito das rizobactérias em plantas, incluindo *Azospirillum*, baseia-se principalmente na produção de fito-hormônios, os quais alteram o metabolismo e a morfologia das plantas, especialmente do sistema radicular, melhorando a absorção de nutrientes minerais e água. O efeito dos fito-hormônios se dá em processos como germinação, crescimento inicial de plântulas, colonização da planta e estabelecimento da bactéria. Entre os fito-hormônios liberados, destacam-se ácido indolacético (AIA), ácido giberélico, ácido abscísico e poliaminas, além da inibição da produção de etileno (Perrig *et al.*, 2007).

Avaliando os efeitos de *Azospirillum* na cultura do trigo, Roesch *et al.* (2005) mostraram que a inoculação de sementes com esta bactéria promoveu aumento de duas a três vezes no comprimento radicular em comparação à testemunha sem inoculação, mostrando o efeito de maior volume de solo explorado pelas raízes de plantas inoculadas em busca de água e nutrientes. De certa forma, aumentos de rendimento de grãos e teor de proteína no grão podem ser atribuídos a este aumento do volume radicular e à maior absorção de N inorgânico disponível no solo (Zorita & Canigia, 2008).

Estudos realizados durante 20 anos na Argentina, avaliando a resposta da inoculação de bactérias do gênero *Azospirillum* nas culturas de milho e trigo, mostraram que em 60 a 70% dos experimentos a campo foram observadas respostas positivas da inoculação das sementes, com aumentos que variaram de 5 a 30% no rendimento de grãos em função da inoculação de sementes com *Azospirillum* (Perrig *et al.*, 2007). Resultados semelhantes são encontrados em vários outros países onde a inoculação com bactérias do gênero *Azospirillum* tem demonstrado aumento do conteúdo de nitrogênio, fósforo, potássio e outros nutrientes na planta, resultando em aumento de produtividade de até 30% em cerca de 70% dos ensaios realizados (Silveira, 2012).

De acordo com Veresoglou & Menezes (2010), a inoculação de sementes com *Azospirillum* tem mostrado aumentos de produtividade de grãos e massa seca da parte aérea de trigo de cerca de 9 a 18%, respectivamente. Os autores ressaltam que o máximo efeito é expresso quando a cultura se desenvolve na ausência de fertilizante nitrogenado, sendo que altas concentrações de amônia (NH<sub>3</sub>) e baixas concentrações de oxigênio e carbono inibem o complexo nitrogenase das bactérias do gênero *Azospirillum*, reduzindo sua população, corroborando com os resultados obtidos por Sala *et al.* (2007) e Kavadia *et al.* (2008). Outro efeito negativo decorrente da redução de sua população é a diminuição da capacidade competitiva com bactérias presentes no solo (Sylvia *et al.*, 1998).

Nota-se que existe variabilidade na resposta do trigo à inoculação com *Azospirillum*. No entanto, é notório que, na maioria das vezes, a adição de bactérias com esse potencial pode resultar em benefícios econômicos e ambientais, mantendo ou incrementando o potencial de rendimento de grãos da cultura (Sala *et al.*, 2007; Silveira *et al.*, 2012).

### **2.5.1 Avaliação do efeito de *Azospirillum* durante o desenvolvimento da cultura**

Alguns trabalhos avaliando a reflectância espectral do trigo comprovam que a diferença na concentração de N na folha pode ser detectada por instrumentos de sensoriamento remoto. No entanto, não se tem trabalhos que indiquem se o efeito da inoculação das sementes de trigo com *Azospirillum* no aporte de nitrogênio à planta também pode ser detectado pela avaliação de reflectância do dossel (Adami *et al.*, 2009).

Avaliações de propriedades óticas do dossel, como a reflectância, são formas indiretas e não destrutivas de avaliar o estado nutricional de plantas. A reflectância é definida como a razão entre radiação refletida e radiação incidente (Molin, 2001). Esta técnica normalmente avalia a reflectância em duas bandas do espectro eletromagnético, sendo uma delas situada no espectro visível (400-700 nm), relacionada aos pigmentos, principalmente a clorofila da folha, e a segunda banda situada nos comprimentos de onda do infravermelho próximo (700-1300 nm), relacionada às características internas da folha e à quantidade de biomassa vegetal presente.

### **2.6 Problemas e limitações no uso de *Azospirillum brasilense***

Os ensaios com inoculação de sementes com *Azospirillum* demonstram variabilidade na resposta de promoção de crescimento e produtividade. Acredita-se que uma das explicações seja a diferença da resposta entre estirpes da bactéria associada ao genótipo da planta (Sala *et al.*, 2007), sendo que estudos realizados por Hungria *et al.* (2010) mostraram que a seleção da estirpe de *Azospirillum brasilense* é importante e resulta em incrementos na produtividade

de trigo e milho. Outros fatores também podem afetar a qualidade e a resposta das plantas à inoculação, citando-se a competição com microrganismos do solo e os efeitos das propriedades químicas e físicas do solo (Arzanesh *et al.*, 2010). Um dos principais fatores de variabilidade de respostas à inoculação pode ser devido à interação das práticas de inoculação com as condições ambientais e as práticas de manejo da cultura. Alguns trabalhos comprovam que existe interação entre cultura, bactéria e ambiente, em função da variabilidade de resposta à inoculação entre diferentes locais (Sala *et al.*, 2007; Zorita & Canigia, 2008).

Embora já existam inoculantes comerciais à base de *Azospirillum brasiliense* disponíveis em vários países, inclusive no Brasil, sua utilização ainda é motivo de controvérsia, principalmente devido à inconsistência dos resultados de sua aplicação. Esta inconsistência de resultados parece estar ligada principalmente ao processo de colonização das plantas pelas bactérias (Morrissey *et al.*, 2004).

No Brasil, o isolamento e seleção de estirpes de *A. brasiliense* eficientes em promover o crescimento de trigo (Hungria *et al.*, 2010) permitiu o registro e comercialização do primeiro inoculante comercial para esta cultura (MAPA, 2011). No trabalho de Hungria *et al.* (2010), foram avaliados seis isolados de *A. brasiliense*, obtidos a partir de raízes de plantas de milho cultivado no estado do Paraná. As estirpes de *A. brasiliense* Ab-V5 e Ab-V6 foram as mais eficientes, com aumento médio do rendimento de grãos de trigo de 31% em quatro experimentos a campo conduzidos em duas safras nos municípios de Londrina (PR) e Ponta Grossa (PR). A resposta positiva à inoculação foi atribuída ao aumento da absorção de macro e micronutrientes e não especificamente à FBN (Hungria *et al.*, 2010). Neste trabalho, entretanto, foram utilizadas cultivares de trigo (BR-18 e EMBRAPA-16) de cultivo pouco expressivo na maioria das regiões

produtoras. Além disso, trabalhos conduzidos com outras cultivares de trigo e em distintos locais no sul do Brasil não mostraram resposta positiva na promoção de crescimento de plantas (Mello, 2012; Barbieri *et al.*, 2013; Foloni & Bassoi, 2014), gerando dúvidas a respeito da efetividade do uso da inoculação para todas as cultivares, regiões produtoras e condições edafo-climáticas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos a campo foram conduzidos nos anos de 2012 e 2013 em dois locais, sendo um local na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), em Eldorado do Sul (RS), e o outro na área experimental da FAI - Faculdades de Itapiranga, em Itapiranga (SC).

A EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS) está situada na Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, em altitude média de 46 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme classificação climática de Koeppen (Ipagro, 1979). A precipitação pluvial média anual em Eldorado do Sul (RS) é de 1440 mm e a temperatura média mensal varia entre 13,5 e 24,6°C, entre os meses mais frio e mais quente (Bergamaschi *et al.*, 2003). O solo da área experimental é caracterizado como Argissolo Vermelho Distrófico típico (Santos *et al.*, 2013).

A área experimental da FAI - Faculdades de Itapiranga (Itapiranga, SC) está situada no extremo-oeste do estado de Santa Catarina, com altitude de 350 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme classificação de Koeppen (Pandolfo *et al.*, 2002). A precipitação pluvial média anual em Itapiranga (SC) é de 1900 mm e a temperatura média mensal varia entre 14,2 e 25,4°C, entre os meses mais frio e mais quente (Pandolfo *et al.*, 2002). O solo da área experimental é classificado como Cambissolo Háptico Eutrófico típico (Santos *et al.*, 2013).

Quanto às regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo, as duas áreas experimentais se localizam na Região 2, caracterizada como moderadamente quente, úmida e baixa (Reunião..., 2013).

As áreas nas quais foram realizados os ensaios nos dois anos apresentam histórico de adoção do sistema plantio direto por mais de 15 anos, sendo que no verão é realizada rotação entre as culturas de milho e soja e, no inverno, rotação de culturas entre ervilhaca, nabo forrageiro, trigo e aveia branca.

Durante o período de condução dos experimentos, foram coletados dados meteorológicos de temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), radiação solar global ( $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) e precipitação pluvial (mm).

Os dados meteorológicos de 2012 e 2013 para a EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS) foram obtidos na estação meteorológica automática da UFRGS, distante 2 km da área experimental. Estes dados meteorológicos são apresentados juntamente com os dados meteorológicos da série histórica (normal climática) dos anos de 1970 a 2000.

Os dados meteorológicos de temperatura do ar e precipitação pluvial de 2012 e 2013 da área experimental da FAI - Faculdades de Itapiranga (Itapiranga, SC) foram obtidos na estação meteorológica pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), distante cerca de 8 km do local de realização dos experimentos. Já os dados de radiação solar global foram coletados no município de São Miguel do Oeste (SC), distante cerca de 50 km da área experimental. Os dados meteorológicos de Itapiranga (SC) são apresentados juntamente com os dados meteorológicos da série histórica (normal climática) dos anos de 1986 a 2013. Entretanto, para o município de Itapiranga (SC) não há disponibilidade de normal climática de radiação solar global e as normais climáticas de precipitação pluvial e temperatura do ar são mensais.

Assim, no presente trabalho foi considerado que a normal climática de precipitação pluvial por decêndio equivale a um terço da precipitação mensal e que a normal climática de temperatura do ar por decêndio equivale à sua média mensal.

Antes da implantação dos experimentos, foi realizada coleta de amostra de solo na profundidade de 0 a 20 cm e realizada sua análise química, sendo os resultados apresentados na Tabela 1. Observa-se diferenças em relação à fertilidade do solo entre os dois locais de realização dos experimentos, principalmente em relação aos parâmetros matéria orgânica, teores de cálcio e magnésio e saturação de bases (Tabela 1).

TABELA 1. Características físicas e químicas das amostras de solo retiradas das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos, nos anos de 2012 e 2013.

Local	Argila %	pH H <sub>2</sub> O	P --- mg dm <sup>-3</sup> ---	K ---	MO <sup>1</sup> g kg <sup>-1</sup>	Al <sup>3+</sup> -----	Ca <sup>2+</sup> cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	Mg <sup>2+</sup> -----	V <sup>2</sup> %
Itapiranga (2012)	30	5,8	55,5	196	34	0	15,7	6,3	88
Itapiranga (2013)	37	5,7	33,1	504	36	0	7,8	2,8	84
Eldorado do Sul (2012)	30	5,5	32,0	185	19	0	3,1	1,4	47
Eldorado do Sul (2013)	28	5,6	34,0	195	16	0	3,8	1,6	60

<sup>1</sup> MO=matéria orgânica

<sup>2</sup> V=saturação de bases

Os tratamentos constaram dos seguintes fatores: a) Dois níveis de inoculação das sementes com *Azospirillum brasiliense* (com e sem aplicação de inoculante); e b) Doses de nitrogênio aplicadas (0+0, 20+30 e 20+80 kg ha<sup>-1</sup> de N, sendo o primeiro valor referente à dose de N aplicada na emergência das plantas e o segundo valor referente à dose aplicada em cobertura, no estágio de seis folhas completamente expandidas). A fonte de N utilizada foi a uréia, com 45% de nitrogênio. As cultivares de trigo utilizadas foram Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, sendo que no ano de 2013 em Eldorado do Sul – RS não se utilizou a

cultivar TBIO Pioneiro. A escolha das cultivares ocorreu em função da grande importância das mesmas no cenário tritícola do estado do RS.

O tratamento das sementes com inoculante foi realizado imediatamente antes da semeadura, utilizando-se um produto comercial à base de *Azospirillum brasilense* contendo as estirpes AbV5 e AbV6. O número de células bacterianas por mL de produto declarado pelo fabricante é de  $2,0 \times 10^8$ . O inoculante foi pulverizado sobre as sementes na dose máxima recomendada pelo fabricante ( $300 \text{ mL ha}^{-1}$ ), resultando em média de 17 mil unidades formadoras de colônias por semente, visando garantir distribuição uniforme do produto sobre as mesmas.

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental de parcelas subdivididas, com cinco repetições nos experimentos conduzidos em Eldorado do Sul (RS) e quatro repetições nos experimentos conduzidos em Itapiranga (SC). Os fatores inoculação e doses de N foram locados na parcela principal e na subparcela, respectivamente.

Nos experimentos conduzidos em Eldorado do Sul (RS), cada unidade experimental foi composta por área de  $7,02 \text{ m}^2$ . Nela, foram semeadas 13 linhas de 3 m de comprimento, espaçadas em 0,18 m. Em Itapiranga (SC), cada unidade experimental foi composta por área de  $4,17 \text{ m}^2$ , sendo semeadas 7 linhas de 3,5 m de comprimento, espaçadas em 0,17 m.

Os experimentos foram instalados sobre resíduos culturais de lavouras de soja e receberam, por ocasião da semeadura, adubação em linha de fósforo, na forma de superfosfato triplo, e de potássio, na forma de cloreto de potássio, de acordo com a análise de solo. As quantidades aplicadas destes nutrientes foram determinadas para a expectativa de produtividade de  $5 \text{ t.ha}^{-1}$  de grãos, segundo recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004).

A semeadura foi realizada, em todos os experimentos, de forma mecanizada em linha, no período recomendado para a cultura do trigo, conforme recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (Reunião..., 2013). Em Eldorado do Sul (RS), a semeadura dos experimentos ocorreu nos dias 25/06 (2012) e 02/07 (2013). Em Itapiranga, os experimentos foram instalados nos dias 02/06 (2012) e 31/05 (2013). A densidade de semeadura utilizada foi de 350 sementes aptas por m<sup>2</sup>. As sementes foram tratadas com fungicida triadimenol (Baytan), na dose de 40 g de i.a./100 kg de sementes, e inseticida imidacloprido (Gaucho), na dose de 60 g de i. a./100 kg de sementes.

As moléstias ocorridas na cultura do trigo em ambos os locais foram manejadas com aplicações de fungicidas a base de triazóis e mistura de triazóis e estrobilurinas, quando necessário, seguindo as indicações técnicas da cultura (Reunião..., 2013).

Os parâmetros avaliados foram os seguintes:

**Biomassa seca da parte aérea nos estádios de seis folhas completamente expandidas e florescimento:** a coleta de plantas foi realizada, em cada unidade experimental, em área de 0,27 m<sup>2</sup>, nos experimentos de Eldorado do Sul (RS), e de 0,255 m<sup>2</sup>, nos experimentos de Itapiranga (SC), correspondendo a 3 linhas de 0,50 m de comprimento. A biomassa seca da parte aérea foi determinada após secagem das plantas em estufa de aeração forçada a aproximadamente 65°C, até peso constante, sendo o valor extrapolado para kg ha<sup>-1</sup>. O florescimento foi caracterizado quando, no mínimo, 50% das plantas da unidade experimental apresentavam anteras visíveis.

**Teor de nitrogênio (N) no tecido vegetal:** a determinação do teor de nitrogênio foi realizada pelo método Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995).

**Quantidade de nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea:** determinada pela multiplicação da quantidade de biomassa seca da parte aérea pelo teor de nitrogênio no tecido vegetal, sendo expressa em kg ha<sup>-1</sup> de N.

**Leitura da reflectância do dossel:** a reflectância do dossel foi avaliada pelo radiômetro portátil Greenseeker. O equipamento fornece o valor do “Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI”. O NDVI foi proposto por Rouse *et al.* (1974) e é dado pela relação  $NDVI = (\rho_{nir} - \rho_r) / (\rho_{nir} + \rho_r)$ , onde  $\rho_{nir}$  e  $\rho_r$  são as reflectâncias no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente. O valor do NDVI varia numericamente entre -1 e +1 e é maior quanto maior for a diferença entre as reflectâncias no infravermelho e no vermelho.

Para a realização da leitura, o equipamento foi posicionado paralelamente às linhas da cultura, mantendo altura de 0,8 a 1 m do topo do dossel. As leituras foram realizadas por ocasião do deslocamento linear do equipamento sobre a unidade experimental, com largura útil captada pelo sensor de 0,7 a 0,8 m. Após acionamento do sensor, ocorre uma leitura a cada 0,1 segundo, totalizando cerca de 40 valores de NDVI por unidade experimental.

As leituras do NDVI foram realizadas somente no experimento conduzido no ano de 2013 em Eldorado do Sul (RS). Estas leituras foram realizadas nos estádios de cinco e seis folhas completamente expandidas, no florescimento da cultura e aos 10 dias após o florescimento, durante o período de enchimento de grãos.

**Teor relativo de clorofila na folha:** foi avaliado de forma não destrutiva através de medições com clorofilômetro portátil Minolta (modelo SPAD 520®). O

aparelho utiliza fontes luminosas e detectores para medir a luz transmitida pela lâmina foliar, em dois comprimentos de onda (vermelho e infravermelho). A leitura é dada em unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Development), que indica a intensidade da coloração verde da folha e, indiretamente o teor de clorofila (Piekielek & Fox, 1992). As avaliações foram realizadas na porção mediana da última folha completamente expandida da planta, sendo utilizado valor médio de 20 plantas por unidade experimental. A determinação do teor relativo de clorofila na folha foi realizada no estágio de seis folhas completamente expandidas e no florescimento da cultura, somente no experimento de 2013 em Itapiranga (SC).

**Rendimento de grãos:** foi realizada colheita da área útil em cada unidade experimental, perfazendo área de 4,32 m<sup>2</sup> nos experimentos em Eldorado do Sul (RS) e de 2,975 m<sup>2</sup> nos experimentos em Itapiranga (SC).

A colheita foi realizada com colhedora automotriz de parcelas nos experimentos conduzidos na EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS). Já nos experimentos conduzidos na FAI - Faculdades de Itapiranga (Itapiranga, SC), as parcelas foram colhidas manualmente e a trilha realizada em colhedora estacionária. Após a colheita, foi quantificado o peso de grãos por unidade experimental e extrapolado o valor para rendimento de grãos (em kg ha<sup>-1</sup>), na umidade de 130 g kg<sup>-1</sup>.

**Peso de mil grãos:** foi avaliado pela pesagem de três amostras de 100 grãos de cada unidade experimental. Após, foi calculado o peso médio das três amostras de 100 grãos e o valor multiplicado por 10, sendo este valor corrigido para a umidade de 130 g kg<sup>-1</sup>.

**Número de espigas m<sup>-2</sup>:** foi determinado por ocasião da colheita pela contagem do número de espigas existentes em 1,5 m de linha, o que corresponde a 0,27 m<sup>2</sup>, e extrapolado o valor para número de espigas m<sup>-2</sup>.

**Número de grãos espiga<sup>-1</sup>:** foi estimado pela divisão do número de grãos m<sup>-2</sup> pelo número de espigas m<sup>-2</sup>.

**Peso do hectolitro (PH):** é a massa de 100 litros de grãos de trigo, expressa em quilogramas por hectolitro (kg hL<sup>-1</sup>). A quantificação da massa de 100 litros de grãos foi realizada com auxílio de balança hectolétrica, com capacidade de 250 mL, segundo metodologia descrita no Manual de Análise de Sementes publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1992).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ), com auxílio do aplicativo ASSISTAT versão 7.7, sendo que, quando houve significância estatística, realizou-se teste de Tukey para comparação de médias, ao nível de 5% de probabilidade.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Dados meteorológicos das estações de crescimento 2012 e 2013**

Na safra 2012, as condições meteorológicas não foram favoráveis na maioria das regiões produtoras de trigo do Sul do país, sendo que algumas regiões sofreram com a ocorrência de “veranicos” e outras com excesso de chuvas, comprometendo o rendimento médio de grãos da cultura. Já na safra 2013, as condições meteorológicas favoreceram o desenvolvimento da cultura na maior parte das regiões produtoras, exceto em alguns locais onde houve ocorrência de geadas por ocasião do florescimento.

As Figuras 1 e 2 mostram os dados meteorológicos da EEA/UFRGS em Eldorado do Sul (RS) (Figura 1) e os dados meteorológicos da área experimental da FAI - Faculdades, em Itapiranga (SC) (Figura 2) para a estação de crescimento da cultura no ano de 2012. Os principais problemas ocorrentes neste ano se relacionaram à distribuição irregular da precipitação pluvial, sendo que, em Eldorado do Sul (RS), pode ser observado excesso de chuvas no período próximo ao florescimento da cultura, afetando seu potencial produtivo (Figura 1.a). Esta condição afetou também a incidência de radiação solar, a qual ficou abaixo da média histórica para o local, afetando negativamente a cultura em função da diminuição da taxa fotossintética (Figura 1.b). Da mesma maneira, em Itapiranga (SC) identificou-se problemas de distribuição irregular de chuvas, onde pode ser observada a ocorrência de “veranico”, associando baixa precipitação e

temperaturas do ar acima da média histórica desde o período que antecedeu o florescimento até o enchimento de grãos (Figura 2.a). Na Figura 2.b, são apresentados os dados de radiação solar global. No entanto, neste local não há dados históricos (série histórica) para fins de comparação. Mesmo assim, é possível perceber grande oscilação da incidência de radiação solar ao longo do período de desenvolvimento da cultura, devido à ocorrência frequente de nevoeiros nesta região, o que resulta em elevada nebulosidade e menor incidência de radiação solar (Figura 2.b).

Para a estação de crescimento em 2013, os dados meteorológicos da EEA/UFRGS em Eldorado do Sul (RS) e os dados meteorológicos da EEA/FAI em Itapiranga (SC) são apresentados nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Conforme comentado anteriormente, o ano de 2013 apresentou condições favoráveis de desenvolvimento na maioria das regiões produtoras. O mesmo pode ser observado nos dois locais de estudo, onde, mesmo com a ocorrência de picos de elevada precipitação pluvial durante o ciclo da cultura, os mesmos ocorreram em fases em que não houve comprometimento do desempenho da cultura. Além disso, ocorreram temperaturas do ar e radiação solar favoráveis ao desenvolvimento da cultura (Figuras 3 e 4).

A cultura do trigo apresenta diferentes exigências climáticas no decorrer do ciclo de cultivo. Na fase vegetativa, a cultura se beneficia pela ocorrência de baixas temperaturas do ar. Já no florescimento e no enchimento de grãos, a planta apresenta maior sensibilidade à ocorrência de baixas temperaturas do ar, sendo que estas fases exigem temperaturas do ar mais elevadas e umidade relativa do ar baixa, favorecendo a sanidade da cultura. Períodos com elevada precipitação no florescimento tendem a desfavorecer a polinização do trigo, afetando o potencial produtivo da cultura (Mundstock, 1999).

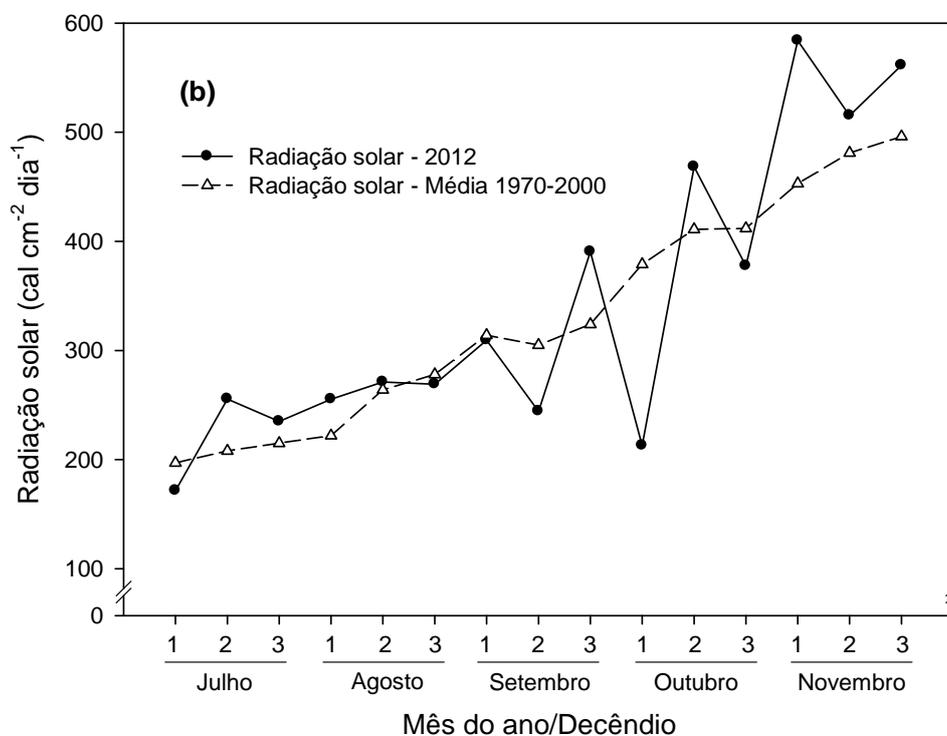
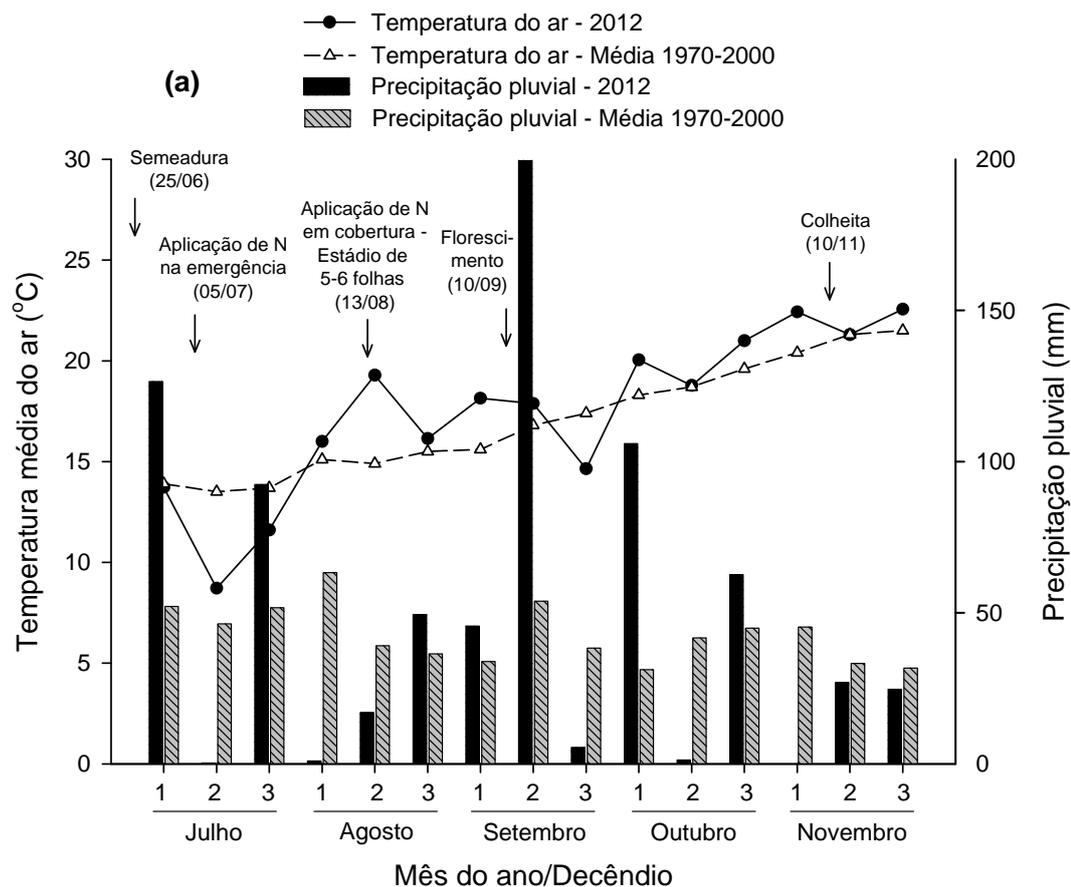


FIGURA 1. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2012 e normal climática (1970-2000), em Eldorado do Sul (RS).

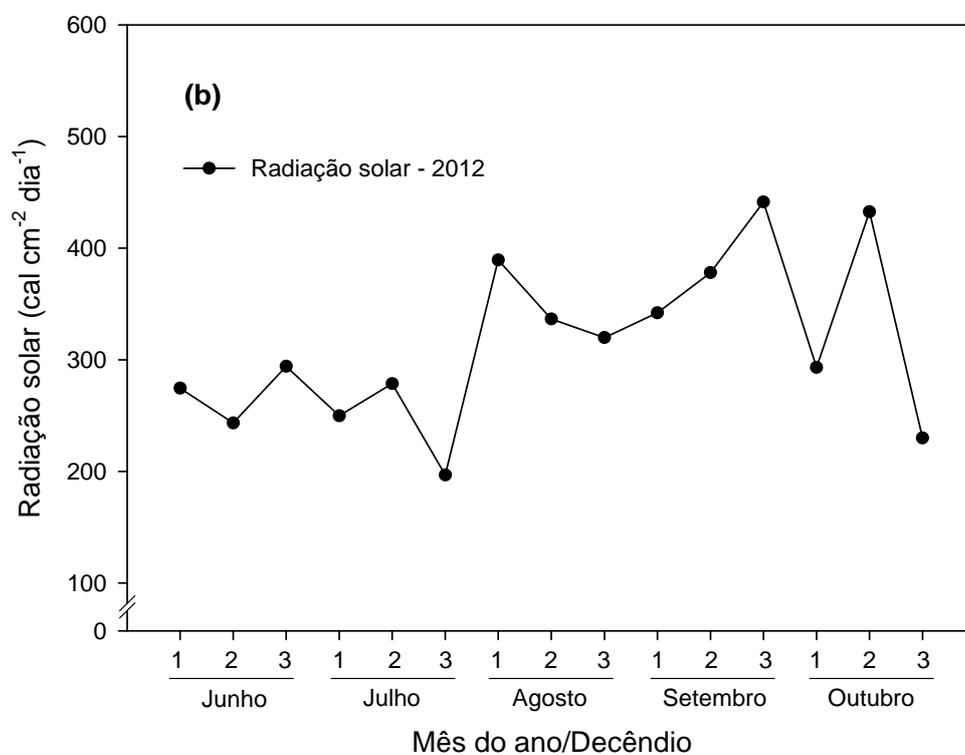
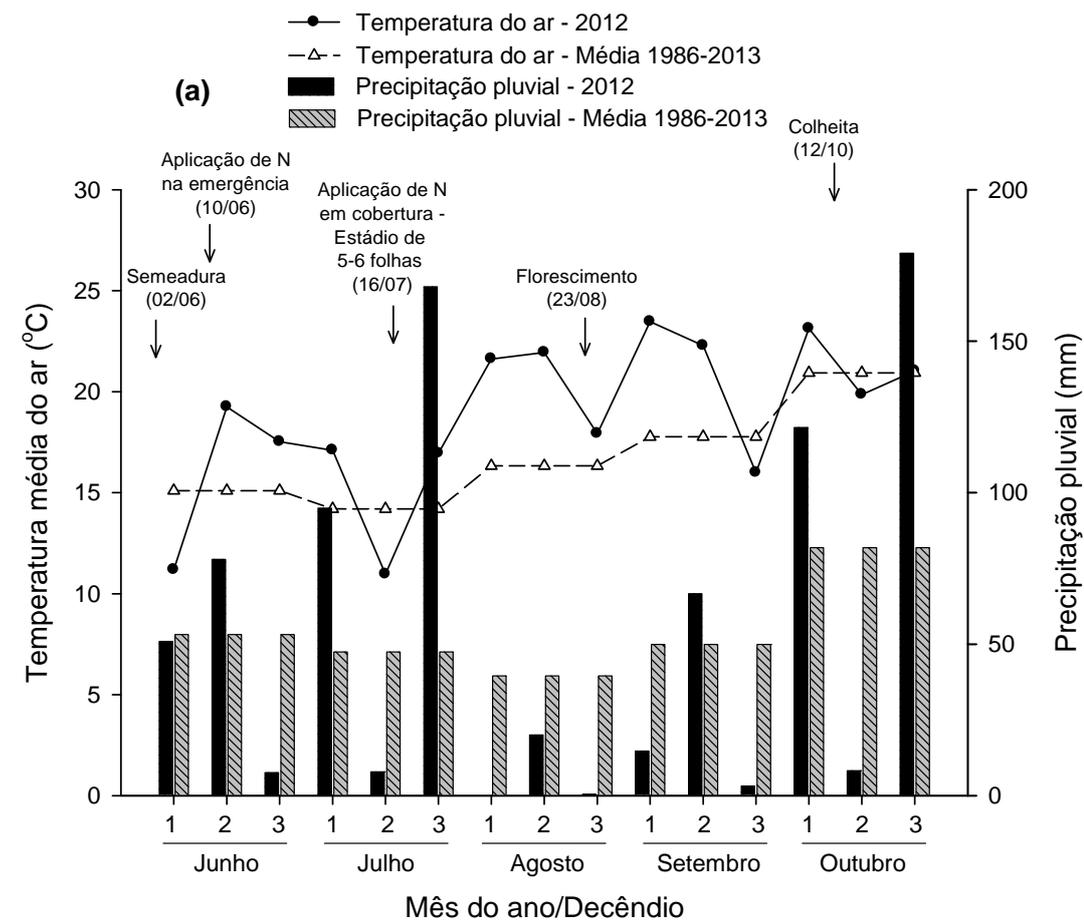


FIGURA 2. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2012 e normal climática (1986-2013) em Itapiranga (SC).

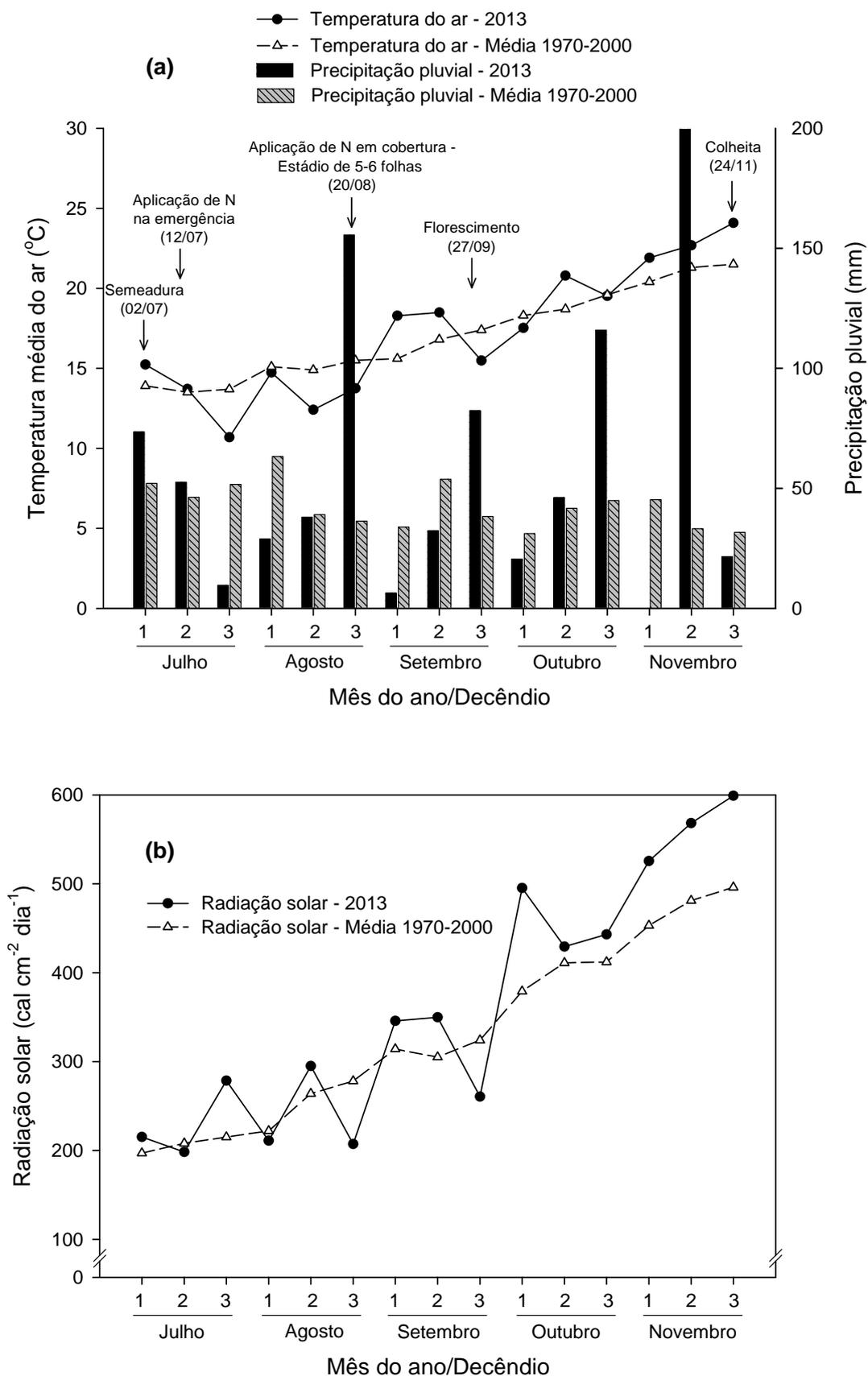


FIGURA 3. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2013 e normal climática (1970-2000), em Eldorado do Sul (RS).

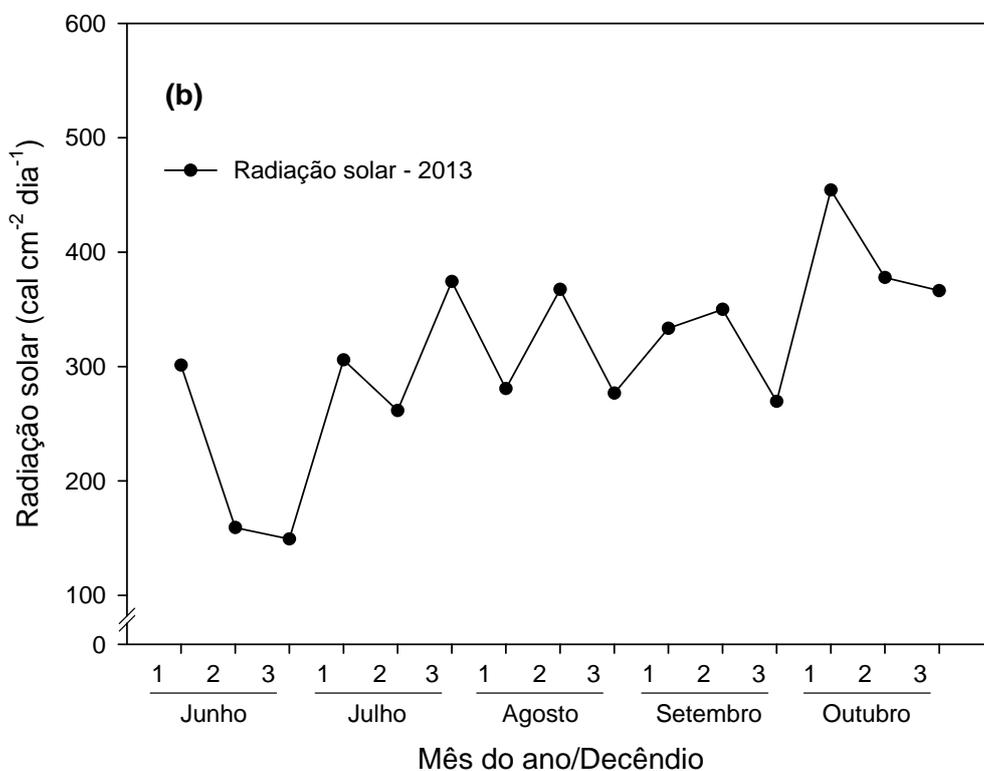
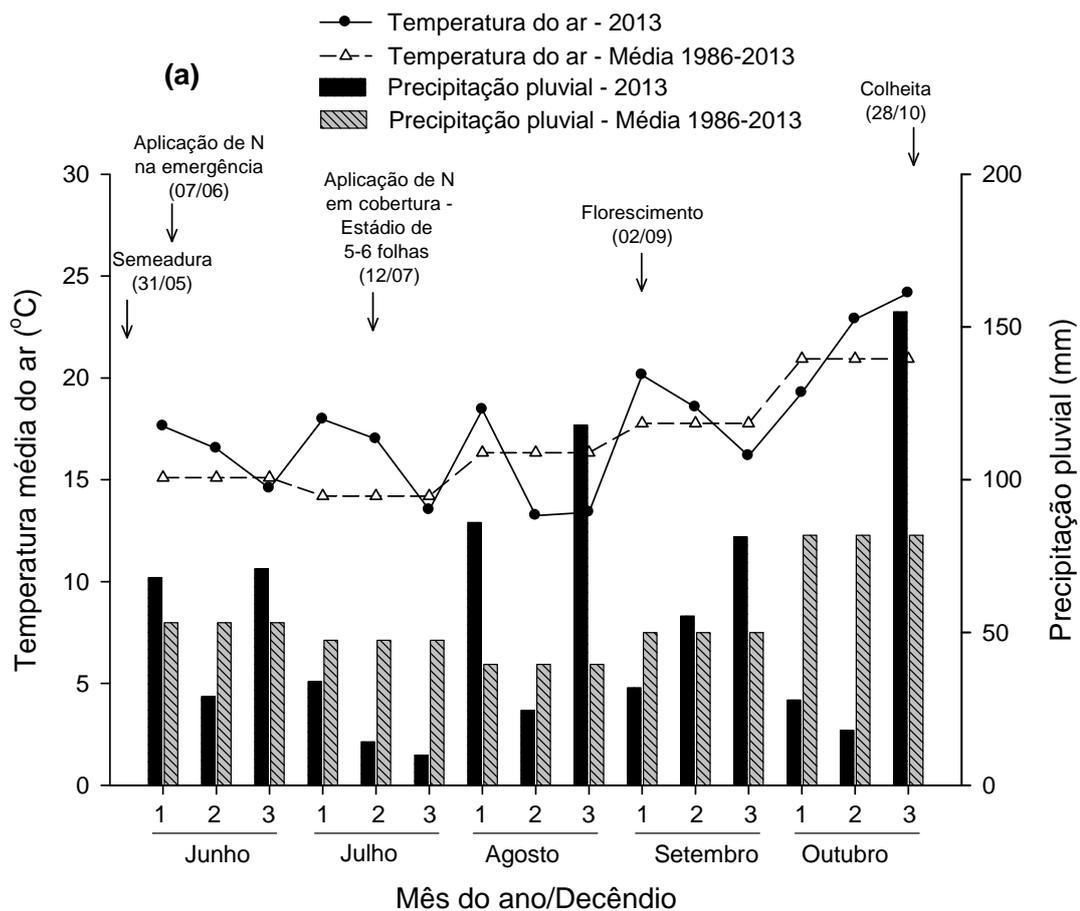


FIGURA 4. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2013 e normal climática (1986-2013), em Itapiranga (SC).

## 4.2 Biomassa seca da parte aérea

O desenvolvimento das plantas foi avaliado através do acúmulo de matéria seca na parte aérea em dois momentos durante o ciclo da cultura. A primeira avaliação ocorreu no estágio de seis folhas completamente expandidas (Figuras 5 e 6). Neste estágio, são apresentados somente os efeitos principais de inoculante (com e sem) e doses de N, devido à interação entre inoculante e N não ter sido significativa (Apêndices 1, 2, 3 e 4), com exceção da cultivar TBIO Pioneiro, em Eldorado do Sul (RS) em 2012 (Figura 5.b).

No ano de 2012, em Itapiranga (SC), não foram observadas respostas com relação à aplicação de nitrogênio por ocasião da emergência das plantas em nenhuma das cultivares (Figura 5.a). No entanto, as cultivares Mirante e TBIO Pioneiro apresentaram incremento na produção de biomassa seca da parte aérea na ordem de 6 e 11%, respectivamente, com o uso de inoculante à base de *Azospirillum brasiliense*, em comparação ao tratamento sem inoculação das sementes. Entretanto, este aumento de produção de biomassa não refletiu em aumento de rendimento final de grãos (Figura 13.a). Neste mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), houve diferença significativa em função da aplicação de nitrogênio nas três cultivares testadas, sendo que a cultivar TBIO Pioneiro apresentou interação significativa entre níveis de inoculante e doses de N (Figura 5.b).

No ano de 2013, em Itapiranga (SC), não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 6.a). Já em Eldorado do Sul (RS) se confirmaram os resultados do ano anterior, apresentando resposta significativa somente para os tratamentos com aplicação de nitrogênio na adubação de base (emergência) (Figura 6.b).

Avaliando estes resultados, é possível observar o efeito do fator local com relação à resposta aos tratamentos, principalmente à adubação nitrogenada. Possivelmente, esta resposta esteja associada à fertilidade natural do solo, principalmente com relação ao seu teor de matéria orgânica (Tabela 1), uma vez que Itapiranga (SC) apresenta teores de matéria orgânica superiores aos teores encontrados em Eldorado do Sul (RS), o que explica a falta de resposta ao nitrogênio inicial em Itapiranga (SC) (Figuras 5.a e 6.a). Com relação à resposta da inoculação, Sala *et al.* (2007) também não verificaram incremento de biomassa nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta quando realizada inoculação de sementes de trigo com *Azospirillum brasilense*.

A segunda avaliação da produção de biomassa seca da parte aérea ocorreu no estágio de florescimento (Figuras 7 e 8). Neste estágio, as plantas já alcançaram sua estatura final, apresentado máximo índice de área folhar (IAF), sendo esta condição importante para a etapa subsequente de enchimento de grãos. Neste estágio, são apresentados somente os efeitos principais de inoculante (com e sem) e doses de N, devido à interação entre os dois fatores não ter sido significativa (Apêndices 1, 2, 3 e 4).

No ano de 2012, não foram observadas respostas significativas na biomassa da parte aérea em função das doses de N aplicadas em nenhuma das cultivares utilizadas em Itapiranga (SC) (Figura 7.a). Já em relação à inoculação das sementes com *A. brasilense*, somente a cultivar TBIO Pioneiro se mostrou responsiva ao inoculante, apresentando incremento significativo de aproximadamente 8% na quantidade de biomassa da parte aérea com a realização da inoculação das sementes, em comparação ao tratamento não inoculado (Figura 7.a). Neste mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), houve resposta significativa à aplicação de nitrogênio, sendo que os tratamentos que

receberam N apresentaram incrementos de biomassa superiores a 60% em relação à testemunha sem N (Figura 7.b). Já em relação à inoculação das sementes, não foi observada diferença significativa na produção de biomassa da parte aérea no estágio de florescimento entre os tratamentos com e sem inoculação em nenhuma das cultivares (Figura 7.b).

Nos experimentos conduzidos no ano de 2013 observou-se, em Itapiranga (SC), resposta da biomassa da parte aérea no florescimento em relação à utilização de adubação nitrogenada, apresentado relação positiva com o aumento das doses em todas as cultivares avaliadas (Figura 8.a). Em contrapartida, a produção de biomassa da parte aérea neste estágio não foi afetada pela inoculação das sementes em nenhuma das cultivares. Em Eldorado do Sul (RS) se confirmaram, no ano de 2013, os resultados obtidos no experimento conduzido em 2012 (Figura 8.b), ou seja, resposta significativa da biomassa da parte aérea em relação à aplicação de N. Além disso, a biomassa da parte aérea não foi influenciada significativamente pela inoculação das sementes (Figura 8.b).

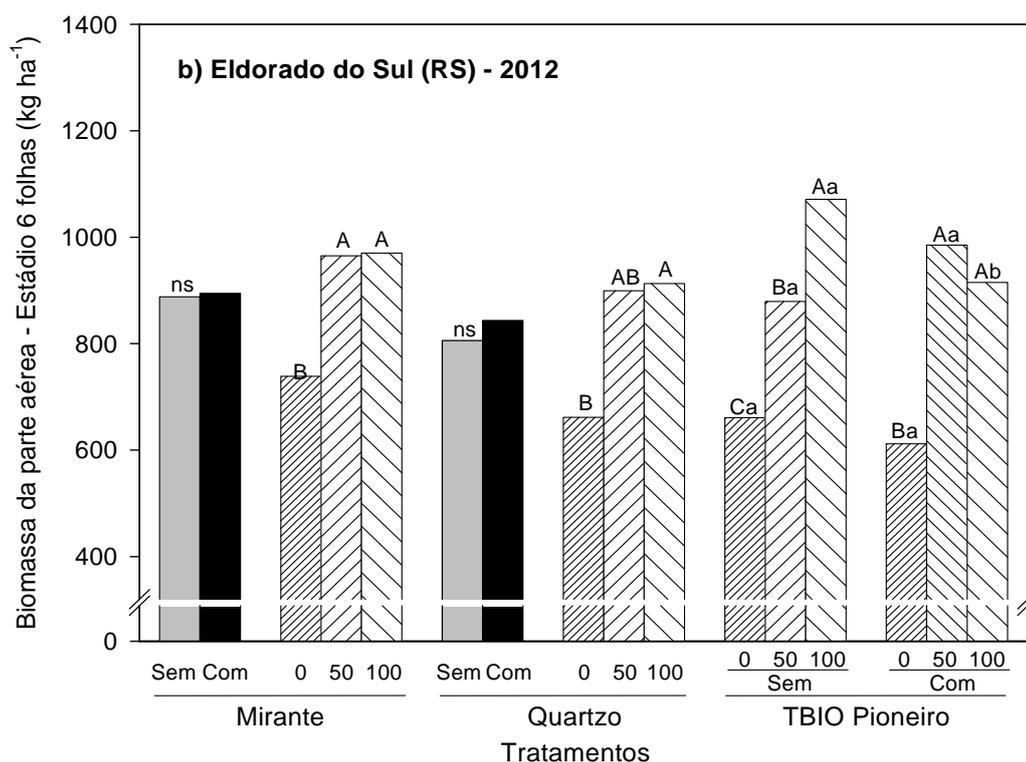
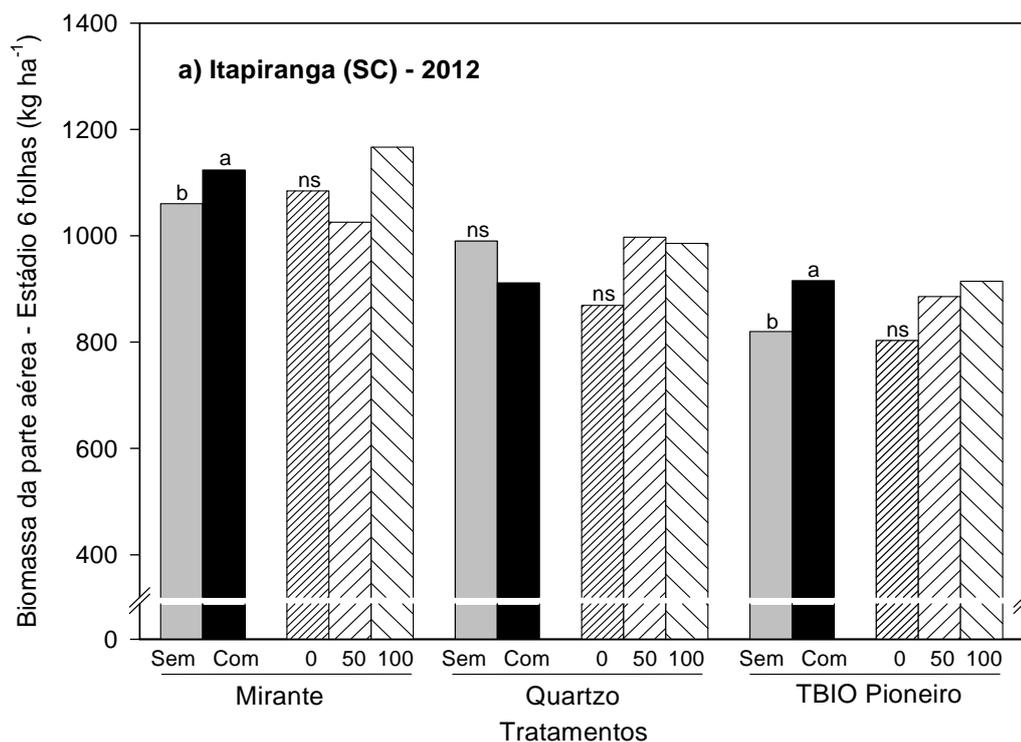


FIGURA 5. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

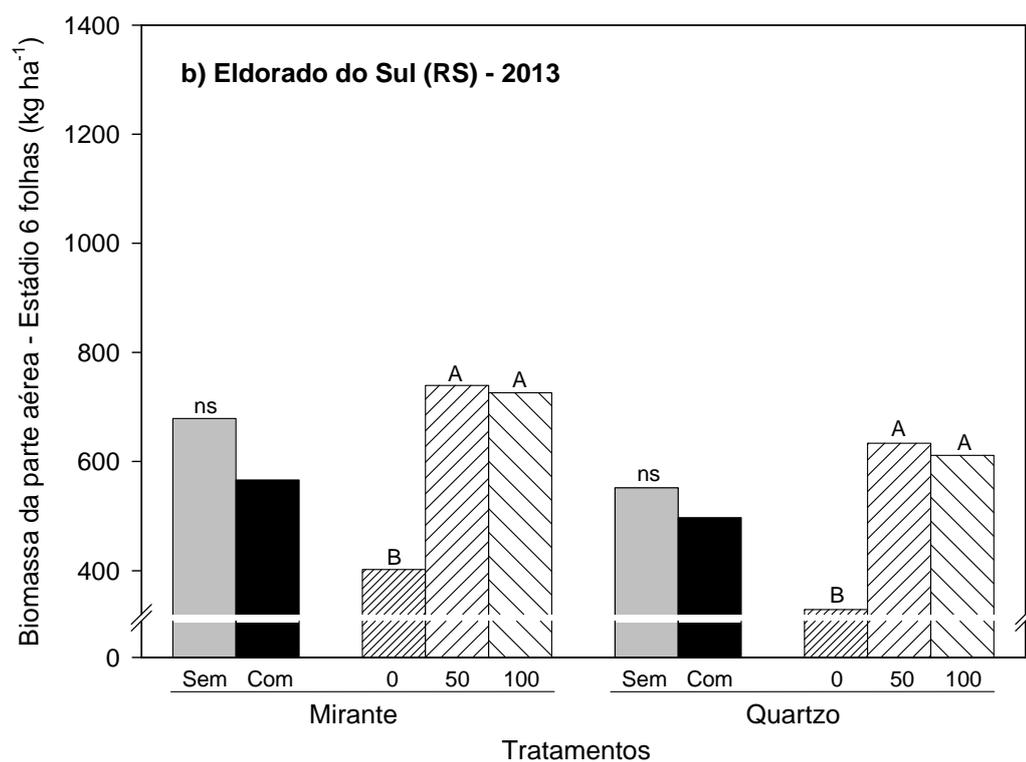
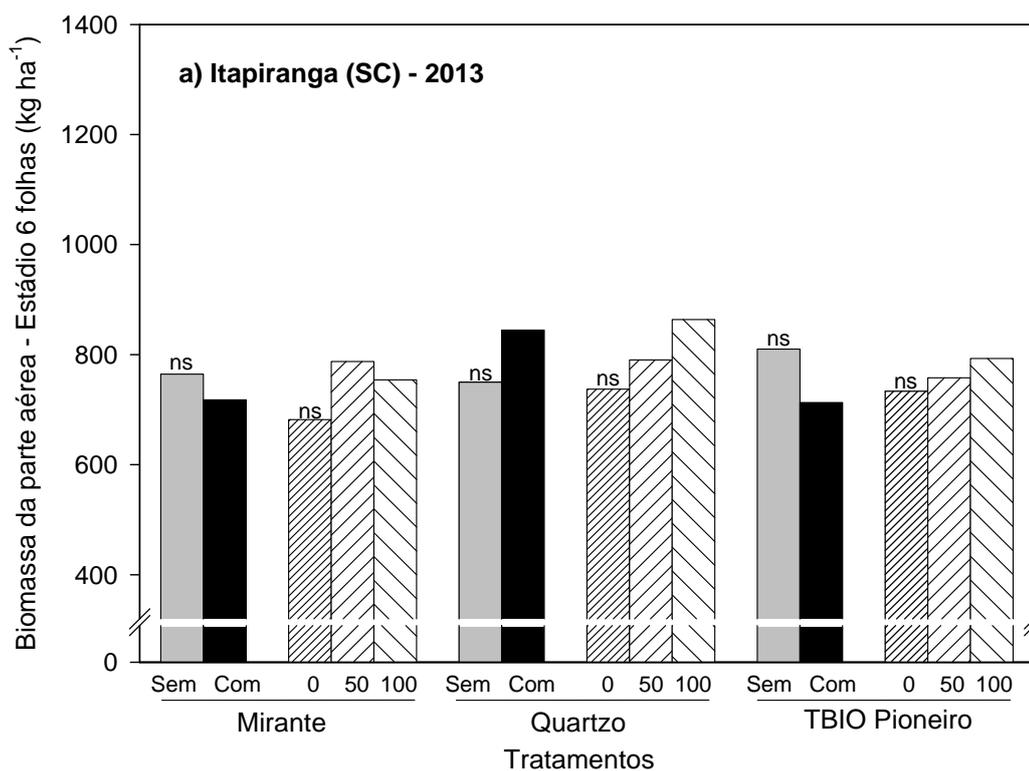


FIGURA 6. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estádio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

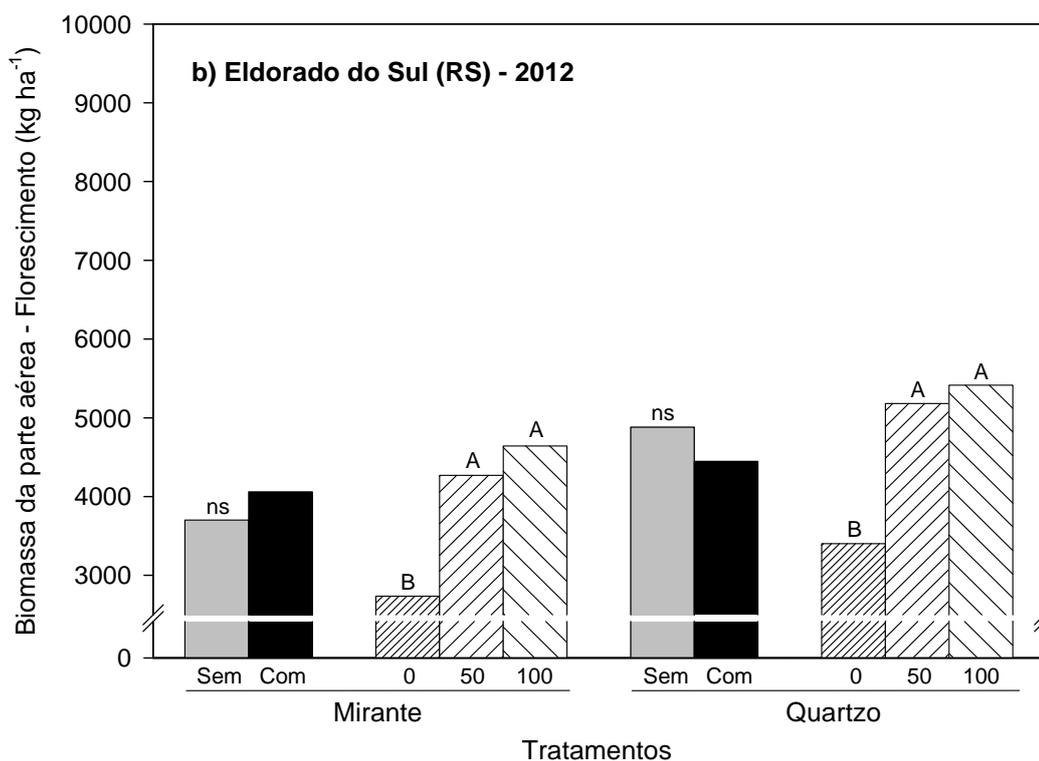
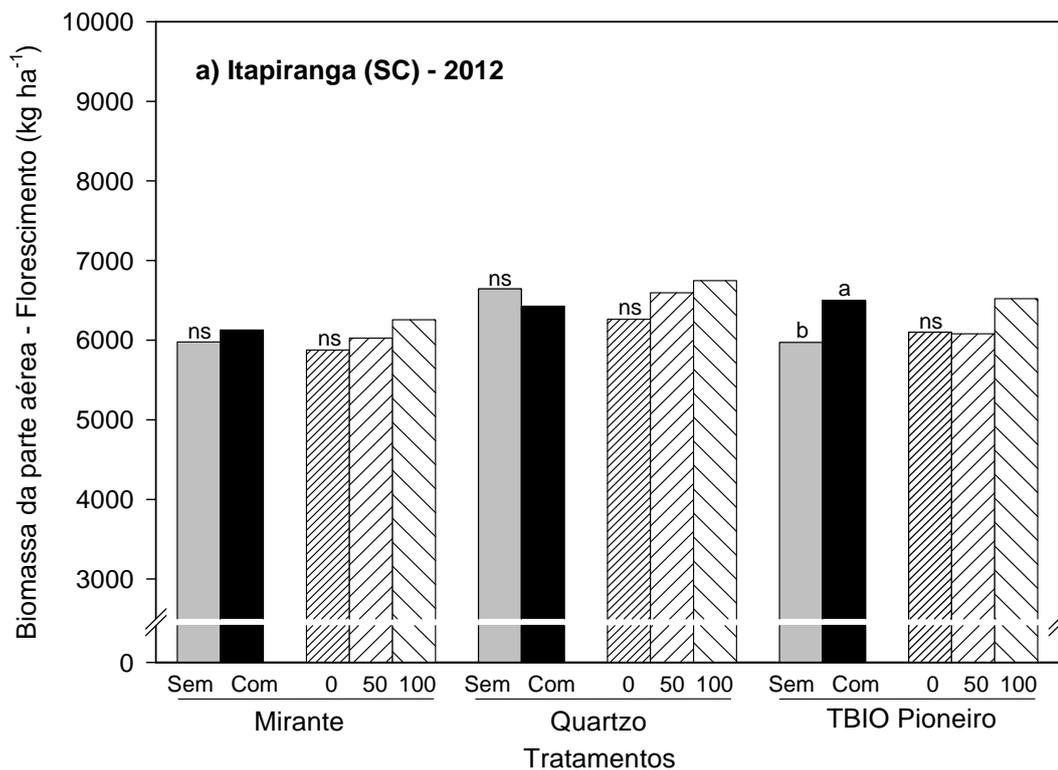


FIGURA 7. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estágio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

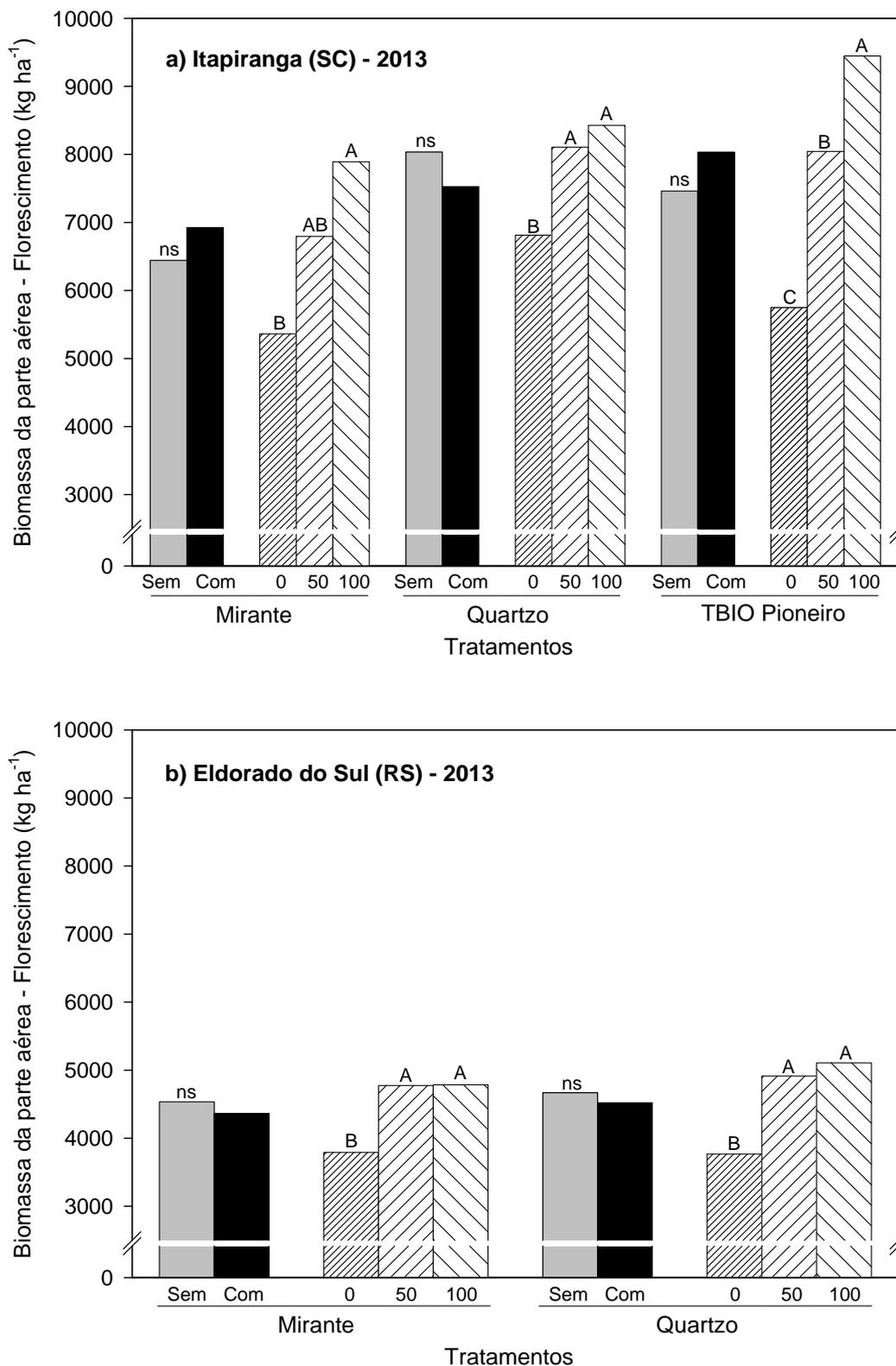


FIGURA 8. Biomassa da parte aérea de cultivares de trigo no estágio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

### 4.3 Nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea

As coletas de biomassa da parte aérea foram realizadas nos estádios de seis folhas completamente expandidas e no florescimento, sendo o mesmo procedimento realizado nos dois locais. Além da avaliação do rendimento de biomassa da parte aérea, foi determinada a quantidade de nitrogênio acumulado na biomassa por unidade de área.

Nas avaliações realizadas no estágio de seis folhas expandidas (Figuras 9 e 10) são apresentados somente os efeitos principais de inoculante (com e sem) e doses de N, em função da não significância da interação entre os fatores inoculante e doses de N (Apêndices 1, 2, 3 e 4).

Quando analisada a quantidade de N na biomassa coletada no estágio de seis folhas completamente expandidas, no ano de 2012, pode-se observar que, em Itapiranga (SC), não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação ao uso de inoculante, sendo que, em relação à aplicação de doses de N, houve diferença significativa somente para a cultivar Mirante (Figura 9.a). Já em Eldorado do Sul (RS), todas as cultivares avaliadas apresentaram aumento significativo na quantidade de N acumulado na biomassa quando submetidos a adubação nitrogenada (Figura 9.b). No entanto, com relação ao uso de inoculante, somente foi observada resposta significativa para a cultivar TBIO Pioneiro, sendo que o uso de inoculante apresentou redução de 16% na quantidade de N acumulado na biomassa (Figura 9.b).

Resultados semelhantes também foram reportados por Sala *et al.* (2007), onde plantas de trigo que receberam a aplicação de inoculante nas sementes apresentaram, na ausência de adubação nitrogenada, menor produção de massa seca da parte aérea e menor quantidade de N acumulado, em comparação a plantas não inoculadas. Didonet *et al.* (2000) atribuíram este efeito ao fato de

plantas inoculadas com *Azospirillum* apresentarem maior desenvolvimento do sistema radicular em relação à parte aérea, em função da produção de fito-hormônios. Muitos estudos revelam que o ácido indolacético (AIA) é um dos principais fito-hormônios envolvidos na promoção do crescimento das plantas, atuando em processos do crescimento radicular, tais como estabelecimento do polo radicular durante a embriogênese, manutenção do meristema radicular, gravitropismo de raiz e organogênese de raízes laterais (Sala *et al.*, 2008; Zorita & Canigia, 2008; Evseeva *et al.*, 2011; Novakowski, 2011). O maior desenvolvimento do sistema radicular favorece a absorção de nutrientes e água (Kramer & Bennett, 2006). No entanto, o estímulo ao desenvolvimento do sistema radicular por AIA é dependente da quantidade de fito-hormônios disponível e da sensibilidade do tecido radicular (Keyeo *et al.*, 2011). Além do AIA, a síntese de citocinina e giberelinas e a inibição da síntese de etileno também possuem envolvimento no controle do desenvolvimento de plantas inoculadas. Aumento no conteúdo de giberelinas em plantas inoculadas com *Azospirillum* se relaciona ao maior desenvolvimento inicial, aumentando o crescimento do sistema radicular e da parte aérea (Santi *et al.*, 2013).

No ano de 2013, nas avaliações das três cultivares em Itapiranga (SC), houve maior acúmulo de N na parte aérea somente na cultivar Quartzo com a aplicação de N (Figura 10.a). Já em relação ao uso de inoculante, não houve diferença em nenhuma das cultivares testadas (Figura 10.a). Neste mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), os resultados foram semelhantes ao ano anterior, apresentando incremento significativo da quantidade de N acumulado em função da aplicação de N (Figura 10.b). Com relação ao inoculante, não foi observada diferença significativa na quantidade de nitrogênio acumulado no estágio de seis

folhas expandidas em função da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* (Figura 10.b).

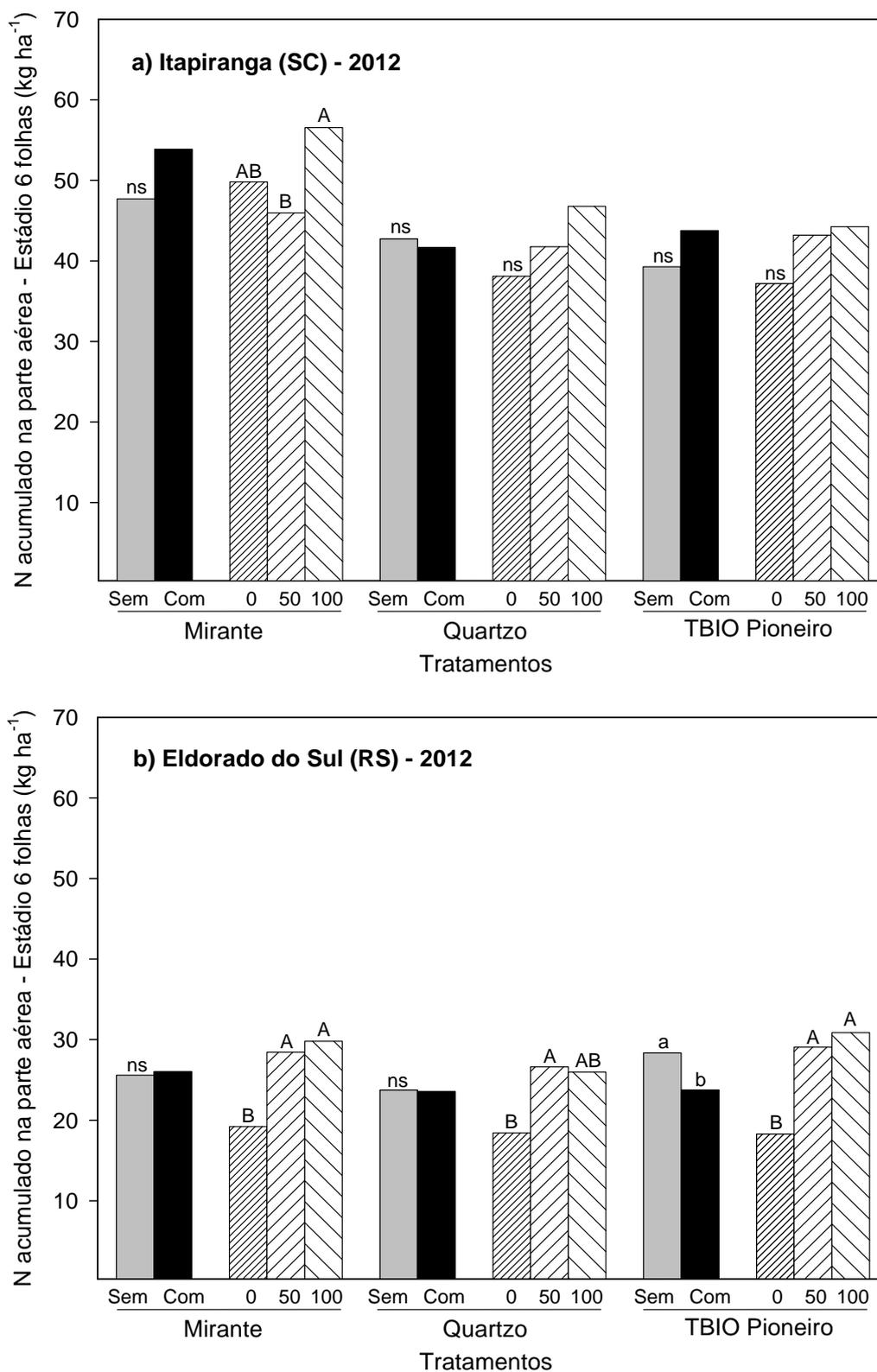


FIGURA 9. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

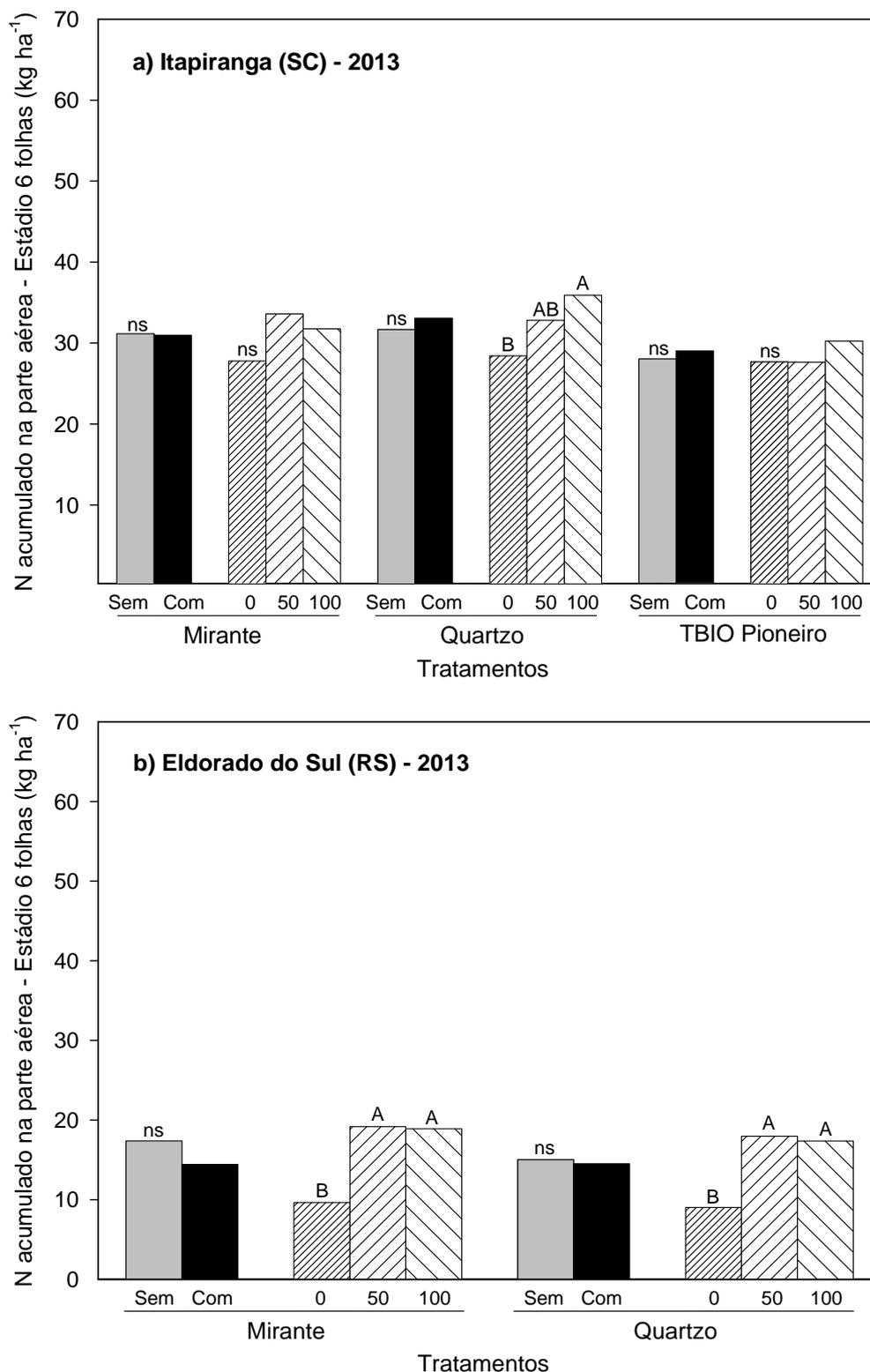


FIGURA 10. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estágio de seis folhas completamente expandidas em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

Além da avaliação realizada no estádio de seis folhas expandidas, foi avaliada também a quantidade de nitrogênio acumulado na biomassa da parte aérea no estádio de florescimento, em função da inoculação de sementes e doses de N (Figuras 11 e 12).

Em relação aos resultados dos experimentos conduzidos em Itapiranga (SC), considerando todas as cultivares e os dois anos de estudo, são apresentados somente os efeitos principais de inoculante (com e sem) e doses de N (Figuras 11.a e 12.a), devido à interação dos fatores inoculante e doses de N não ter sido significativa. Já em Eldorado do Sul (RS), com exceção da cultivar Quartzo no ano de 2012 (Figura 11.b), foi observada interação significativa entre os fatores inoculante e doses de N (Apêndices 1, 2, 3 e 4), sendo então apresentados os efeitos simples destes fatores (Figuras 11.b e 12.b).

Em 2012, em Itapiranga (SC), houve incremento significativo na quantidade de N acumulado em todas as cultivares em função de doses de N aplicadas (Figura 11.a), mostrando a importância da disponibilidade de nitrogênio mesmo em solos que apresentam alta fertilidade natural, visando a manutenção do potencial produtivo de cada cultivar. Em contrapartida, nenhuma das três cultivares apresentou diferença significativa em relação à quantidade de N acumulado no florescimento quando submetidas à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*, em comparação ao tratamento não inoculado (Figura 11.a). Neste mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), houve interação significativa dos fatores doses de N e inoculação somente para a cultivar Mirante (Figura 11.b). Quando comparadas as doses de N na ausência do inoculante, houve diferença significativa somente entre a aplicação ou não de nitrogênio, independentemente da dose. Já quando avaliado na presença de inoculante, houve diferença significativa entre as doses, sendo que o aumento da dose

relacionou-se com o aumento da quantidade de N acumulado na parte aérea (Figura 11.b).

Quando analisado o efeito de inoculante dentro de cada dose de N, foram observadas respostas significativas somente na dose de 100 kg de N ha<sup>-1</sup>. Nesta situação, a inoculação das sementes resultou em aumento significativo na quantidade de N acumulado na parte aérea na cultivar Mirante (Figura 11.b), o que contraria estudos que mostraram que a resposta à inoculação de sementes com *A. brasiliense* ocorre na ausência de N (Sala *et al.*, 2007; Kavadia *et al.*, 2008; Veresoglou & Menezes, 2010). Na cultivar Quartzo, houve resposta somente ao incremento na disponibilidade de N, não sendo observada resposta significativa da quantidade de N acumulado em relação ao uso ou não de inoculante (Figura 11.b).

No ano de 2013, em Itapiranga (SC), os resultados se confirmaram em relação ao ano anterior, observando-se respostas significativas da quantidade de N acumulado somente em função do aumento na disponibilidade de N (Figura 12.a), não sendo observada resposta significativa à inoculação das sementes em nenhuma das cultivares testadas (Figura 12.a). Em Eldorado do Sul (RS), no ano de 2013, os resultados do ano anterior se repetiram para a cultivar Mirante, ou seja, foi observada resposta significativa de aumento na quantidade de N acumulado na parte aérea em função da inoculação das sementes somente na dose de 100 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 12.b).

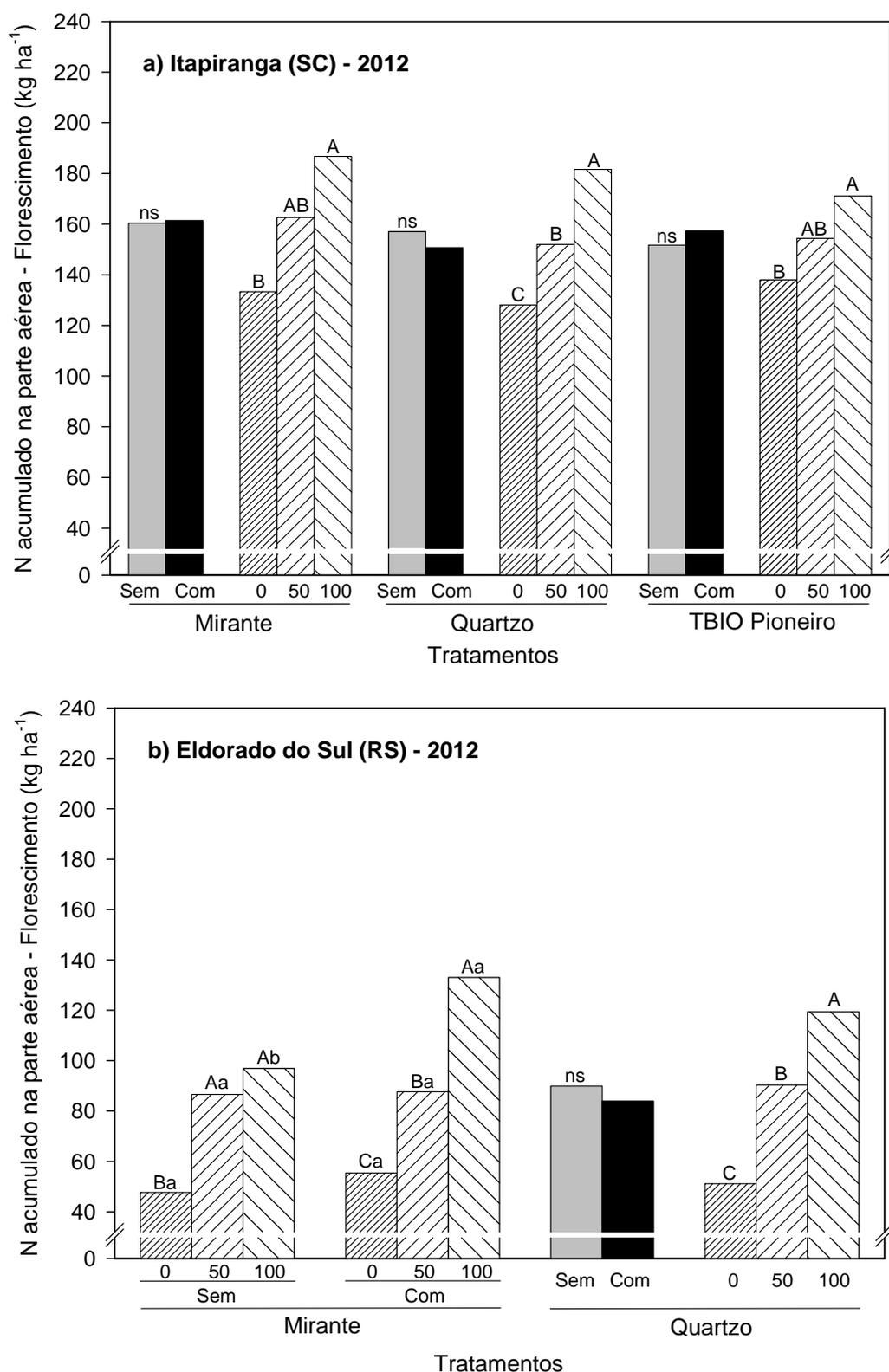


FIGURA 11. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estágio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

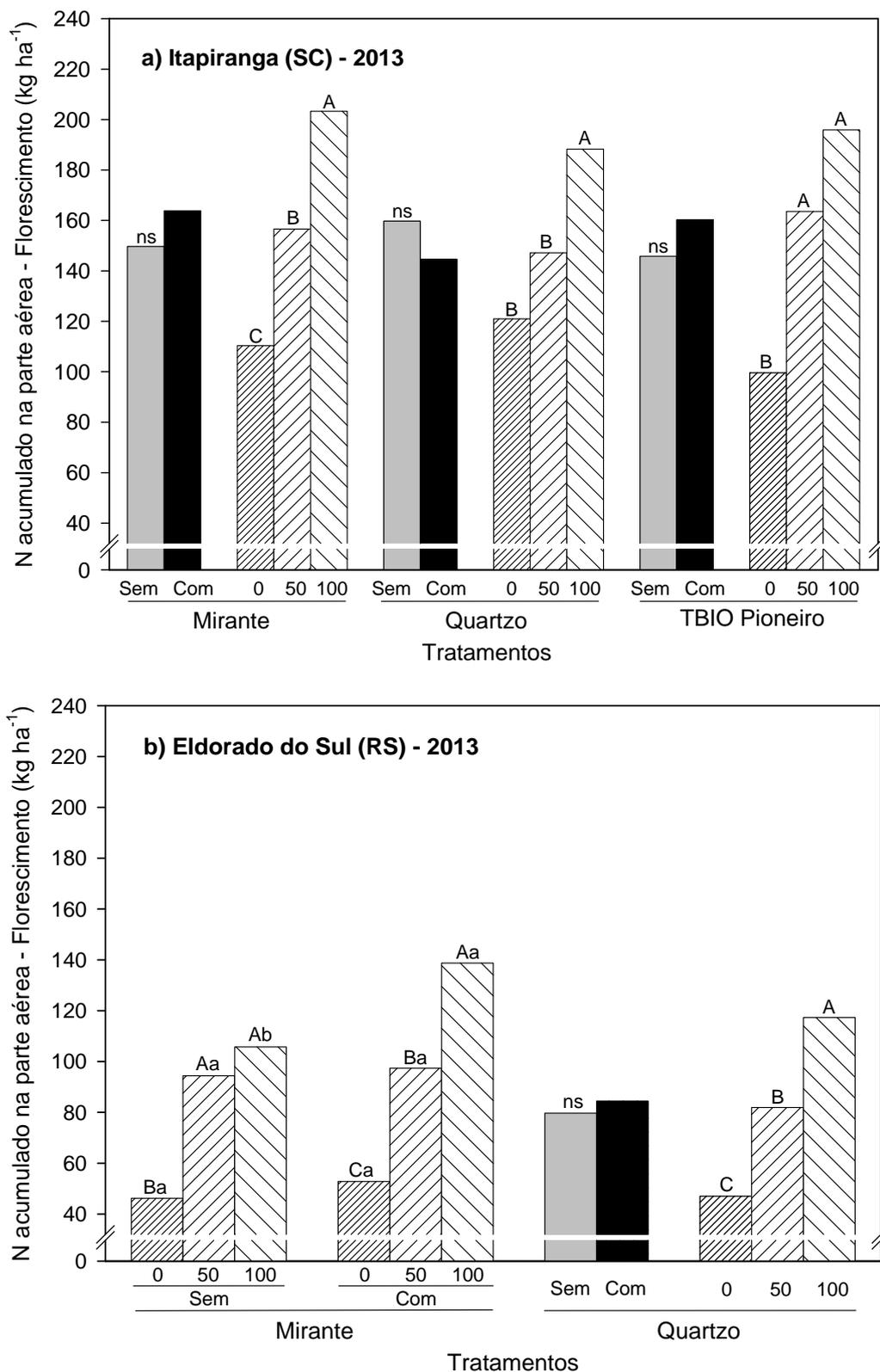


FIGURA 12. Quantidade de N acumulado na parte aérea de cultivares de trigo no estágio de florescimento em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

#### 4.4 Rendimento de grãos e componentes do rendimento

Em relação ao rendimento de grãos e seus componentes (Apêndices 5, 6, 7 e 8), no ano de 2012 em Itapiranga (SC), não houve diferença significativa para as cultivares Mirante e Quartzo em função dos tratamentos aplicados, tanto inoculação quanto doses de N (Figura 13.a). Já a cultivar TBIO Pioneiro apresentou interação significativa dos fatores doses de N e inoculante. Resultados semelhantes foram observados para o componente do rendimento número de espigas por m<sup>2</sup> (Figura 17.a), sendo este o componente que explica a interação significativa observada na cultivar TBIO Pioneiro. Este componente do rendimento de grãos foi fortemente influenciado pela ocorrência de acamamento nesta cultivar.

Os resultados observados com a cultivar TBIO Pioneiro estão associados à ocorrência de acamamento antes do estágio de florescimento da cultura, diminuindo o número de afilhos férteis e interferindo diretamente no rendimento de grãos (Figura 13.a). Além disso, conforme apresentado na Figura 2.a, a cultura passou por período de ocorrência de temperaturas do ar acima da média histórica (normal climática) nos períodos de florescimento e início de enchimento de grãos, o que diminuiu o rendimento de grãos de todas as cultivares no ano de 2012 em Itapiranga (SC).

No ano de 2012, em Eldorado do Sul (RS), foi observado incremento significativo do rendimento de grãos em função do aumento das doses de N aplicadas nas três cultivares, sendo que as maiores diferenças no rendimento de grãos foram observadas entre as doses 0 (sem N) e 50 kg de N ha<sup>-1</sup> (Figura 13.b). Quanto à avaliação do efeito da inoculação das sementes com *Azospirillum brasiliense*, somente a cultivar Mirante apresentou incremento significativo com o uso do inoculante, aumentando o rendimento de grãos em, aproximadamente,

200 kg ha<sup>-1</sup>, o que representa cerca de 7% de incremento no rendimento de grãos em função da inoculação de sementes (Figura 13.b). Nota-se que os rendimentos de grãos neste ano foram relativamente baixos quando comparados ao ano de 2013 (Figura 14.b). Rendimentos superiores também foram observados por Almeida (2012), indicando que havia outros fatores limitantes da produtividade na safra 2012. Entre estes fatores, pode ser destacado a ocorrência de elevada precipitação pluvial próximo ao estágio de florescimento da cultura (Figura 1.a), o que levou ao aumento na incidência de moléstias foliares e à redução na disponibilidade de radiação solar, conseqüentemente reduzindo a taxa fotossintética da cultura.

Muitos trabalhos têm demonstrado incrementos no rendimento de grãos na cultura do trigo em função da inoculação de sementes com bactérias do gênero *Azospirillum*. Quando realizado um levantamento do desempenho da inoculação na cultura do trigo, têm-se constatado incremento no rendimento de grãos na ordem de 9% em cerca de 70% dos ensaios realizados, sendo que os melhores resultados têm sido observados quando a quantidade de N disponibilizada através da adubação é baixa (Veresoglou & Menezes, 2010). Na cultura do milho, Roesch *et al.* (2006) verificaram que a colonização de plantas foi inibida por doses elevadas de N durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura. Aumentos no rendimento de grãos de trigo são dependentes da quantidade de microorganismos diazotróficos presentes nas raízes da planta, sendo que a colonização depende da interação com o genótipo e com a adubação nitrogenada (Reis Junior *et al.*, 2000; Roesch *et al.*, 2006).

Sabe-se que a interação entre a bactéria e a planta ocorre na rizosfera, a qual é estimulada por exsudatos radiculares. A composição destes exsudatos é dependente do tipo de solo, disponibilidade de nutrientes, genótipo, fase de

desenvolvimento e condições de ambiente. Todos estes fatores influenciam a resposta das plantas à inoculação, sendo que, de maneira geral, os benefícios oriundos da interação bactéria-planta são mais acentuados em solos de baixa fertilidade natural (Santi *et al.*, 2013). No presente trabalho, foi observada resposta significativa do rendimento de grãos em função da inoculação de sementes somente na cultivar Mirante em Eldorado do Sul (RS) no ano de 2012, sendo que este experimento foi conduzido em área com solo de baixo conteúdo de matéria orgânica (Tabela 1).

Estudos revelam que a inoculação e a disponibilidade de nitrogênio apresentam interação, sendo que a inoculação de bactérias diazotróficas promove aumento na absorção e utilização de N pela planta (Saubidet *et al.*, 2002). Os aumentos no rendimento de grãos decorrentes do aumento das doses de fertilizante nitrogenado e uso de inoculação foram influenciados diretamente pelo componente de rendimento espigas por m<sup>2</sup> (Figura 17.b). Este resultado corrobora com os resultados apresentados por Dobbelaere *et al.* (2001), que observaram que o aumento no rendimento de grãos de trigo inoculado com *Azospirillum* relacionou-se ao aumento na manutenção do número de afilhos emitidos e sobreviventes, contribuindo para o aumento no número de espigas produzidas.

O componente do rendimento número de espigas por área é fortemente dependente da taxa de emissão e de sobrevivência de afilhos. Para tanto, a disponibilidade inicial de N na emergência estimula a emissão de afilhos, sendo a sobrevivência destes afilhos dependente de adubação nitrogenada em cobertura, sendo esta recomendada no estágio de cinco a seis folhas completamente expandidas no colmo principal (Bredemeier & Mundstock, 2001). No caso das cultivares Mirante e TBIO Pioneiro, as doses de nitrogênio também afetaram positivamente o número de grãos por espiga (Figura 19.b), o que também explica

o aumento no rendimento de grãos observado nestas cultivares em função do aumento na disponibilidade de N (Figura 13.a).

No ano de 2013, em Itapiranga (SC), a disponibilidade de N influenciou significativamente o rendimento de grãos nas três cultivares avaliadas (Figura 14.a). Observa-se que, em relação às doses de N, os incrementos no rendimento de grãos foram superiores na comparação dos tratamentos sem N e com aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N do que quando comparados os tratamentos com aplicação de 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, apresentando incremento no rendimento de grãos de aproximadamente 1050 e 422 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, na média das três cultivares (Figura 14.a). Estes aumentos no rendimento de grãos são relacionados ao incremento no número de espigas por m<sup>2</sup> (Figura 18.a).

Com relação aos tratamentos com e sem inoculante, não foi observada diferença significativa no rendimento de grãos em nenhuma das cultivares (Figura 14.a). No entanto, para a cultivar Mirante, o componente de rendimento número de grãos por espiga foi afetado negativamente com o uso de inoculante, apresentando redução de aproximadamente 14% neste componente em função da realização da inoculação (Figura 20.a). A redução neste componente não se refletiu em redução no rendimento de grãos, devido ao fato do componente número de espigas por m<sup>2</sup> ter sido maior com a aplicação de inoculante, mesmo que de maneira não significativa (Figura 18.a), ocorrendo compensação entre estes dois componentes do rendimento de grãos.

Em Eldorado do Sul (RS) no ano de 2013 foram testadas somente as cultivares Mirante e Quartzo, sendo que, em relação à resposta do rendimento de grãos às doses de N, os resultados do ano anterior se confirmaram (Figura 14.b). O aumento no rendimento de grãos em função do incremento nas doses de N foi reflexo do aumento significativo dos componentes de rendimento massa de mil

grãos (Figura 16.b), número de espigas por m<sup>2</sup> (Figura 18.b) e número de grãos por espiga (Figura 20.b).

Já em relação ao uso de inoculante, em nenhuma das cultivares foi observada diferença significativa com relação à realização ou não de inoculação das sementes (Figura 14.b). Com relação aos componentes do rendimento de grãos, a massa de mil grãos na cultivar Quartzo foi o único componente que apresentou aumento significativo com o uso de inoculante (Figura 16.b). Quanto ao número de espigas por m<sup>2</sup>, tanto na cultivar Mirante como na cultivar Quartzo, foi observada redução na magnitude deste componente em função da realização da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* (Figura 18.b). Este efeito pode ter ocorrido em função do aumento da produção de ácido indolacético (AIA) nas plantas de trigo inoculadas com *A. brasilense*, incrementando a dominância apical do colmo principal em relação à emissão de afilhos (Taiz & Zeiger, 2013).

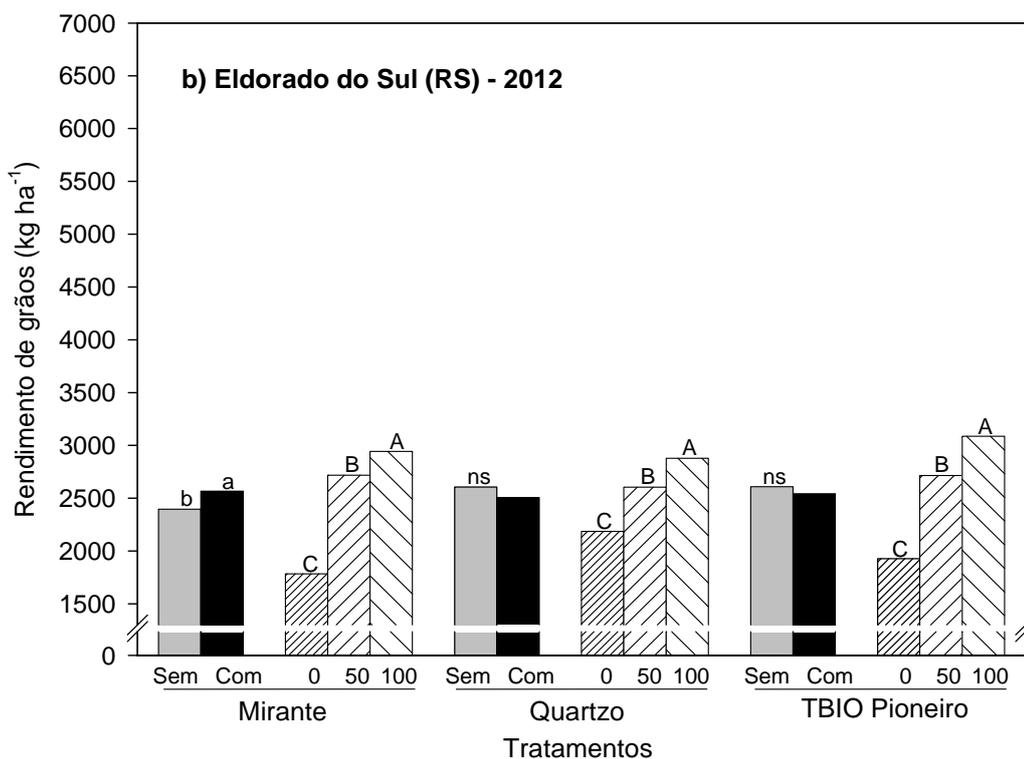
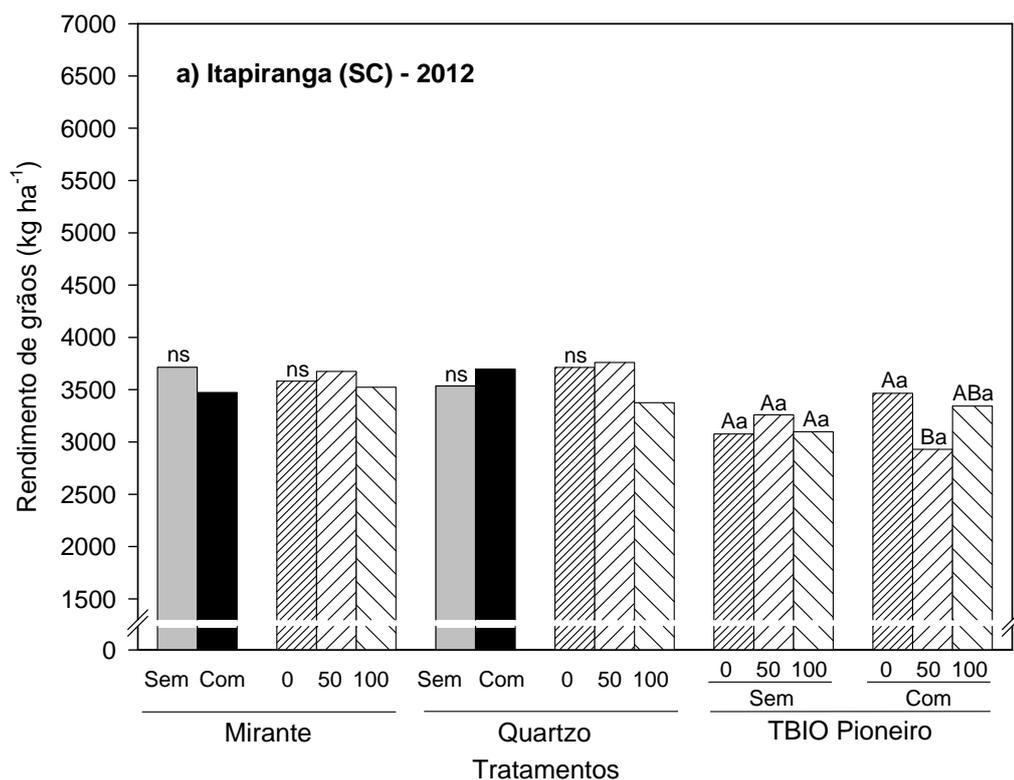


FIGURA 13. Rendimento de grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

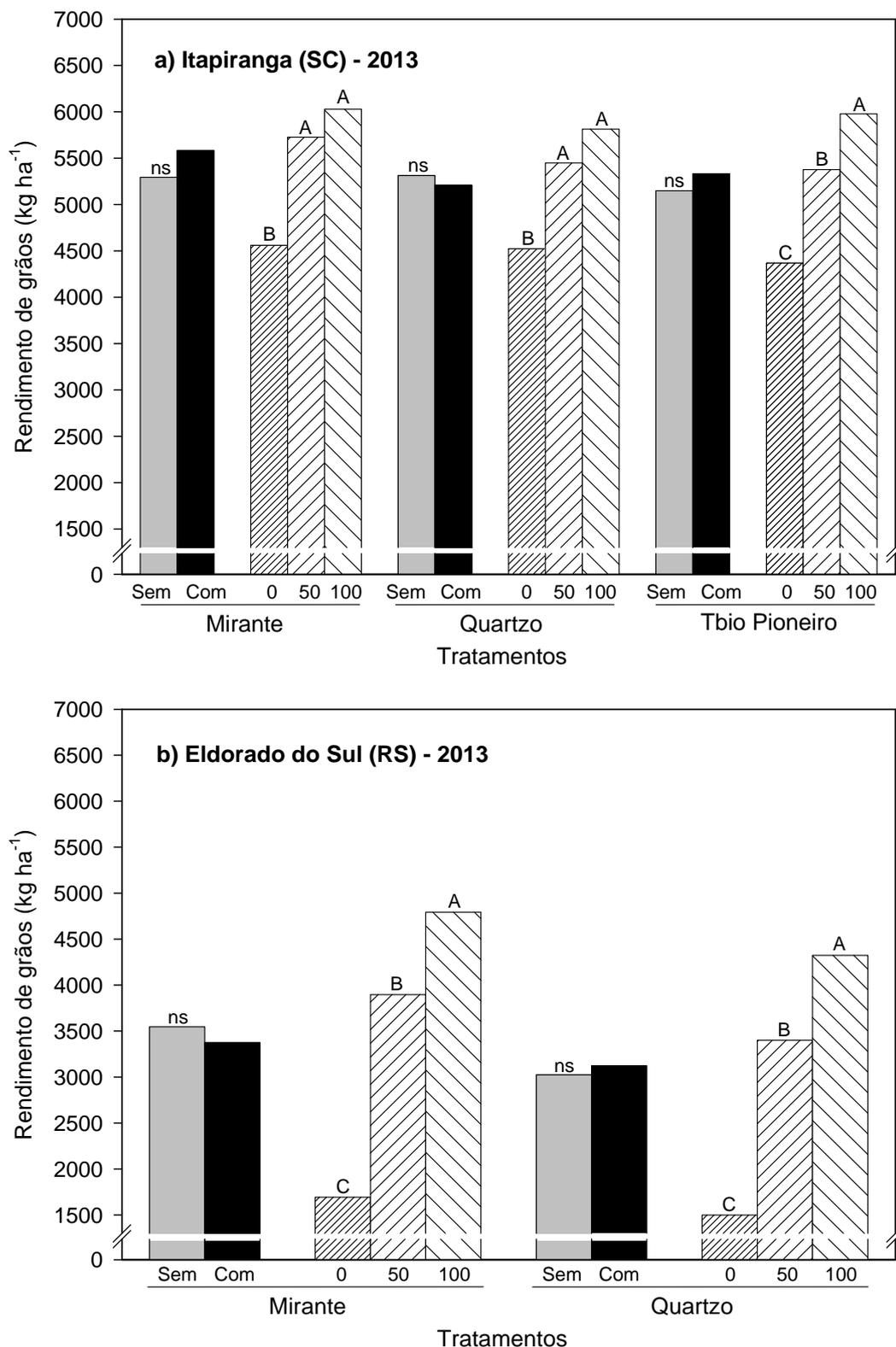


FIGURA 14. Rendimento de grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

Em relação à massa de mil grãos, em Itapiranga (SC), no ano de 2012, não foi observada diferença significativa neste componente em nenhum tratamento (Figura 15.a). Os valores obtidos neste componente foram baixos neste ano (Figura 15.a) quando comparados ao ano de 2013 neste mesmo local (Figura 16.a). A redução do peso do grão está relacionada à menor disponibilidade hídrica (baixa precipitação pluvial) que ocorreu neste local durante a fase inicial do período de enchimento de grãos, conforme mostrado na Figura 2.a. Neste mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), também não foram verificadas respostas significativas da massa de mil grãos em nenhum dos tratamentos aplicados.

Em 2013, em Itapiranga (SC), também não houve efeito significativo dos tratamentos sobre o componente do rendimento massa de mil grãos (Figura 16.a). No entanto, a massa de mil grãos foi superior quando comparada ao ano de 2012, em função das condições ambientais mais favoráveis (temperatura do ar e precipitação pluvial), especialmente na fase inicial do período de enchimento de grãos (Figura 3.a). Em Eldorado do Sul (RS), houve incremento significativo na massa de mil grãos em função do aumento da dose de N (Figura 16.b). Em relação ao uso de inoculante, foi observado aumento significativo na massa de mil grãos na cultivar Quartzo em função da inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (Figura 16.b).

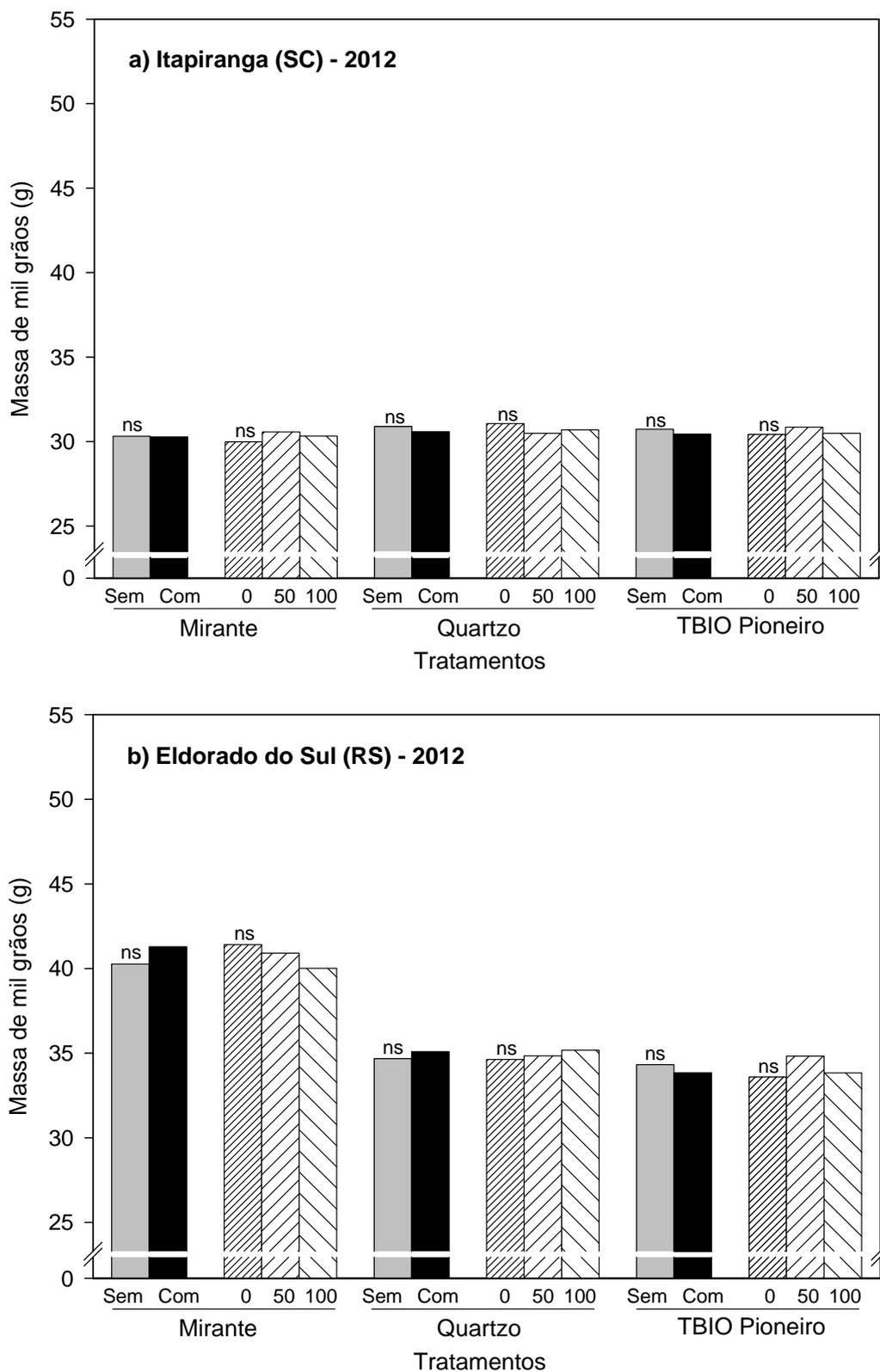


FIGURA 15. Massa de mil grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

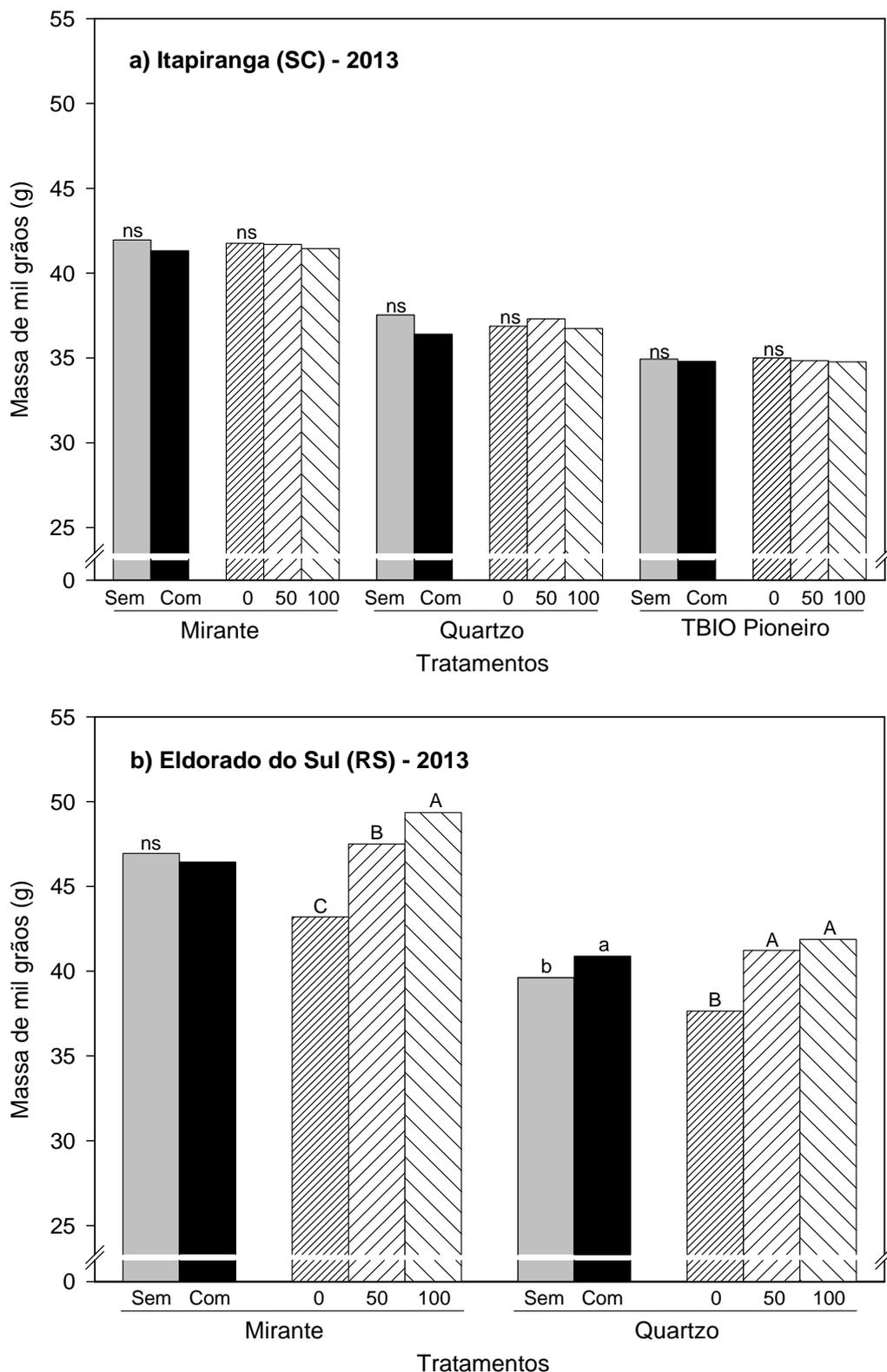


FIGURA 16. Massa de mil grãos de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

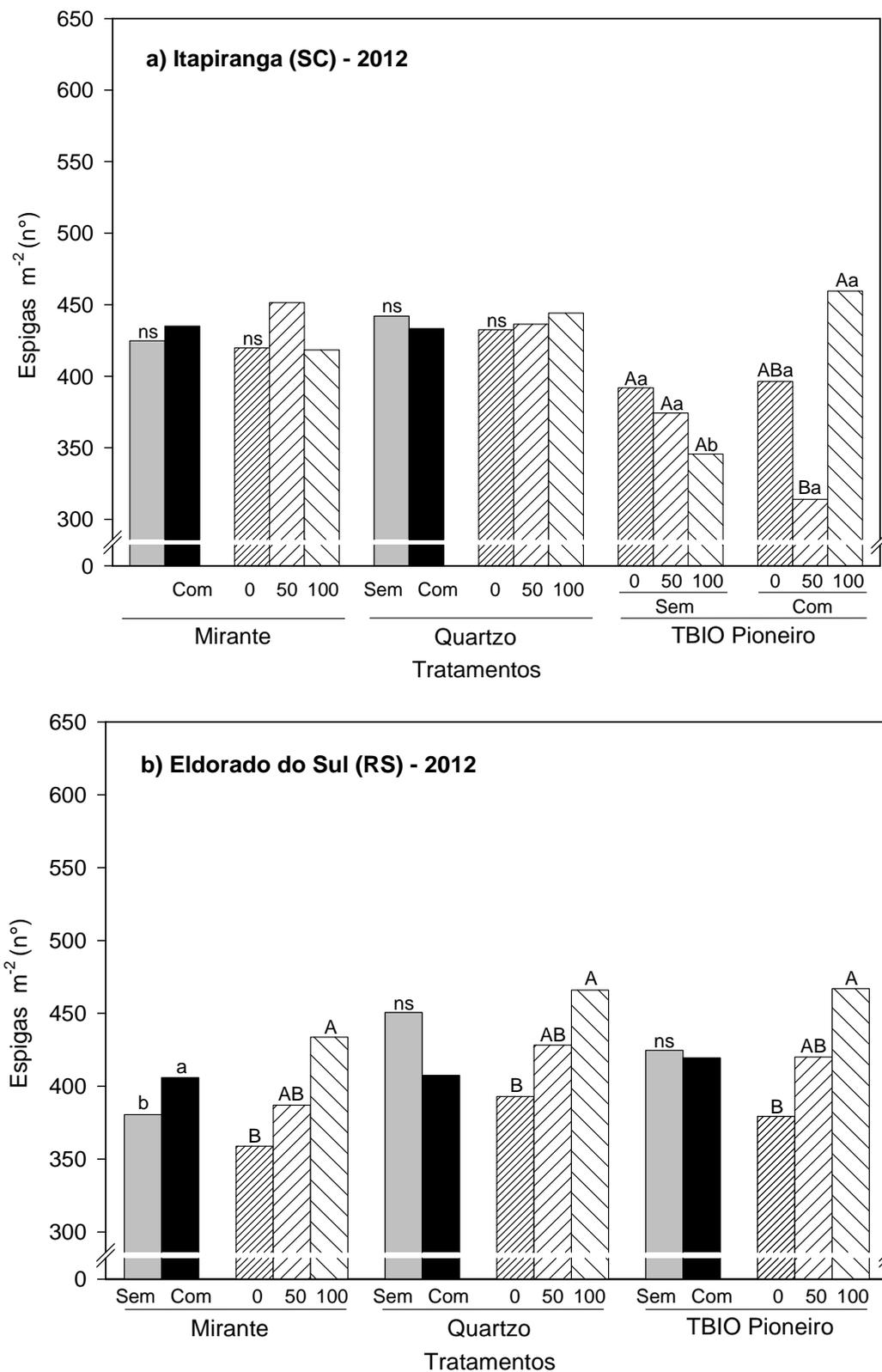


FIGURA 17. Número de espigas  $m^{-2}$  de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

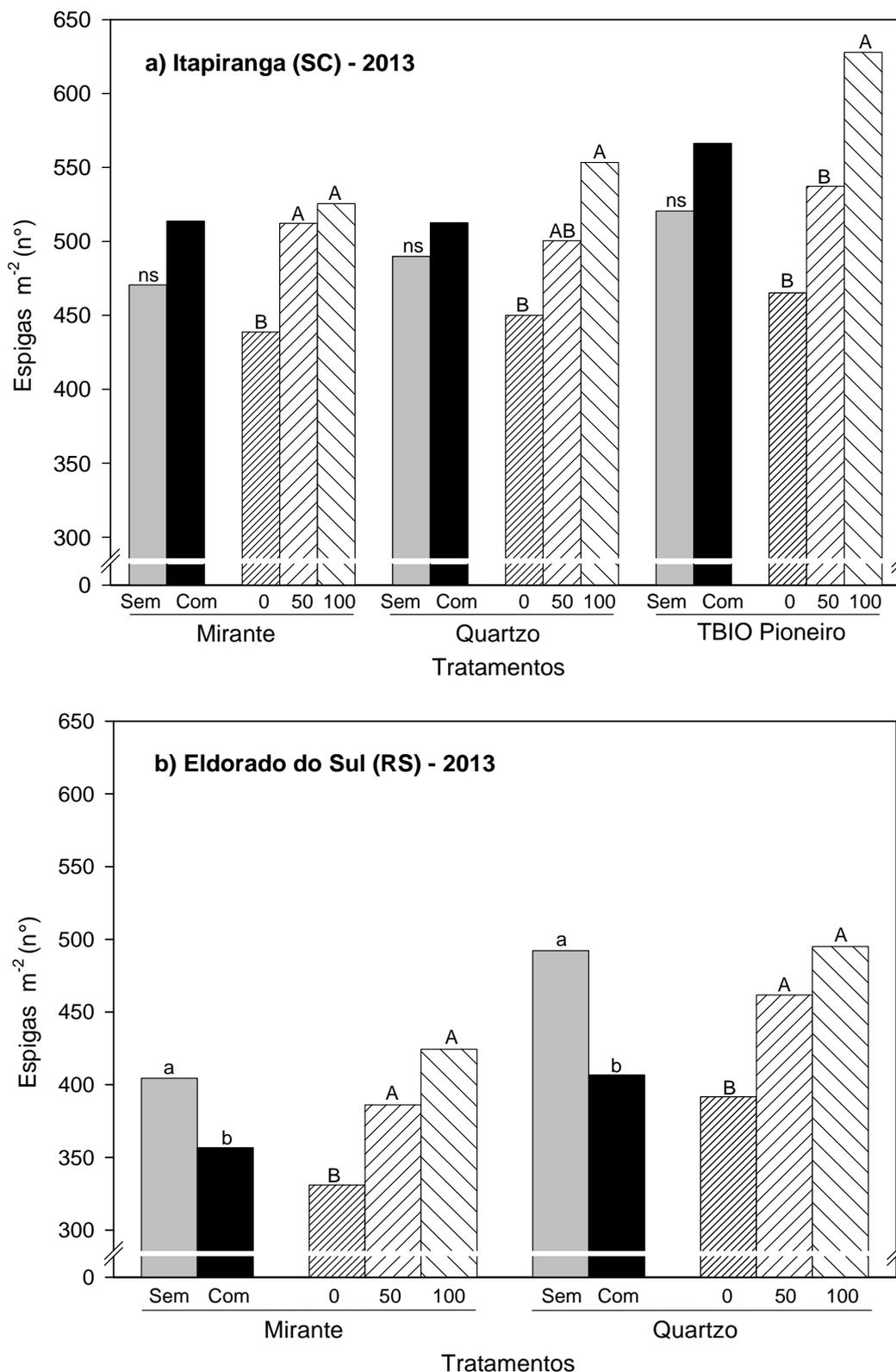


FIGURA 18. Número de espigas  $m^{-2}$  de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

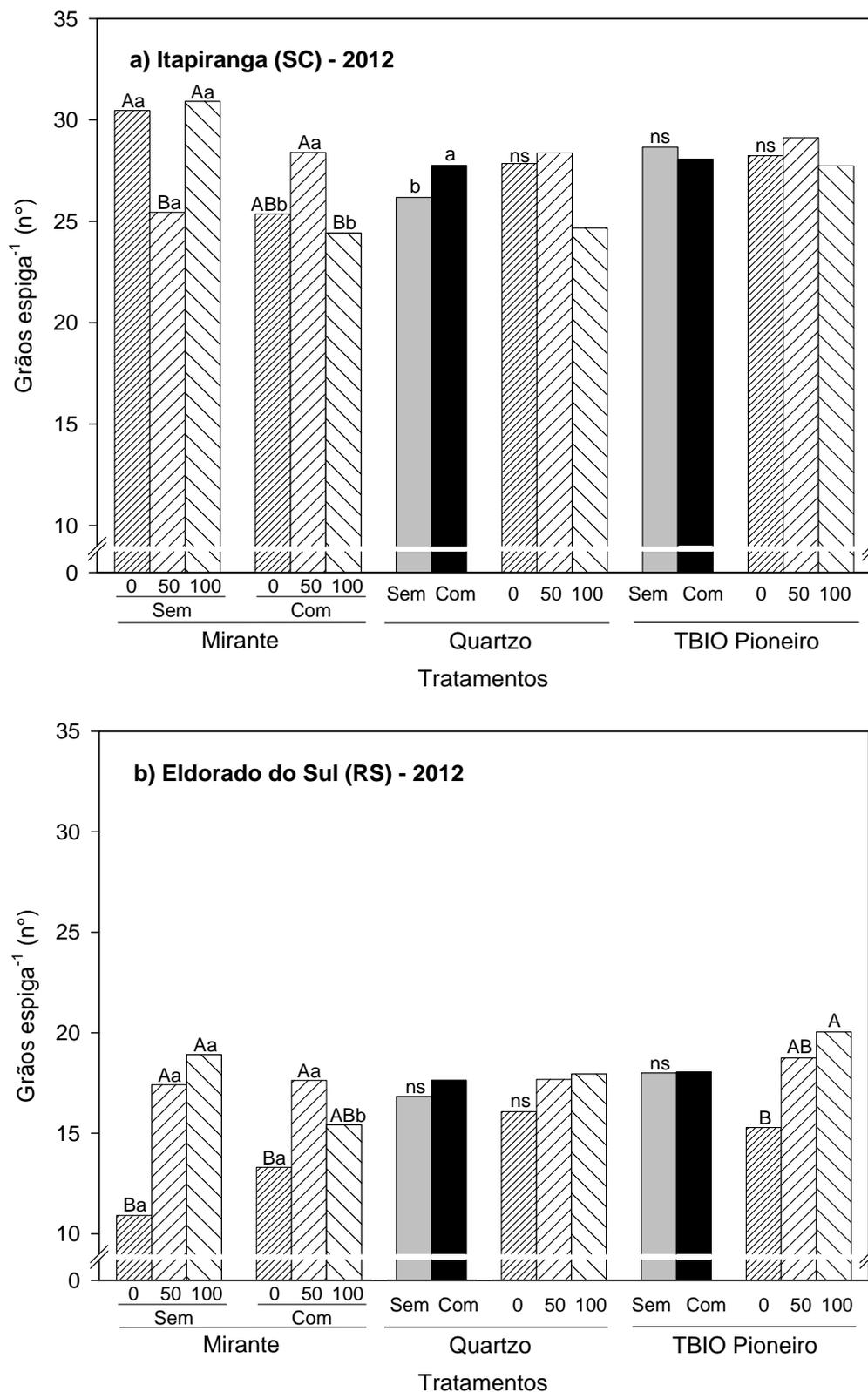


FIGURA 19. Número de grãos espiga<sup>-1</sup> de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

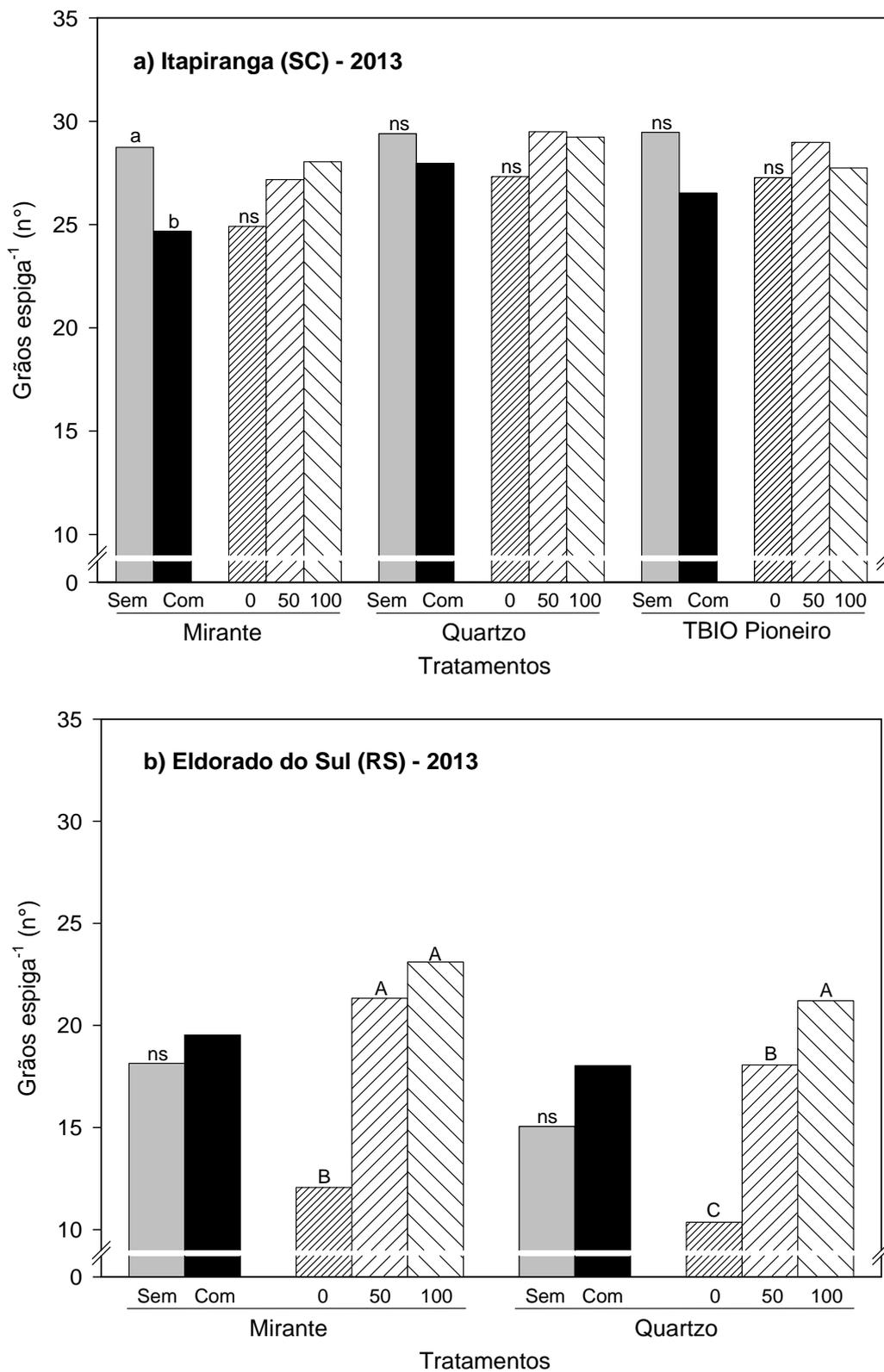


FIGURA 20. Número de grãos espiga<sup>-1</sup> de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

#### 4.5 Peso do hectolitro (PH)

O PH (peso de 100 litros de grãos de trigo) é um indicador de qualidade e rendimento no processo de extração de farinha na indústria moageira, sendo um dos principais critérios para precificação dos grãos no momento de sua comercialização (Corrêa *et al.*, 2006).

Para a análise do PH (Apêndice 9), no ano de 2012 em Itapiranga (SC), não foi observado efeito significativo dos tratamentos sobre o PH (Figura 21.a). No mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), observa-se que a realização da adubação nitrogenada afetou negativamente o peso do hectolitro em todas as cultivares testadas (Figura 21.b). Esta resposta pode estar relacionada ao aumento da incidência de doenças foliares em função da aplicação de N, reduzindo a produção de fotoassimilados durante o período de enchimento de grãos. Com relação à inoculação das sementes, na cultivar Quartzo foi observado incremento significativo do peso do hectolitro em função da inoculação de sementes (Figura 21.b).

No ano de 2013, em Itapiranga (SC), não foram observadas respostas significativas aos tratamentos na cultivar TBIO Pioneiro (Figura 22.a). Já para as cultivares Mirante e Quartzo foi verificada interação significativa dos fatores nível de inoculante e doses de N, sendo apresentados os efeitos simples de cada fator (Figura 22.a). Neste mesmo ano, em Eldorado do Sul (RS), a cultivar Quartzo apresentou redução significativa do peso do hectolitro quando submetida à inoculação de sementes (Figura 22.b). Já em relação às doses de N, houve incremento significativo do peso do hectolitro nesta cultivar quando foi disponibilizada a dose total de 100 kg N ha<sup>-1</sup>. Já para a cultivar Mirante, foi verificada significância para a interação dos fatores inoculante e doses de N, sendo apresentados os efeitos simples dos fatores (Figura 22.b).

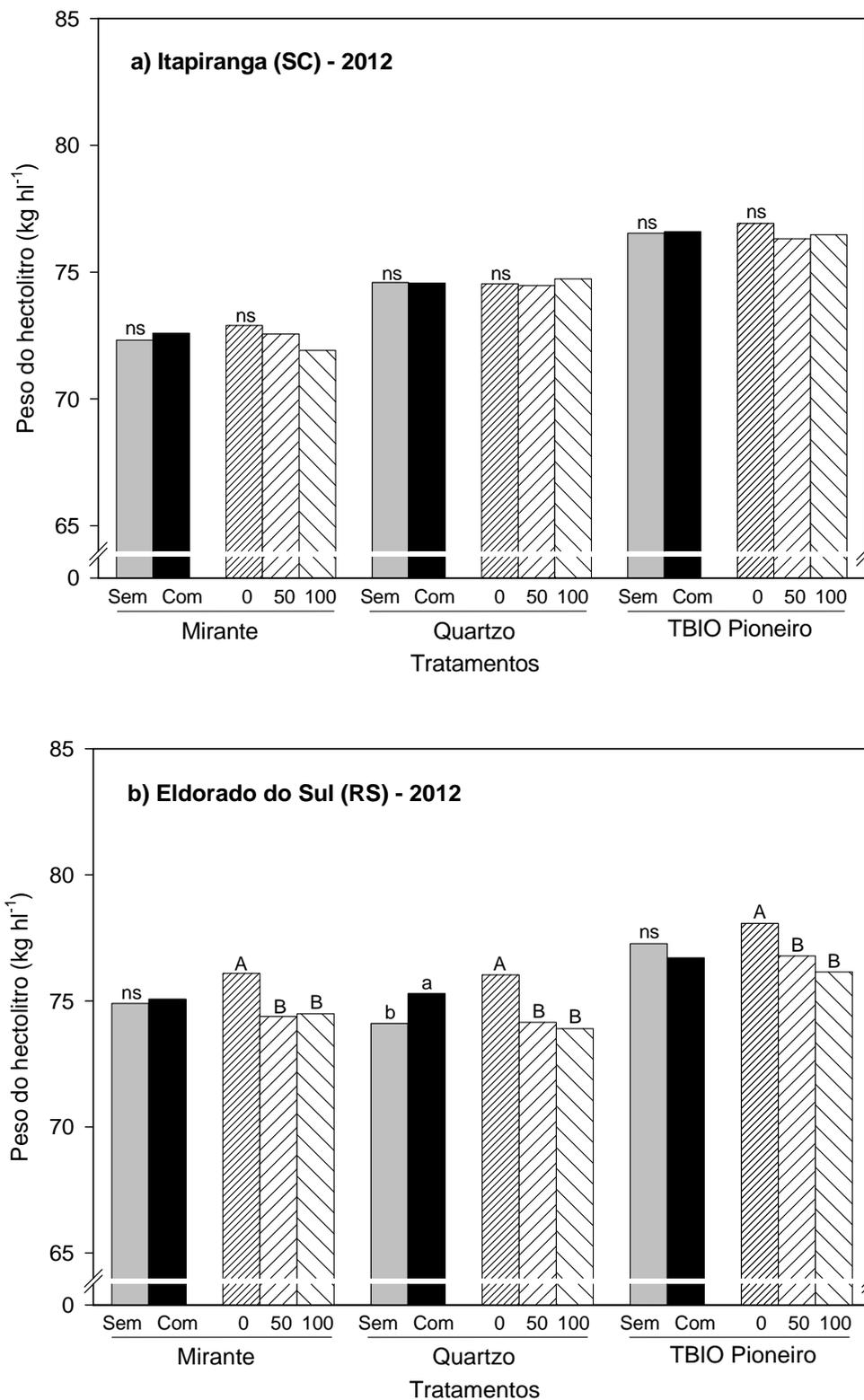


FIGURA 21. Peso do hectolitro de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2012. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

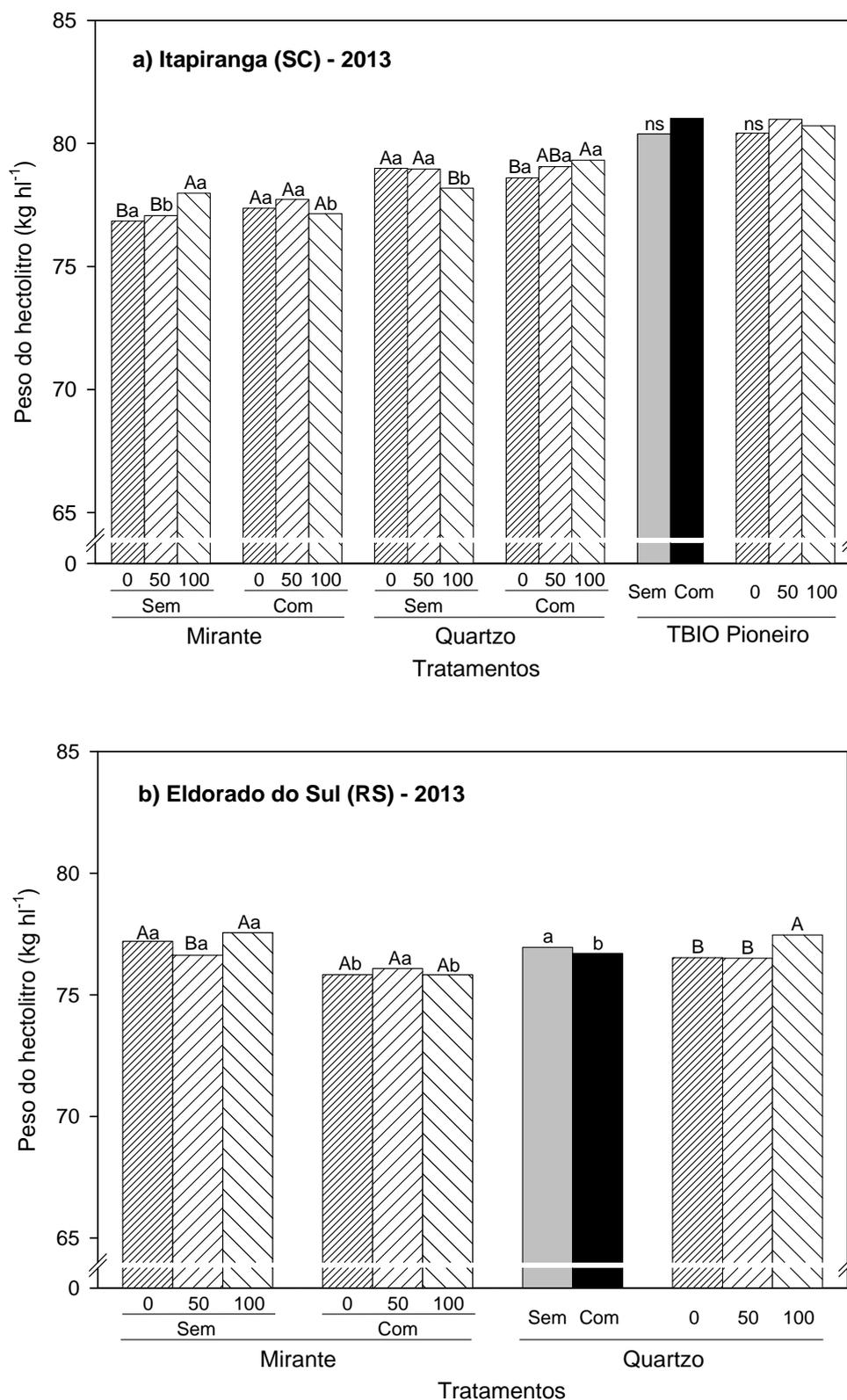


FIGURA 22. Peso do hectolitro de cultivares de trigo em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*, em Itapiranga (a) e Eldorado do Sul (b) em 2013. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo.

#### **4.6 Reflectância do dossel (NDVI) em diferentes estádios do desenvolvimento**

As propriedades ópticas do dossel, como, por exemplo, a reflectância, sofrem alterações durante o desenvolvimento da cultura, em função do estado nutricional das plantas e do estágio de desenvolvimento considerado. As variações na reflectância do dossel durante o desenvolvimento da cultura são resultado do acúmulo de biomassa na parte aérea durante o período vegetativo, sendo este acúmulo influenciado pelo estado nutricional das plantas, principalmente em relação ao nitrogênio (Grohs, 2008; Variani, 2011).

A reflectância do dossel foi avaliada com radiômetro óptico ativo Greenseeker, que fornece o valor do “Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)”. As leituras foram realizadas somente no experimento conduzido em 2013 em Eldorado do Sul (RS), nos estádios de cinco e seis folhas completamente expandidas, no florescimento da cultura e aos 10 dias após o florescimento, o que compreende o início do período de enchimento de grãos (Apêndice 10).

A Figura 23 mostra os efeitos principais de doses de N (Figura 23.a) e inoculação de sementes (Figura 23.b) sobre o NDVI na cultivar Mirante, uma vez que a interação dos fatores não foi significativa (Apêndice 9). Os valores de NDVI na cultivar Mirante nos diferentes estádios avaliados foi afetada significativamente pela disponibilidade de N (Figura 23.a). A aplicação de doses crescentes de N aumentou os valores de NDVI, em função do maior acúmulo de biomassa na parte aérea proporcionado pela maior disponibilidade de nitrogênio. Em relação à inoculação de sementes, os tratamentos com inoculante apresentaram valores de NDVI significativamente inferiores aos tratamentos sem inoculação de sementes nos três primeiros estádios avaliados (5 folhas expandidas, 6 folhas expandidas e

florescimento da cultura), sendo que, aos 10 dias após o florescimento, não foi observada diferença significativa (Figura 23.b)

Na Figura 24, é mostrada a variação do NDVI em diferentes estádios do desenvolvimento na cultivar Quartzo. Da mesma forma, o efeito principal de doses de N para a cultivar Quartzo mostra aumento significativo dos valores de NDVI em função das aplicação de doses crescentes de N (Figura 24.a). Já em relação ao efeito principal do fator inoculação, não foi observada diferença significativa no NDVI em nenhum dos estádios avaliados em função da inoculação de sementes de trigo (Figura 24.b).

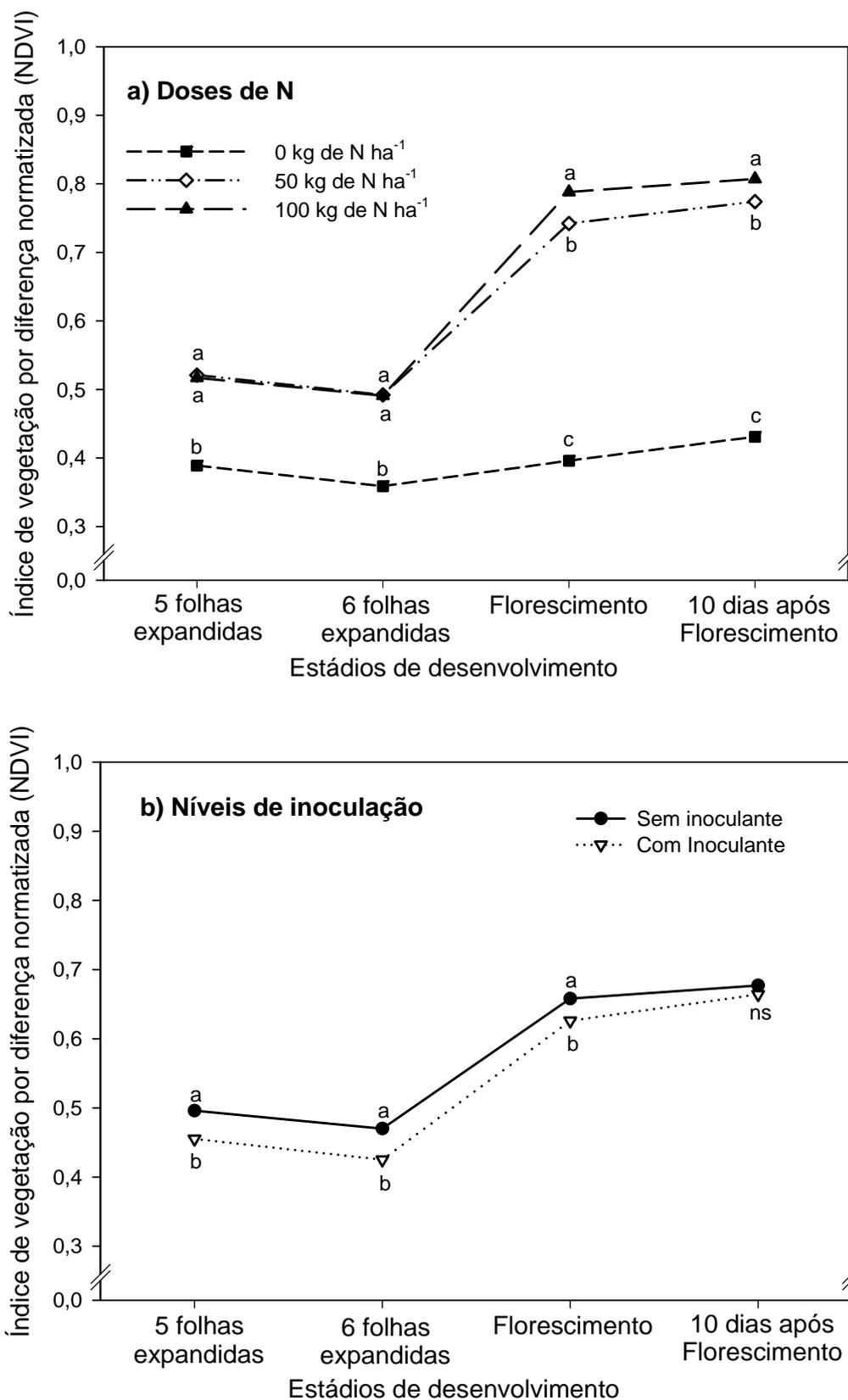


FIGURA 23. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na cultivar de trigo Mirante em diferentes estádios do desenvolvimento em função da aplicação de N (a) e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (b). Médias seguidas pela mesma letra, em cada estágio de desenvolvimento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). ns=não significativo. Eldorado do Sul (RS), 2013.

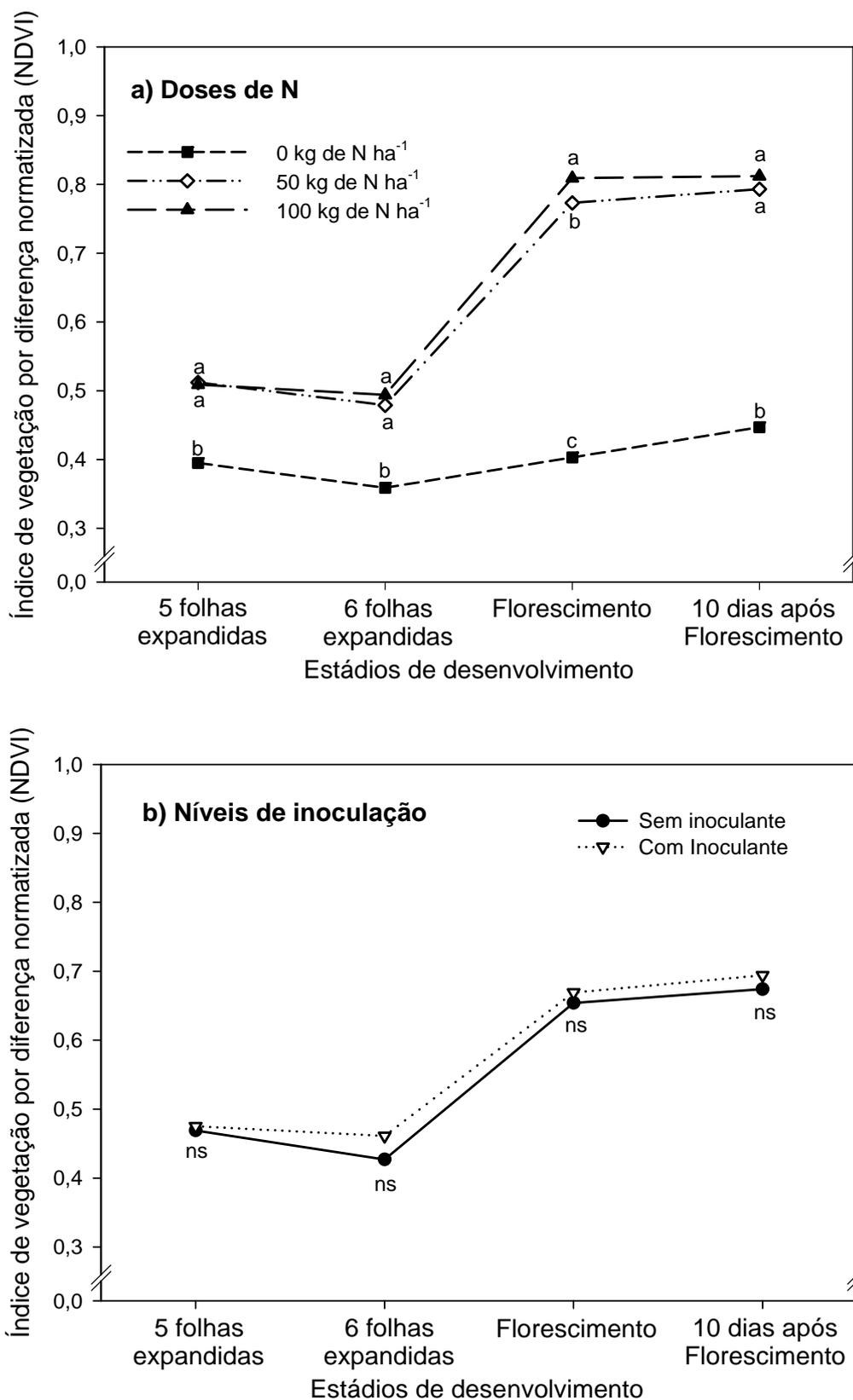


FIGURA 24. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na cultivar de trigo Quartzo em diferentes estádios do desenvolvimento em função da aplicação de N (a) e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* (b). Médias seguidas pela mesma letra, em cada estágio de desenvolvimento, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). ns=não significativo. Eldorado do Sul (RS), 2013.

#### **4.7 Teor relativo de clorofila na folha (leitura do clorofilômetro)**

Este parâmetro somente foi avaliado no experimento conduzido no ano de 2013 em Itapiranga (SC), nos estádios de seis folhas completamente expandidas e no florescimento da cultura (Apêndice 11).

Os resultados da avaliação no estádio de 6 folhas expandidas mostram que houve diferença significativa no teor relativo de clorofila na folha somente na cultivar Mirante em função de doses de N (Figura 25.a). Neste caso, a maior dose de N aplicado resultou em aumento significativo na leitura do clorofilômetro, a qual se relaciona diretamente com o teor de clorofila na folha (Rambo, 2008). Nas demais cultivares, não foi observado efeito significativo de doses de N sobre o teor relativo de clorofila na folha. Em relação ao fator inoculação, em nenhuma cultivar houve resposta significativa deste parâmetro à inoculação de sementes (Figura 25.a).

Na avaliação realizada no estádio de florescimento da cultura, também não foram observadas respostas significativas do teor de clorofila na folha à inoculação de sementes em nenhuma das três cultivares testadas (Figura 25.b). No entanto, resultados significativos foram observados em relação às doses de N para as cultivares Mirante e Quartzo, sendo que a cultivar Mirante apresentou diferença significativa em função da aplicação de N, porém não houve diferença entre as duas doses utilizadas. A cultivar Quartzo, por outro lado, apresentou diferença significativa no teor relativo de clorofila somente na maior dose de N aplicada (Figura 25.b).

Elevados teores de clorofila nas folhas se correlacionam com maior acúmulo de biomassa e conteúdo de nitrogênio foliar, tendo este relação direta com doses crescentes de N (Rambo, 2008). Desta maneira, a determinação do conteúdo relativo de clorofila na folha pelo clorofilômetro pode ser um indicador do

estado nutricional da cultura do trigo (Debaeke *et al.*, 2006; Viana, 2007). Jordão *et al.* (2010) reportaram incremento no teor relativo de clorofila em folhas de milho submetido à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense*. O mesmo foi observado em plantas de trigo, onde a inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense* promoveu aumento significativo no teor de clorofila na folha, em comparação às plantas não inoculadas (Bashan *et al.*, 2006).

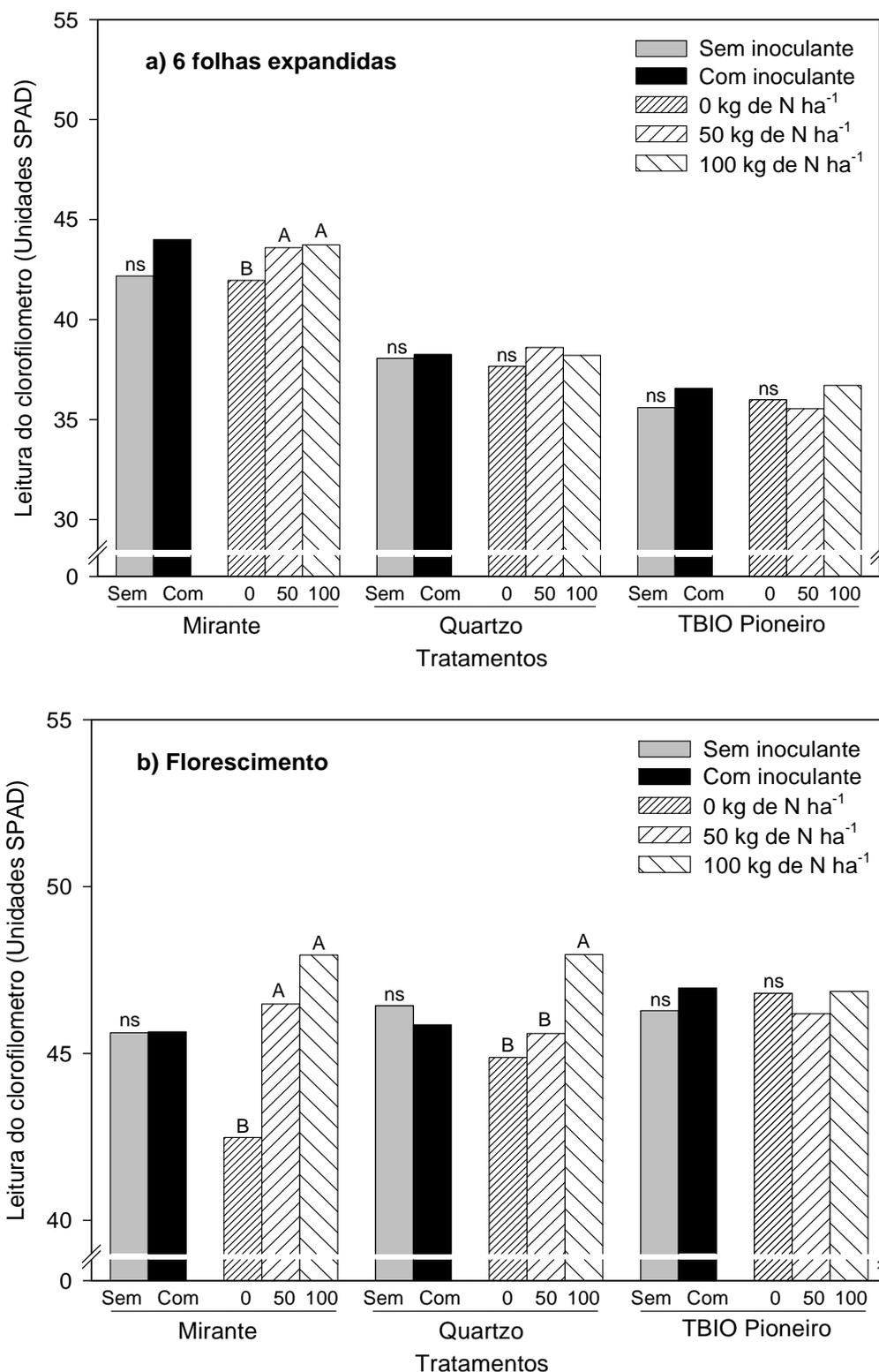


FIGURA 25. Teor relativo de clorofila na folha (leitura do clorofilômetro) em cultivares de trigo nos estádios de 6 folhas expandidas (a) e florescimento (b) em função da aplicação de N e inoculação das sementes com *Azospirillum brasilense*. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p=0,05$ ). Letras minúsculas comparam níveis de inoculante e letras maiúsculas comparam doses de N, em cada cultivar. ns=não significativo. Itapiranga (SC), 2013.

## 5 CONCLUSÕES

As respostas à inoculação das sementes de trigo com *Azospirillum brasilense*, quando ocorreram, somente foram observadas nos experimentos conduzidos em Eldorado do Sul (RS).

Os resultados apresentados no presente trabalho indicam haver relação entre a resposta ao uso da inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e o genótipo de trigo, associado ao cultivo em solo com baixo conteúdo de matéria orgânica. Neste sentido, a cultivar de trigo Mirante foi aquela que apresentou os resultados mais consistentes em relação às respostas positivas do uso de inoculante à base de *Azospirillum brasilense*. Em poucas situações houve significância estatística para a interação entre inoculação das sementes e doses de nitrogênio aplicadas, mostrando que o efeito da inoculação independe da quantidade disponibilizada de N pela adubação.

## 6 REFERÊNCIAS

ADAMI, M. et al. Effect of nitrogen and endophytic bacteria on biophysical and spectral parameters of wheat canopy. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 2, p. 544-552, 2009.

ALMEIDA, D. **Rendimento de grãos e qualidade tecnológica de trigo com aplicação de nitrogênio no emborrachamento ou florescimento**. 2012. 121f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ARZANESH, M. H. et al. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. New York, v. 27, n. 2, p. 197-205, 2010.

BAKKER M. G. et al. Harnessing the rhizosphere microbiome through plant breeding and agricultural management. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 360, n. 1-2, p. 1-13, 2012.

BALDANI, J. I. BALDANI, V. L. History on the biological nitrogen fixation research in graminaceous plants: special emphasis on the Brazilian experience. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 77, n. 3, p. 549-579, 2005.

BARBIERI, M. K. F. et al. **Nitrogênio em cobertura e inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* em trigo irrigado em sistema plantio direto**. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 7., 2013, Londrina. **Anais**. Londrina, 2013.

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G.; BASHAN, L. *Azospirillum*-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, v. 50, n. 8, p. 521-577, 2004.

BASHAN, Y. et al. Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 42, n. 4, p. 279-285, 2006.

BENIN, G. et al. Agronomic performance of wheat cultivars in response to nitrogen fertilization levels. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 34, n. 3, p. 275-283, 2012.

BERGAMASCHI, C. **Ocorrência de bactérias diazotróficas associadas às raízes e colmos de cultivares de sorgo**. 2006. 83f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Microbiologia agrícola e do ambiente, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 1992. 365 p.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 317-323, 2001.

CABALLERO-MELLADO, J.; CARCANO-MONTIEL, M. G.; MASCARUA-ESPARZA, M. A. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. **Symbiosis**, Rehovot, v. 13, p. 243-253, 1992.

CARDOSO, I. C. M. **Ocorrência e diversidade de bactérias endofíticas do gênero *Azospirillum* na cultura do arroz irrigado em Santa Catarina**. 2008. 74f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2008.

CASANOVAS, M. et al. *Azospirillum*-inoculated maize plant responses to irrigation restraints imposed during flowering. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 31, n. 3-4, p. 395-402, 2003.

CASTRO, R.O.; CANTERO, E.V.; BUCIO, J.L. Plant growth promotion by *Bacillus megaterium* involves cytokinin signalling. **Plant Signaling and Behaviour**, v. 3, n. 4, p. 263-265, 2008.

COHEN, A. C.; BOTTINI, R.; PICCOLI, P. N. *Azospirillum brasilense* Sp 245 produces ABA in chemically-defined culture medium and increases ABA content in arabidopsis plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 54, n. 2, p. 97-103, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF., v. 1, n. 4, safra 2013/2014, quarto levantamento, janeiro/2014. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 mar. 2014.

CORRÊA, P. C. et al. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 665-670, 2006.

CREUS, C. M.; SUELDO, R. J.; BARASSI, C. A. Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 82, n. 2, 273–281, 2004.

DEBAEKE, P.; ROUET, P.; JUSTES, E. Relationship between the normalized SPAD index and the nitrogen nutrition index: application to durum wheat. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 29, n. 1, p. 75-92, 2006.

DIDONET, D. A. et al. Realocação de nitrogênio e de biomassa para os grãos, em trigo submetido à inoculação de *Azospirillum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 401-411, 2000.

DIDONET, A. D.; MARTIN-DIDONET, C. C. G.; GOMES, G. F. **Avaliação de linhagens de arroz de terras altas inoculadas com *Azospirillum lipoferum* Sp59b e *A. brasilense* Sp245**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. (Comunicado Técnico Online, 69).

DOBBELAERE, S. et al. Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. **Australian Journal of Plant Physiology**, Sydney, v. 28, n. 9, p. 871-879, 2001.

DOMMELEN, V. et al. (Methyl) ammonium transport in the nitrogen-fixing bacterium *Azospirillum brasilense*. **Journal of Bacteriology**, Baltimore, v. 180, n. 10, p. 2652-2659, 1998.

EVSEEVA, N. et al. Effect of *Azospirillum brasilense* Sp245 lipopolysaccharide on the functional activity of wheat root meristematic cells. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 346, n. 1-2, p. 181-188, 2011.

FAGERIA, N. K. BARBOSA FILHO, M. P. **Identificação e correção de deficiências nutricionais na cultura do arroz**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. (Circular Técnica, 75).

FISCHER, S. E, et al. Isolation and characterization of bacteria from the rhizosphere of wheat. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 23, n. 7, p. 895-903, 2007.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo do que está por trás do que se vê**. 4. ed. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 733 p.

FOLONI, J. S. S.; BASSOI M. C. Cultivares de trigo submetidas à inoculação de sementes com *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em diferentes condições edafoclimáticas do Paraná. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 8. , 2014, Canela. **Anais**. Canela, 2014.

GARCÍA DE SALAMONE, I. E. et al. Biological nitrogen fixation in *Azospirillum* strain-maize genotype associations as evaluated by the <sup>15</sup>N isotope dilution technique. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 23, p. 249-256, 1996.

GROHS, D. S. **Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada pelo índice de vegetação por diferença normalizada**. 2008. 124f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GUIMARÃES, S. L. et al. Adição de molibdênio ao inoculante turfoso com bactérias diazotróficas usado em duas cultivares de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 393-398, 2007.

HELLRIEGEL, H.; WILFARTH, H. **Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen**. Beilageheft zu der Zeitschrift des Vereins Rübenzucker-industrie deutschen Reiches, p. 1 – 234, 1888.

HUNGRIA, M. et al. The importance of nitrogen fixation to soybean cropping in South America. In: WERNER, D.; NEWTON, W. (Ed.) **Nitrogen fixation in agriculture, forestry, ecology and the environment**. Dordrecht: Springer, 2005. p.25-42.

HUNGRIA, M. et al. Inoculation with selected strains of *Azospirillum brasilense* and *A. lipoferum* improves yields of maize and wheat in Brazil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 331, n. 1-2, p. 413-425, 2010.

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo**. Londrina: Embrapa Soja, 2011. (Documentos, 325).

ILYAS, N.; BANO, A. *Azospirillum* strains isolated from roots and rhizosphere soil of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under different soil moisture conditions. **Biology and Fertility of Soils**, New York, v. 46, n. 4, p. 393-406, 2010.

INIGUEZ, A. L.; DONG, Y.; TRIPLETT, E. W. Nitrogen fixation in wheat provided by *Klebsiella pneumoniae* 342. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, Saint Paul, v. 17, n. 10, p. 1078-1085, 2004.

IPAGRO. **Observações meteorológicas no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: IPAGRO, 1979. 272p. (Boletim Técnico, 3).

JORDÃO, L. T. et al. Teor relativo de clorofila em folhas de milho inoculado com *Azospirillum brasilense* sob diferentes doses de nitrogênio e manejo com braquiária. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais**. Viçosa: SBCS, 2010. 4 p.

KAPULNIK, Y.; OKON, Y.; HENIS, Y. Yield response of spring wheat (*Triticum aestivum*) to inoculation with *Azospirillum brasilense* under field conditions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 4, p. 27-35, 1987.

KAVADIA, A. et al. Dynamics of free-living nitrogen-fixing bacterial populations and nitrogen fixation in a two-prey–one-predator system. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 218, n. 3-4, p.323-338, 2008.

KEYEO, F.; AI'SHAH, N.; AMIR, H. G. The effect of nitrogen fixing activity and phytohormone production of diazotroph in promoting growth of rice seedlings. **Biotechnology**, Frankfurt, v. 10, n. 3, p. 267–273, 2011.

KIZILKAYA, R. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter Chroococcum* strains. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 150-156, 2008.

KLOEPPER, J. W. A review of the mechanism for plant growth promotion by PGPR. In: **Proceedings of 6th international PGPR workshop**, Kerala, India, p. 81-92, 2003.

KRAMER, E. M.; BENNETT, M. J. Auxin transport: a field in flux. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 11, n. 8, p. 382-386, 2006.

KUTMAN, U. B.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 342, n. 1-2, p. 149-164, 2011.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E ABSTECIMENTO. Instrução Normativa Nº 13, de 24 de março de 2011. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, 25 mar. 2011. Seção 1.

MELLO, N. **Inoculação de *Azospirillum brasilense* nas culturas de milho e trigo**. 2012. 95f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

MICALLEF, S. A. et al. Plant age and genotype impact the progression of bacterial community succession in the Arabidopsis rhizosphere. **Plant Signaling and Behavior**, Vancouver, v. 4, p. 777-780, 2009.

MISHRA, M. et al. Efficiency of plant growth promoting rhizobacteria for the enhancement of *Cicer arietinum* L. growth and germination under salinity. **Advances in Biology Research**, Dubai, v. 4, n. 2, p. 92-96, 2010.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão – o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2001. 83p.

MONTAÑEZ, A. et al. Biological nitrogen fixation in maize (*Zea mays* L.) by 15N isotope-dilution and identification of associated culturable diazotrophs. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 45, p. 253-263, 2009.

MOREIRA, Fátima Maria de Souza; SIQUEIRA, José Oswaldo. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006.

MORRISSEY, W. F. et al. The role of indigenous yeasts in traditional Irish cider fermentations. **Journal of Applied Microbiology**, Oxford, v. 97, n. 3, p. 647-655, 2004.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e Manejo Integrado da Lavoura de Trigo**. Porto Alegre: Editora Evangraf, 1999. 227 p.

NARULA, N. et al. Paranodules and colonization of wheat roots by phytohormone producing bacteria in soil. **Plant, Soil and Environment**, Prague, v. 52, n. 3, p. 119-129, 2006.

NOVAKOWISKI, J. H. et al. Efeito residual da adubação nitrogenada e inoculação de *Azospirillum brasilense* na cultura do milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1687-1698, 2011.

NUNES, F. S.; RAIMONDI, A. C.; NIEDWIESKI, A. C. Fixação de nitrogênio: estrutura, função e modelagem bioinorgânica das nitrogenases. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 872-879, 2003.

OLIVEIRA, A. L. M. et al. The effect of inoculating endophytic N<sub>2</sub>-fixing bacteria on micropropagated sugarcane plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 242, p. 205-215, 2002.

OLIVEIRA, A. L. M. et al. Yield of micropropagated sugarcane varieties in different soil types following inoculation with diazotrophic bacteria. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 284, n. 1-2, p. 23-32, 2006.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P. **Atlas climatológico digital do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002. (CD-ROM).

PATHMA, J.; KENNEDY, R. K.; SAKTHIVEL, N. Mechanisms of fluorescent pseudomonads that mediate biological control of phytopathogens and plant growth promotion of crop plants. In: MAHESHWARI, D. K. (Ed.). **Bacteria in agrobiolgy**: plant growth responses. Berlin: Springer, 2011. p. 77–105.

PEREIRA, J. A. R. et al. Field inoculation of sorghum and rice with *Azospirillum* spp. and *Herbaspirillum seropedicae*. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 110, p. 269-274, 1988.

PEREYRA, M. A. et al. A better water status in wheat seedlings induced by *Azospirillum* under osmotic stress is related to morphological changes in xylem vessels of the coleoptile. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 53, p. 94-97, 2012.

PERRIG, D. et al. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and implications for inoculant formulation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, Berlin, v. 75, n. 5, p. 1143–1150, 2007.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

RAJA, P. et al. Impact of bio inoculants consortium on rice root exudates, biological nitrogen fixation and plant growth. **Journal of Biological Sciences**, Adelaide, v. 6, p. 815-823, 2006.

RAMBO, L. **Integração de características de planta, de dossel e de solo para maior eficiência da adubação nitrogenada em cobertura em milho**. 2005. 178 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

REIS JUNIOR, F. B. et al. Ocorrência de bactérias diazotróficas em diferentes genótipos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 985-994, 2000.

REIS, V. M. et al. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, p. 432, 2006.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2013**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), 2013. 220 p.

RODRIGUES, E. P. et al. *Azospirillum amazonense* inoculation: effects on growth, yield and N<sub>2</sub> fixation of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 302, p. 249-261, 2008.

ROESCH, L. F. et al. Reinoculação de bactérias diazotróficas aumentando o crescimento de plantas de trigo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1201-1204, 2005.

ROESCH L. F. W. et al. Charavterization of diazotrophic bacteria associated with maize: effect of plant genotype, ontogeny and nitrogen supply. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, New York, v. 22, n. 9, p. 967-974, 2006.

ROUSE, J.W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In: THIRD Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Washington, D.C.: NASA, 1974. Volume I: Technical Presentations. p.309-317. (compiled and edited by Stanley C. Freden, Enrico P. Mercanti, and Margaret A. Becker)

SALA, V. M. R. et al. Resposta de genótipos de trigo à inoculação de bactérias diazotróficas em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 833-842, 2007.

SALA, V. M. R. et al. Novas bactérias diazotróficas endofíticas na cultura do trigo em interação com a adubação nitrogenada no campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1099-1106, 2008.

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen in non-legume plants. **Annals of Botany**, London, v. 111, n. 5, p. 743-767, 2013.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SALEEM, M. et al. Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology**, Hampshire, v. 34, n. 10, p. 635-648, 2007.

SAUBIDET, M. I.; FATTA, N.; BARNEIX, A. J. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 245, n. 2, p. 215-222, 2002.

SCHER, F.M.; BAKER, R. Effect of *Pseudomonas putida* and a synthetic iron chelator on induction of soil suppressiveness to *Fusarium* wilt Pathogens. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 72, p. 1567-1573, 1982.

SESSITSCH, A. et al. Advances in *Rhizobium* research. **Critical Reviews in Plant Science**, Abingdom, v. 21, p. 323-378, 2002.

SILVEIRA, L. **Montagem e anotação parcial da sequência genômica da bactéria diazotrófica *Azospirillum brasilense* fp2**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Bioinformática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

STURZ, A.V.; CHRISTIE, B.R.; NOWAK, J. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. **Critical Reviews of Plant Sciences**, Boca Raton, v. 19, p. 1-30, 2000.

SYLVIA, D. M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. New Jersey: Printice Hall, 1998. 550p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p.918.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. – 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

USDA-United States Department of Agriculture. **Oferta e demanda mundial de trigo**. Disponível em: <[http:// www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx](http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx)>. Acesso em: 06 dez. 2013.

VARIANI, C. **Sensor óptico ativo como ferramenta para aplicação de nitrogênio na cultura do trigo**. 2011. 110f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

VERESOGLOU, S. D.; MENEZES, G. Impact of inoculation with *Azospirillum* spp. on growth properties and seed yield of wheat: a meta-analysis of studies in the ISI Web of Science from 1981 to 2008. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 337, n. 1-2, p. 469-480, 2010.

VIANA, E. M. **Interação de nitrogênio na nutrição, no teor de clorofila e na atividade da redutase do nitrato em plantas de trigo**. 2007. 95f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

WALKER, V. et al. Host plant secondary metabolite profiling shows a complex, strain-dependent response of maize to plant growth-promoting rhizobacteria of the genus *Azospirillum*. **New Phytologist**, Cambridge, v. 189, p. 494-506, 2011.

WENDLING, A. **Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai.** 2005. 124f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

WENDLING, A. et al. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 985-994, 2007.

ZORITA, M. D.; CANIGIA, M. V. F. Field performance of a liquid formulation of *Azospirillum brasilense* on dryland wheat productivity. **European Journal of Soil Biology**, Montrouge, v. 45, n. 1, p. 3-11, 2008.

## 7 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Quadrados médios obtidos na análise de variância da biomassa seca e nitrogênio acumulado na parte aérea das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em Eldorado do Sul (RS), 2013.

### a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	4	16958,38 <sup>ns</sup>	5,70 <sup>ns</sup>	686078,93 <sup>ns</sup>	294,64 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	22372,86 <sup>ns</sup>	2,03 <sup>ns</sup>	167419,13 <sup>ns</sup>	168,29 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	12883,95	13,96	131684,55	195,50
CV(%) <sup>1</sup>		21,64	25,27	7,90	17,04
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	288379,54 <sup>**</sup>	249,70 <sup>**</sup>	5247827,84 <sup>**</sup>	12343,89 <sup>**</sup>
I x N	2	4786,37 <sup>ns</sup>	6,41 <sup>ns</sup>	212903,13 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	7661,32	4,06	316142,50	271,91
CV(%) <sup>1</sup>		16,69	13,62	12,23	20,09

### b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	4	5992,46 <sup>ns</sup>	4,51 <sup>ns</sup>	155034,67 <sup>ns</sup>	134,47 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	95370,39 <sup>ns</sup>	65,52 <sup>ns</sup>	224051,11 <sup>ns</sup>	1512,90*
Resíduo (a)	4	17170,32	16,07	118513,84	100,05
CV(%) <sup>1</sup>		21,05	25,20	7,74	11,21
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	364557,72 <sup>**</sup>	294,14 <sup>**</sup>	3255020,06 <sup>**</sup>	13559,32 <sup>**</sup>
I x N	2	1455,01 <sup>ns</sup>	3,64 <sup>ns</sup>	92906,98 <sup>ns</sup>	672,06*
Resíduo (b)	16	12780,85	10,84	178529,12	118,87
CV(%) <sup>1</sup>		18,16	20,70	9,50	12,22

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 2. Quadrados médios obtidos na análise de variância da biomassa seca e nitrogênio acumulado na parte aérea das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, em Itapiranga (SC), 2013.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	3	24877,46 <sup>ns</sup>	136,30 <sup>ns</sup>	981323,39 <sup>ns</sup>	638,64 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	53430,41 <sup>ns</sup>	11,97 <sup>ns</sup>	1549196,91 <sup>ns</sup>	1366,45 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	33558,58	63,01	313734,35	305,49
CV(%) <sup>1</sup>		22,98	24,51	7,20	11,49
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	32281,94 <sup>ns</sup>	113,17*	5831847,44**	9196,97**
I x N	2	10012,49 <sup>ns</sup>	19,68 <sup>ns</sup>	1256665,15 <sup>ns</sup>	730,13 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	9675,79	24,49	807826,53	672,72
CV(%) <sup>1</sup>		12,34	15,28	11,55	17,05

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	3	11437,82 <sup>ns</sup>	28,78 <sup>ns</sup>	1106721,77 <sup>ns</sup>	1081,48 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	13085,34 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	1379137,93 <sup>ns</sup>	1189,38 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	13500,66	33,74	538910,03	524,33
CV(%) <sup>1</sup>		15,68	18,70	10,98	14,61
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	23237,52 <sup>ns</sup>	70,88 <sup>ns</sup>	12871172,03**	17269,27**
I x N	2	1972,88 <sup>ns</sup>	11,60 <sup>ns</sup>	849781,15 <sup>ns</sup>	483,55 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	21389,93	30,98	1198273,95	840,42
CV(%) <sup>1</sup>		19,73	17,92	16,38	18,49

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	3	8713,04 <sup>ns</sup>	34,67 <sup>ns</sup>	2391164,49 <sup>ns</sup>	2969,75 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	56803,74 <sup>ns</sup>	5,73 <sup>ns</sup>	1946437,13 <sup>ns</sup>	1236,40 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	11060,84	22,44	2702640,82	1516,35
CV(%) <sup>1</sup>		13,81	16,61	21,22	25,45
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	7164,13 <sup>ns</sup>	17,91 <sup>ns</sup>	27895678,22**	19216,71**
I x N	2	17145,98 <sup>ns</sup>	29,10 <sup>ns</sup>	235999,69 <sup>ns</sup>	1538,04 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	24789,16	68,34	701761,92	1065,93
CV(%) <sup>1</sup>		20,67	28,98	10,81	21,34

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 3. Quadrados médios obtidos na análise de variância da biomassa seca e nitrogênio acumulado na parte aérea das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, em Eldorado do Sul (RS), 2012.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estádio V6	N acum. estádio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	4	97082,29*	78,36 <sup>ns</sup>	1383252,53 <sup>ns</sup>	1144,16 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	10693,63 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	1406600,53 <sup>ns</sup>	267,39 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	12468,21	34,49	1354164,53	468,44
CV(%) <sup>1</sup>		13,54	24,82	24,94	24,90
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	199928,27*	208,16*	12109032,53**	11707,09**
I x N	2	45567,70 <sup>ns</sup>	66,45 <sup>ns</sup>	200251,73 <sup>ns</sup>	186,72 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	42495,76	45,47	1025064,13	616,90
CV(%) <sup>1</sup>		25,00	28,50	21,70	28,58

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estádio V6	N acum. estádio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	4	31354,71 <sup>ns</sup>	27,34 <sup>ns</sup>	1054330,13 <sup>ns</sup>	517,35 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	311,48 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	967684,80 <sup>ns</sup>	1675,75 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	12087,06	37,52	415687,47	293,24
CV(%) <sup>1</sup>		12,33	23,73	16,60	20,25
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	174714,51**	331,33**	10207293,33**	10115,00**
I x N	2	8752,51 <sup>ns</sup>	6,63 <sup>ns</sup>	1274270,40 <sup>ns</sup>	867,41*
Resíduo (b)	16	15847,34	15,59	508709,20	209,40
CV(%) <sup>1</sup>		14,12	15,29	18,37	17,11

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estádio V6	N acum. estádio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	4	19838,58 <sup>ns</sup>	64,34*	-	-
Inoculante (I)	1	8217,08 <sup>ns</sup>	158,41*	-	-
Resíduo (a)	4	6674,82	7,57	-	-
CV(%) <sup>1</sup>		9,57	10,56	-	-
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	363703,61**	463,21**	-	-
I x N	2	43606,08*	39,72 <sup>ns</sup>	-	-
Resíduo (b)	16	8628,41	17,56	-	-
CV(%) <sup>1</sup>		10,88	16,08	-	-

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 4. Quadrados médios obtidos na análise de variância da biomassa seca e nitrogênio acumulado na parte aérea das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, em Itapiranga (SC), 2012.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	3	6931,01 <sup>ns</sup>	24,18 <sup>ns</sup>	1785113,78 <sup>ns</sup>	204,08 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	7193,63 <sup>ns</sup>	6,89 <sup>ns</sup>	283467,87 <sup>ns</sup>	239,84 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	16717,04	52,07	348720,98	153,98
CV(%) <sup>1</sup>		13,60	17,09	9,03	8,06
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	39987,71 <sup>ns</sup>	151,29 <sup>ns</sup>	494150,72 <sup>ns</sup>	5749,93 <sup>**</sup>
I x N	2	2548,51 <sup>ns</sup>	37,88 <sup>ns</sup>	641503,52 <sup>ns</sup>	279,58 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	24330,88	73,95	474945,96	253,63
CV(%) <sup>1</sup>		16,41	20,37	10,54	10,35

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	3	6967,12 <sup>ns</sup>	17,61 <sup>ns</sup>	283070,22 <sup>ns</sup>	293,09 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	23914,91*	227,70 <sup>ns</sup>	137410,67 <sup>ns</sup>	6,16 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	1414,87	27,03	334596,44	688,60
CV(%) <sup>1</sup>		3,44	10,24	9,56	16,31
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	40230,62 <sup>ns</sup>	230,77*	296008,67 <sup>ns</sup>	5738,67*
I x N	2	1230,13 <sup>ns</sup>	15,20 <sup>ns</sup>	1544512,67 <sup>ns</sup>	1672,63 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	12430,36	57,54	747794,00	1162,02
CV(%) <sup>1</sup>		10,21	14,94	14,29	21,19

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Biomassa estágio V6	N acum. estágio V6	Biomassa Flor.	N acum. Flor.
Parcela principal					
Blocos	3	73299,67*	213,08 <sup>ns</sup>	330070,22 <sup>ns</sup>	191,73 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	55372,83*	120,49 <sup>ns</sup>	1655850,67*	186,59 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	3786,96	28,84	87422,22	325,63
CV(%) <sup>1</sup>		7,09	12,93	4,74	11,68
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	26880,73 <sup>ns</sup>	115,80 <sup>ns</sup>	499080,67 <sup>ns</sup>	2194,66*
I x N	2	3347,21 <sup>ns</sup>	6,50 <sup>ns</sup>	1201468,67 <sup>ns</sup>	1341,31 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	11945,87	47,23	387054,22	544,98
CV(%) <sup>1</sup>		12,60	16,55	9,98	15,11

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 5. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos e componentes de rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em Eldorado do Sul (RS), 2013.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	4	205654,97 <sup>NS</sup>	120,88**	9,10 <sup>NS</sup>	1,72 <sup>NS</sup>
Inoculante (I)	1	72272,07 <sup>NS</sup>	66374,50*	66,16 <sup>NS</sup>	12,03**
Resíduo (a)	4	138398,06	3815,33	12,87	0,41
CV(%) <sup>1</sup>		12,10	13,61	21,68	1,60
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	20760181,77**	20976,33**	311,10**	52,03**
I x N	2	2559,92 <sup>NS</sup>	12476,34*	3,85 <sup>NS</sup>	1,57 <sup>NS</sup>
Resíduo (b)	16	57052,21	3306,84	4,96	0,57
CV(%) <sup>1</sup>		7,77	12,67	13,46	1,88

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	4	36265,02 <sup>NS</sup>	691,87 <sup>NS</sup>	1,25 <sup>NS</sup>	0,44 <sup>NS</sup>
Inoculante (I)	1	216937,89 <sup>NS</sup>	17120,37**	14,55 <sup>NS</sup>	1,95 <sup>NS</sup>
Resíduo (a)	4	99105,16	662,04	3,85	1,40
CV(%) <sup>1</sup>		9,10	6,76	10,42	2,54
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	25485883,45**	22009,26**	351,64**	99,44**
I x N	2	110863,26 <sup>NS</sup>	132,72 <sup>NS</sup>	5,27 <sup>NS</sup>	3,56 <sup>NS</sup>
Resíduo (b)	16	56847,74	2234,82	4,71	1,33
CV(%) <sup>1</sup>		6,89	12,42	11,52	2,47

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>NS</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 6. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos e componentes de rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, em Itapiranga (SC), 2013.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	3	404739,89 <sup>ns</sup>	7193,81 <sup>ns</sup>	57,48 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	62165,09 <sup>ns</sup>	3139,82 <sup>ns</sup>	12,44 <sup>ns</sup>	7,69 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	97605,45	2634,03	6,68	0,95
CV(%) <sup>1</sup>		5,94	10,24	9,01	2,64
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	3540842,64 <sup>**</sup>	21400,11 <sup>**</sup>	11,29 <sup>ns</sup>	0,70 <sup>ns</sup>
I x N	2	54557,92 <sup>ns</sup>	85,22 <sup>ns</sup>	2,95 <sup>ns</sup>	0,60 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	105837,70	2716,69	10,40	0,46
CV(%) <sup>1</sup>		6,18	10,40	11,24	1,84

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	3	462989,08 <sup>ns</sup>	6375,33 <sup>ns</sup>	7,76 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	502413,45 <sup>ns</sup>	11164,94 <sup>ns</sup>	98,94 <sup>*</sup>	2,40 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	88756,06	3162,89	5,83	0,99
CV(%) <sup>1</sup>		5,48	11,43	9,04	2,39
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	4803660,63 <sup>**</sup>	17479,82 <sup>**</sup>	20,91 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>
I x N	2	313495,32 <sup>ns</sup>	3173,78 <sup>ns</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	350620,22	2382,84	10,67	0,77
CV(%) <sup>1</sup>		10,89	9,92	12,23	2,11

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	3	517363,96 <sup>ns</sup>	4590,54 <sup>ns</sup>	11,50 <sup>ns</sup>	0,68 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	200060,94 <sup>ns</sup>	12559,27 <sup>ns</sup>	51,61 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	170632,59	4717,85	16,78	0,70
CV(%) <sup>1</sup>		7,88	12,64	14,63	2,40
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	5274240,85 <sup>**</sup>	53203,26 <sup>**</sup>	6,24 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
I x N	2	138014,67 <sup>ns</sup>	8605,03 <sup>ns</sup>	19,62 <sup>ns</sup>	2,63 <sup>*</sup>
Resíduo (b)	12	114813,76	3113,12	12,40	0,58
CV(%) <sup>1</sup>		6,46	10,27	12,58	2,18

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

<sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

<sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 7. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos e componentes de rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, em Eldorado do Sul (RS), 2012.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	4	450590,17*	1681,53 <sup>ns</sup>	12,99 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	75482,47 <sup>ns</sup>	14003,20 <sup>ns</sup>	4,89 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	29254,03	2143,35	6,69	1,50
CV(%) <sup>1</sup>		6,69	10,79	15,01	3,52
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	1212545,88**	13314,59*	10,41 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>
I x N	2	50522,52 <sup>ns</sup>	897,58 <sup>ns</sup>	6,60 <sup>ns</sup>	6,38 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	36950,03	2571,90	6,55	1,88
CV(%) <sup>1</sup>		7,52	11,82	14,85	3,93

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	4	20053,01 <sup>ns</sup>	4882,26*	3,10 <sup>ns</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	222084,38**	4850,93*	0,64 <sup>ns</sup>	7,82 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	9202,59	368,77	2,00	3,93
CV(%) <sup>1</sup>		3,87	4,88	9,06	4,86
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	3777333,56**	14278,93**	91,62**	4,93 <sup>ns</sup>
I x N	2	25527,43 <sup>ns</sup>	3864,66 <sup>ns</sup>	22,15*	10,76 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	32253,33	2143,35	4,49	3,17
CV(%) <sup>1</sup>		7,24	11,77	13,58	4,36

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	4	276631,16*	9060,81 <sup>ns</sup>	2,13 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	32121,09 <sup>ns</sup>	201,65 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	28268,78	2188,38	2,50	0,84
CV(%) <sup>1</sup>		6,53	11,08	8,78	2,69
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	3510977,21**	19295,37*	60,16*	4,24 <sup>ns</sup>
I x N	2	5586,45 <sup>ns</sup>	2083,67 <sup>ns</sup>	4,05 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	54169,92	3701,07	12,29	1,68
CV(%) <sup>1</sup>		9,04	14,41	19,45	3,80

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 8. Quadrados médios obtidos na análise de variância do rendimento de grãos e componentes de rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro, em Itapiranga (SC), 2012.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	3	171092,45 <sup>ns</sup>	3962,50 <sup>ns</sup>	21,25*	0,41 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	155284,59 <sup>ns</sup>	456,29 <sup>ns</sup>	14,82*	0,58 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	62678,33	2665,85	1,12	0,75
CV(%) <sup>1</sup>		6,92	11,80	3,92	2,83
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	351870,77 <sup>ns</sup>	276,96 <sup>ns</sup>	32,23 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>
I x N	2	29919,05 <sup>ns</sup>	3700,95 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>ns</sup>	1,68 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	262394,77	4717,57	11,94	0,66
CV(%) <sup>1</sup>		14,17	15,69	12,81	2,65

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	3	488389,61 <sup>ns</sup>	4554,01 <sup>ns</sup>	39,77 <sup>ns</sup>	1,66 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	350900,17 <sup>ns</sup>	635,81 <sup>ns</sup>	49,69 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	76611,13	5180,22	6,86	0,32
CV(%) <sup>1</sup>		7,70	16,74	9,53	1,86
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	467366,58 <sup>ns</sup>	2795,56 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>ns</sup>	0,69 <sup>ns</sup>
I x N	2	5909,9 <sup>ns</sup>	484,43 <sup>ns</sup>	52,10*	0,72 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	134245,25	3569,00	3,70	0,41
CV(%) <sup>1</sup>		10,20	13,89	6,99	2,12

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Rendimento de grãos	Espigas m <sup>-2</sup>	Grãos espiga <sup>-1</sup>	Peso de 1000 grãos
Parcela principal					
Blocos	3	134194,30 <sup>ns</sup>	1049,96 <sup>ns</sup>	30,47 <sup>ns</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	61904,88 <sup>ns</sup>	2249,50 <sup>ns</sup>	2,17 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	3	209978,42	1434,42	27,30	0,37
CV(%) <sup>1</sup>		14,34	9,96	18,42	1,98
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	65898,81 <sup>ns</sup>	7984,79 <sup>ns</sup>	3,95 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>
I x N	2	289542,49*	15519,39*	35,54 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	72672,73	2967,97	11,36	0,52
CV(%) <sup>1</sup>		8,44	14,33	11,88	2,36

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 9. Quadrados médios obtidos na análise de variância do peso do hectolitro das cultivares de trigo Quartzo, Mirante e TBIO Pioneiro.

a) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Itapiranga-SC (2012)	Itapiranga-SC (2013)	Eldorado do Sul-RS (2012)	Eldorado do Sul-RS (2013)
Parcela principal					
Blocos	3	1,206 <sup>ns</sup>	0,327 <sup>ns</sup>	4,646 <sup>ns</sup>	0,099 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	0,004 <sup>ns</sup>	0,468 <sup>ns</sup>	10,657*	0,456*
Resíduo (a)	3	0,555	0,065	0,875	0,049
CV(%) <sup>1</sup>		1,0	0,32	1,25	0,29
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	0,150 <sup>ns</sup>	0,149 <sup>ns</sup>	13,579**	2,968**
I x N	2	0,437 <sup>ns</sup>	1,189**	0,574 <sup>ns</sup>	0,114 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	12	0,460	0,117	1,395	0,179
CV(%) <sup>1</sup>		0,91	0,43	1,58	0,55

b) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Itapiranga-SC (2012)	Itapiranga-SC (2013)	Eldorado do Sul-RS (2012)	Eldorado do Sul-RS (2013)
Parcela principal					
Blocos	3	10,135**	0,547 <sup>ns</sup>	1,654 <sup>ns</sup>	0,352 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	0,431 <sup>ns</sup>	0,081 <sup>ns</sup>	0,212 <sup>ns</sup>	11,073*
Resíduo (a)	3	0,061	0,093	1,388	0,574
CV(%) <sup>1</sup>		0,34	0,39	1,57	0,99
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	1,976 <sup>ns</sup>	0,421 <sup>ns</sup>	9,195**	0,267 <sup>ns</sup>
I x N	2	0,377 <sup>ns</sup>	1,358**	0,395 <sup>ns</sup>	0,922**
Resíduo (b)	12	0,674	0,166	0,782	0,118
CV(%) <sup>1</sup>		1,13	0,53	1,18	0,45

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Itapiranga-SC (2012)	Itapiranga-SC (2013)	Eldorado do Sul-RS (2012)	Eldorado do Sul-RS (2013)
Parcela principal					
Blocos	3	0,835 <sup>ns</sup>	0,173 <sup>ns</sup>	1,756 <sup>ns</sup>	-
Inoculante (I)	1	0,036 <sup>ns</sup>	2,422 <sup>ns</sup>	2,321 <sup>ns</sup>	-
Resíduo (a)	3	0,685	0,274	0,422	-
CV(%) <sup>1</sup>		1,08	0,65	0,84	-
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	0,790 <sup>ns</sup>	0,641 <sup>ns</sup>	9,658**	-
I x N	2	0,130 <sup>ns</sup>	0,062 <sup>ns</sup>	0,612 <sup>ns</sup>	-
Resíduo (b)	12	0,260	0,195	0,664	-
CV(%) <sup>1</sup>		0,67	0,55	1,06	-

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

\* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

\*\* Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 10. Quadrados médios obtidos na análise de variância do NDVI em diferentes estádios de desenvolvimento do trigo nas cultivares Mirante e Quartzo, em Eldorado do Sul (RS), 2013.

a) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Estádio V5	Estádio V6	Florescimento	10 dias após florescimento
Parcela principal					
Blocos	4	0,00092 <sup>ns</sup>	0,00082 <sup>ns</sup>	0,00054 <sup>ns</sup>	0,00028 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	0,01240 <sup>**</sup>	0,01541 <sup>*</sup>	0,00768 <sup>*</sup>	0,00133 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	0,00039	0,00172	0,00057	0,00018
CV(%) <sup>1</sup>		4,18	9,28	3,72	2,02
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	0,05637 <sup>**</sup>	0,05852 <sup>**</sup>	0,45916 <sup>**</sup>	0,43352 <sup>**</sup>
I x N	2	0,00025 <sup>ns</sup>	0,00082 <sup>ns</sup>	0,00076 <sup>ns</sup>	0,00012 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	0,00034	0,00083	0,00052	0,00044
CV(%) <sup>1</sup>		3,87	6,45	3,55	3,14

b) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Estádio V5	Estádio V6	Florescimento	10 dias após florescimento
Parcela principal					
Blocos	4	0,00364 <sup>ns</sup>	0,00259 <sup>ns</sup>	0,00170 <sup>ns</sup>	0,00084 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	0,00021 <sup>ns</sup>	0,00833 <sup>ns</sup>	0,00176 <sup>ns</sup>	0,00300 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	0,00091	0,00161	0,00066	0,00081
CV(%) <sup>1</sup>		6,37	9,03	3,89	
Subparcela					
Nitrogênio (N)	2	0,04449 <sup>**</sup>	0,05475 <sup>**</sup>	0,50505 <sup>**</sup>	0,42217 <sup>**</sup>
I x N	2	0,00226 <sup>ns</sup>	0,00042 <sup>ns</sup>	0,00289 <sup>ns</sup>	0,00229 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	0,00077	0,00114	0,00081	0,00084
CV(%) <sup>1</sup>		5,89	7,61	4,29	

<sup>1</sup> Coeficiente de variação

<sup>ns</sup> Não significativo

<sup>\*</sup> Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade

<sup>\*\*</sup> Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade

APÊNDICE 11. Quadrados médios obtidos na análise de variância do teor relativo de clorofila no estágio V6 e florescimento do trigo nas cultivares Mirante, Quartzo e TBIO Pioneiro, em Itapiranga (SC), 2013.

a) Cultivar Mirante

Causas de variação	Graus de liberdade	Estádio V6	Florescimento
Parcela principal			
Blocos	4	5,69944 <sup>ns</sup>	2,99111*
Inoculante (I)	1	19,80167 <sup>ns</sup>	0,00667 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	3,00611	0,13111
CV(%) <sup>1</sup>		4,02	0,79
Subparcela			
Nitrogênio (N)	2	7,68792**	64,20167**
I x N	2	1,93792 <sup>ns</sup>	7,43167 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	0,92736	3,70111
CV(%) <sup>1</sup>		2,23	4,22

b) Cultivar Quartzo

Causas de variação	Graus de liberdade	Estádio V6	Florescimento
Parcela principal			
Blocos	4	2,78278 <sup>ns</sup>	8,36819 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	0,24000 <sup>ns</sup>	1,98375 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	5,33000	1,16375
CV(%) <sup>1</sup>		6,05	2,34
Subparcela			
Nitrogênio (N)	2	1,77542 <sup>ns</sup>	20,85292**
I x N	2	0,80375 <sup>ns</sup>	0,23625 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	1,91681	1,88181
CV(%) <sup>1</sup>		3,63	2,97

c) Cultivar TBIO Pioneiro

Causas de variação	Graus de liberdade	Estádio V6	Florescimento
Parcela principal			
Blocos	4	8,45486 <sup>ns</sup>	5,31111 <sup>ns</sup>
Inoculante (I)	1	5,51042 <sup>ns</sup>	2,80167 <sup>ns</sup>
Resíduo (a)	4	2,15708	0,69500
CV(%) <sup>1</sup>		4,07	1,79
Subparcela			
Nitrogênio (N)	2	2,81167 <sup>ns</sup>	1,11292 <sup>ns</sup>
I x N	2	3,82167 <sup>ns</sup>	0,09042 <sup>ns</sup>
Resíduo (b)	16	2,26556	1,46056
CV(%) <sup>1</sup>		4,17	2,59

## **8 VITA**

Neuri Antonio Feldmann é filho de Afonso Roque Feldmann e Mercedes Teresinha Feldmann. Nasceu em São Lourenço do Oeste – SC, em 23 de fevereiro de 1988.

Cursou o primeiro grau na Escola de Educação Básica São Bernardino, em São Bernardino – SC. O segundo grau cursou na Escola de Educação Básica São Bernardino, em São Bernardino – SC.

Em 2007, ingressou no Curso de Agronomia da SEI - FAI Faculdade de Itapiranga, em Itapiranga – SC, onde graduou-se Bacharel em Agronomia no ano de 2012.

Em 2012, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em Porto Alegre – RS.