

MANEJO NUTRICIONAL DA CULTURA DO TRIGO

Fabiano Daniel De Bona¹

Cláudia De Mori²

Sirio Wiethölter³

1. INTRODUÇÃO

Embora o Brasil seja aclamado como potência global na produção agrícola, o país ainda é fortemente dependente das importações de trigo, cujos montantes podem superar facilmente 50% do consumo nacional em determinados anos. Em termos de sistemas de produção agrícola, o trigo é uma excelente opção de cultivo para o período invernal, pois agrega diversificação ao sistema de rotação de culturas e gera receitas com a produção de grãos. Similar às demais grandes culturas agrícolas comerciais, como soja, milho e cana-de-açúcar, os custos de produção do trigo são muito dependentes do uso de corretivos de acidez do solo e dos fertilizantes aplicados na lavoura. Por outro lado, sabe-se que esses insumos contribuem de forma efetiva para o aumento da produção da cultura do trigo. Nesse contexto, salienta-se a importância de se buscar continuamente aumentos da eficiência de uso de nutrientes por meio do conhecimento detalhado das demandas nutricionais da planta de trigo e da melhoria das práticas de manejo adotadas na lavoura tritícola. O presente artigo objetiva apresentar, de forma clara e resumida, aspectos fundamentais da nutrição mineral do trigo e o respectivo manejo preconizado para a cultura no campo.

2. ASPECTOS PRODUTIVOS, ECONÔMICOS E CUSTOS DE PRODUÇÃO DA CULTURA DO TRIGO

2.1. Produção mundial e brasileira de trigo

O trigo possui grande relevância na dieta alimentar e é cultivado em ampla gama de ambientes e regiões geográficas. O cereal ocupa mais de 17% da terra cultivável no mundo e representa aproximadamente 30% da produção mundial de grãos. Segundo dados do USDA (2016), no período de 2012 a 2016, a área média anual cultivada de trigo no mundo era de aproximadamente 220 milhões de hectares (Tabela 1)¹. Com rendimento médio superior a 3.200 kg ha⁻¹ de grãos, a produção mundial superou os 700 milhões de toneladas a partir de 2013/2014, atingindo 734 milhões de toneladas na safra 2015/2016. A produção mundial de trigo concentra-se no hemisfério norte, em especial nos continentes asiático e europeu. No período de 2012-2016, os principais países/blocos produtores de trigo no mundo, responsáveis por mais de 60% da produção mundial, foram União Europeia, China, Índia, EUA e Rússia. A produção brasileira corresponde a cerca de 0,75% da produção mundial.

¹ Valores calculados com base em dados do USDA (2016).

Abreviações: Al = alumínio; B = boro; Ca = cálcio; Cl = cloro; Cu = cobre; EUN = eficiência de uso do nitrogênio; Fe = ferro; K = potássio; MEE = máxima eficiência econômica; Mg = magnésio; Mn = manganês; Mo = molibdênio; N = nitrogênio; P = fósforo; S = enxofre; Zn = zinco.

¹ Pesquisador, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS; e-mail: fabiano.debona@embrapa.br

² Pesquisadora, Doutora em Engenharia da Produção (Gerência da Produção e Economia da Tecnologia), Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos, SP.

³ Pesquisador, Doutor em Fertilidade do Solo, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS.

INFORMAÇÕES AGRONÔMICAS

Publicação trimestral gratuita do International Plant Nutrition Institute (IPNI), Programa Brasil. O jornal publica artigos técnico-científicos elaborados pela comunidade científica nacional e internacional visando o manejo responsável dos nutrientes das plantas.

ISSN 2311-5904

COMISSÃO EDITORIAL

Editor

Valter Casarin

Editores Assistentes

Luís Ignácio Prochnow, Eros Francisco, Silvia Regina Stipp

Gerente de Distribuição

Evandro Luis Lavorenti

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI)

Presidente do Conselho

Norbert Steiner (K+S)

Vice-Presidente do Conselho

Tony Will (CF Industries Holdings, Inc.)

Tesoureiro

Dmitry Osipov (Uralkali)

Presidente

Terry L. Roberts

Vice-Presidente, Coordenador do Grupo da Ásia e África

A.M. Johnston

Vice-Presidente, Coordenadora do Grupo do Oeste Europeu/Ásia Central e Oriente Médio

Svetlana Ivanova

Vice-Presidente Senior, Diretor de Pesquisa e Coordenador do Grupo das Américas e Oceania

Paul E. Fixen

PROGRAMA BRASIL

Diretor

Luís Ignácio Prochnow

Diretores Adjuntos

Valter Casarin, Eros Francisco

Publicações

Silvia Regina Stipp

Analista de Sistemas e Coordenador Administrativo

Evandro Luis Lavorenti

Assistente Administrativa

Elisângela Toledo Lavorenti

Secretária

Kelly Furlan

ASSINATURAS

Assinaturas gratuitas são concedidas mediante aprovação prévia da diretoria. O cadastramento pode ser realizado no site do IPNI:

<http://brasil.ipni.net>

Mudanças de endereço podem ser solicitadas por email para:

kfurlan@ipni.net ou etoledo@ipni.net

Nº 154 JUNHO/2016

CONTEÚDO

Manejo nutricional da cultura do trigo

Fabiano Daniel De Bona, Cláudia De Mori, Sirio Wiethölter 1

Uso de corretivos granulados na agricultura

Eduardo Fávero Caires; Helio Antonio Wood Joris 17

Divulgando a Pesquisa

..... 22

IPNI em Destaque

..... 23

Painel Agrônomico

..... 25

Prêmios do IPNI Brasil - 2016

..... 26

Eventos do IPNI

..... 27

Cursos, Simpósios e outros Eventos

..... 29

Publicações Recentes

..... 31

Ponto de Vista

..... 32

NOTA DOS EDITORES

Todos os artigos publicados no *Informações Agronômicas* estão disponíveis em formato pdf no website do IPNI Brasil: <http://brasil.ipni.net>

Opiniões e conclusões expressas pelos autores nos artigos não refletem necessariamente as mesmas do IPNI ou dos editores deste jornal.

FOTO DESTAQUE



Deficiência de magnésio em milho. Foto premiada no Concurso Fotográfico do IPNI em 2015. Mais informações na página 26.

Tabela 1. Evolução da área colhida, rendimento, produção, consumo e exportação de trigo no mundo, no período de 2012 a 2016.

Ano	Área colhida (milhões ha)	Rendimento (kg ha ⁻¹)	Produção (milhões t)	Consumo (milhões t)	Exportação (milhões t)
2012/2013	215,8	3.051	658,3	686,9	137,5
2013/2014	219,6	3.256	714,9	690,3	165,9
2014/2015	221,3	3.286	726,9	699,3	164,1
2015/2016	223,8	3.280	734,1	705,3	166,9
2016/2017**	219,0	3.319	727,0	708,8	163,9
2012-2016*	219,9	3.238	712,2	698,1	159,7

* Média anual do período calculada pelos autores. ** Estimativa.

Fonte: Adaptada de USDA (2016).

O consumo mundial médio nos últimos cinco anos (2012-2016) foi de 698 milhões de toneladas e a quantidade mundial anualmente transacionada de trigo é de aproximadamente 160 milhões de toneladas. No período de 2012-2016, os principais exportadores mundiais de trigo foram: União Europeia, EUA, Canadá, Rússia e Austrália. Quanto à importação, Egito, Indonésia, Argélia, Brasil e Japão são os maiores importadores mundiais do cereal. A importação brasileira representa 4% do total mundial das importações do cereal (USDA, 2016).

A Figura 1 apresenta a evolução da área colhida, da produção e do rendimento de grãos de trigo no Brasil no período de 1980 a 2016. Neste período, a área semeada de trigo no Brasil oscilou entre 1,0 e 3,9 milhões de hectares e a produção nacional variou de 1,5 a 6,1 milhões de toneladas. Entre 2011 e 2015, a média anual foi de 5,4 milhões de toneladas de trigo colhidas e 2,3 milhões de hectares semeados no país.

O rendimento do cereal aumentou expressivamente nos últimos 50 anos. No mundo, o rendimento médio passou de 1.256 kg ha⁻¹ ano⁻¹, na década de 1960, para 3.238 kg ha⁻¹ ano⁻¹, no período de 2011 a 2015. No Brasil, os esforços dos programas de melhoramento genético e as melhorias nos sistemas de produção têm permitido crescente aumento de rendimento de trigo: de 771 kg ha⁻¹ ano⁻¹, na década de 1960, a 2.382 kg ha⁻¹ ano, no período 2011-2015. Na década de 1990, a produção de trigo sob irrigação prosperou nos estados de Minas Gerais e de Goiás e no Distrito Federal, alcançando rendimentos médios superiores a 4.000 kg ha⁻¹. Cabe ressaltar que no hemisfério norte o uso preferencial é por genótipos invernais, de

ciclo mais longo e semeados no outono. Esses genótipos têm maior potencial de rendimento, devido ao maior período de acumulação de reservas durante a fase vegetativa. No Brasil, os materiais genéticos são primaveris, com menor ciclo de cultivo, ou seja, menor tempo para acúmulo de reservas e menor potencial de rendimento.

A produção nacional de trigo sempre esteve concentrada na Região Sul, que responde por mais de 90% da produção brasileira. Entre 2011 e 2015, o estado do Paraná representou 50% da quantidade total colhida de trigo no país e o estado do Rio Grande do Sul 39,7% do total da produção². No período de 2012-2014 houve registro de produção de trigo em 938 municípios (17% do total de municípios brasileiros) sendo que 88 municípios responderam por 50% da produção nacional de trigo.

No período de 2012-2014, as microrregiões³ de Santo Ângelo, RS (7,2% da produção nacional no período), Cruz Alta, RS (5,2%), Ijuí, RS (4,1%), Guarapuava, PR (3,8%), Telêmaco Borba, PR (3,4%), Ponta Grossa, PR (3,3%) e Santiago, RS (3,2%) totalizaram 30,0% da produção de trigo do país. Os dez principais municípios produtores de trigo (que representaram 12,9% da produção nacional) foram: Tibagi, PR; Castro, PR; São Luiz Gonzaga, RS; Tupanciretã, RS; Palmeira das Missões, RS; Guarapuava, PR; Cruz Alta, RS; Giruá, RS; Muitos Capões, RS, e São Miguel das Missões, RS.

2.2. Custos de produção e uso de fertilizantes na cultura do trigo no Brasil

Em estudo realizado por De Mori et al. (2007), visando caracterizar a produção e os custos de produção de trigo no Brasil nos anos de 2003 e 2004, foram identificados 36 diferentes sistemas de cultivo, ou seja, manejos da cultura de trigo empregando diferentes preceitos ou modelos técnicos. Classificando-se os fatores de produção por importância, o fertilizante (de base e de cobertura) foi o fator de maior participação na composição dos custos, representando 24,8% do custo operacional de produção (Figura 2). Resultados de levantamentos sobre o uso de tecnologias empregadas no cultivo de trigo na safra 2009 (CAIERÃO et al., 2010a, 2010b e 2010c) mostraram o predomínio da aplicação

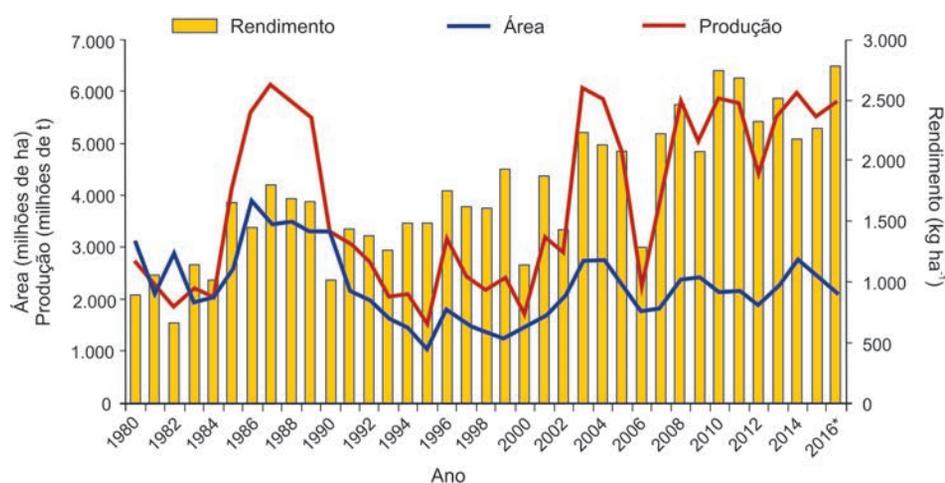


Figura 1. Evolução da área colhida, da produção e do rendimento da cultura do trigo no Brasil, no período de 1980 a 2016.

Fonte: Elaborada com dados da CONAB (2016).

² Valores calculados com base em dados da CONAB (2016).

³ Valores calculados com base em dados do IBGE (2016).

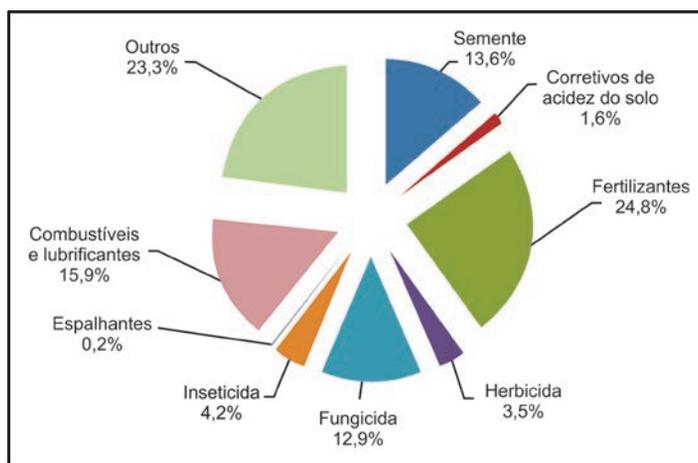


Figura 2. Custos de produção de trigo no Brasil nos anos de 2003 e 2004. Dados médios de 36 sistemas de cultivos distintos. **Fonte:** Modificada de De Mori et al. (2007).

de 150 a 200 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O na adubação de base no Rio Grande do Sul, de 150 a 250 kg ha⁻¹ em Santa Catarina, e de 200 a 250 kg ha⁻¹ no Paraná. Em relação à aplicação de nitrogênio (N) em cobertura, na forma de ureia, a dose mais empregada pelos produtores variou de 50 a 100 kg ha⁻¹ no Rio Grande do Sul e no Paraná, e acima de 100 kg ha⁻¹ em Santa Catarina.

Um estudo sobre a caracterização dos sistemas de cultivo de trigo praticados em algumas regiões dos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul (De MORI et al., 2012), realizado em 2011, mostrou que a quantidade de adubo de base utilizada variou de 125 a 500 kg ha⁻¹. Em sistemas de produção com baixo uso de insumos externos, as referências foram de menos de 200 kg ha⁻¹, nos sistemas intermediários, de aproximadamente 250 kg ha⁻¹, e nos sistemas com alto uso de insumos predominou a faixa de 300 a 400 kg ha⁻¹. As formulações comerciais de N, P₂O₅ e K₂O mais empregadas foram: 5-20-20, 8-16-16, 8-20-20, 8-25-20, 8-30-20, 10-15-15, 10-20-20 e 10-25-25. O estudo apontou, também, peculiaridades regionais em relação à adubação de cobertura – que variou de 0 a 200 kg ha⁻¹ de ureia, em alguns casos feita em duas aplicações –, com referência ao uso de redutor de crescimento quando do uso de mais de 150 kg ha⁻¹.

Pesquisas realizadas por Harger et al. (2011), visando avaliar o uso de insumos no cultivo de trigo no Paraná, apontaram uma tendência de aumento de investimento em adubação da cultura nos últimos 12 anos. Em 2002, somente em 9,8% da área total de trigo amostrada foram utilizadas doses de N, P₂O₅ e K₂O ≥ 250 kg ha⁻¹ na semeadura. No levantamento realizado em 2012, esse nível de adubação foi observado em 37,5% da área total de trigo amostrada (De MORI et al., 2014), e em 2014, tal nível foi empregado em 41,9% da área de trigo monitorada (De MORI et al., 2016). No levantamento realizado em 2014 (De MORI et al., 2016) foram citadas as 48 fórmulas comerciais de adubo N-P₂O₅-K₂O mais empregadas na adubação de semeadura do trigo, destacando-se: 08-20-20, 10-15-15, 12-31-17, 08-20-15 e 14-34-00. O estudo relatou, ainda, aumento na utilização de formulações enriquecidas com outros nutrientes, especialmente zinco e enxofre.

Com relação à adubação nitrogenada em cobertura, realizada no Paraná, as pesquisas demonstram que houve aumento da adoção dessa prática nos últimos 15 anos, com flutuações expressivas entre as safras, ou seja: 56,4% da área de trigo abrangida no levantamento em 2000, 72% em 2005, 70,5% em 2007, 85,2% em 2012 e 74,8% em 2014 (De MORI et al., 2016). Além da ampliação do uso dessa

prática, os dados apontam para um aumento da dose aplicada de N, sendo que doses acima de 100 kg ha⁻¹ de ureia foram utilizadas em 50% da área de trigo monitorada na safra de 2014. Em relação à fonte de N em cobertura, destacam-se a ureia perolada e a granulada, que foram utilizadas, respectivamente, em 44,5% e 32,1% das áreas tritícolas amostradas no levantamento da safra 2014 (De MORI et al., 2016). No entanto, o uso de outras fontes de N – sulfato de amônio, nitrato de amônio e formulações de adubo N-P₂O₅-K₂O – tem-se ampliado, passando de 5,2% da área total de trigo monitorada no levantamento realizado em 2012 (De MORI et al., 2014) para 18,7% da área cultivada com trigo no levantamento realizado em 2014 (De MORI et al., 2016). Adicionalmente, no levantamento realizado em 2014 no Paraná, a adubação foliar com micronutrientes foi utilizada em 11,3% das áreas estudadas (De MORI et al., 2016).

3. EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA CULTURA DO TRIGO

De modo geral, as exigências nutricionais da cultura do trigo são atendidas quando as concentrações de macro e micronutrientes no tecido vegetal coletado no início do espigamento das plantas situam-se na faixa de valores apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Concentração média de macro e micronutrientes no tecido vegetal (folha bandeira) da planta de trigo no início do espigamento.

Macronutrientes	Concentração (g kg ⁻¹)
Nitrogênio	20-30
Fósforo	3,0-5,0
Potássio	15-30
Cálcio	2,0-5,0
Magnésio	1,5-5,0
Enxofre	1,5-4,0
Micronutrientes	Concentração (mg kg ⁻¹)
Boro	6-12
Cobre	5-15
Cloro	2.500-10.000
Ferro	25-100
Manganês	25-100
Molibdênio	0,1-0,3
Zinco	25-70

3.1. Nitrogênio (N)

A disponibilidade de N em quantidade adequada à planta é o principal fator determinante do rendimento potencial da cultura do trigo. O N tem papel fundamental porque é o nutriente encontrado em maior concentração nos tecidos vegetativos e nos grãos, o que o caracteriza como sendo o elemento mais demandado pela planta de trigo. O N está envolvido na síntese de proteínas, clorofila, coenzimas, fitohormônios, ácidos nucleicos e metabólitos secundários (MARSCHNER, 2012). Plantas deficientes em N apresentam baixo crescimento, clorose (amarelecimento ou branqueamento) das folhas velhas e reduzida produção de grãos (Figura 3).

Considerando o acúmulo de N e de massa seca durante o ciclo da cultura do trigo, observa-se que a maior parte da absorção de N ocorre entre as fases fenológicas de alongamento do colmo e de espigamento, atingindo teor máximo acumulado na antese, que acontece próximo aos 100 dias após a emergência das plantas (Figura 4). A partir desse estágio, a absorção de N continua ocorrendo, porém coincide com um aumento considerável de perda



Figura 3. Sintomas visuais da deficiência de nitrogênio em trigo: (a) plantas adultas deficientes na lavoura, (b) clorose das folhas velhas e (c) plantas jovens com deficiência.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e Thomas County Ag (Georgia).

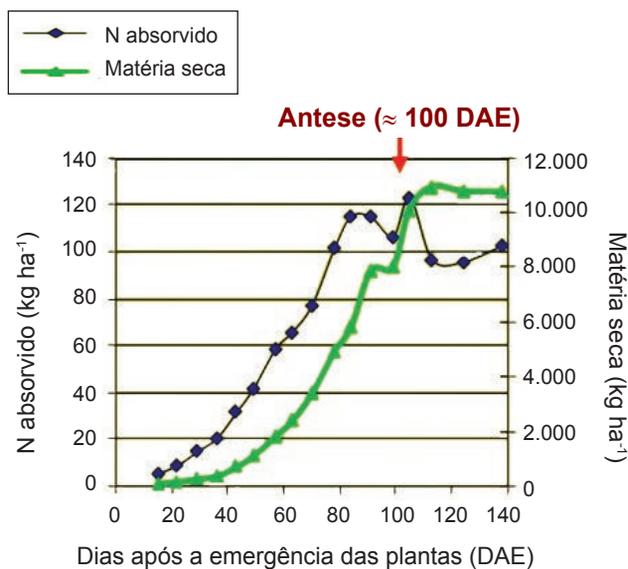


Figura 4. Marcha de absorção de nitrogênio na cultura do trigo.
Fonte: Modificada de Wiethölter (2011).

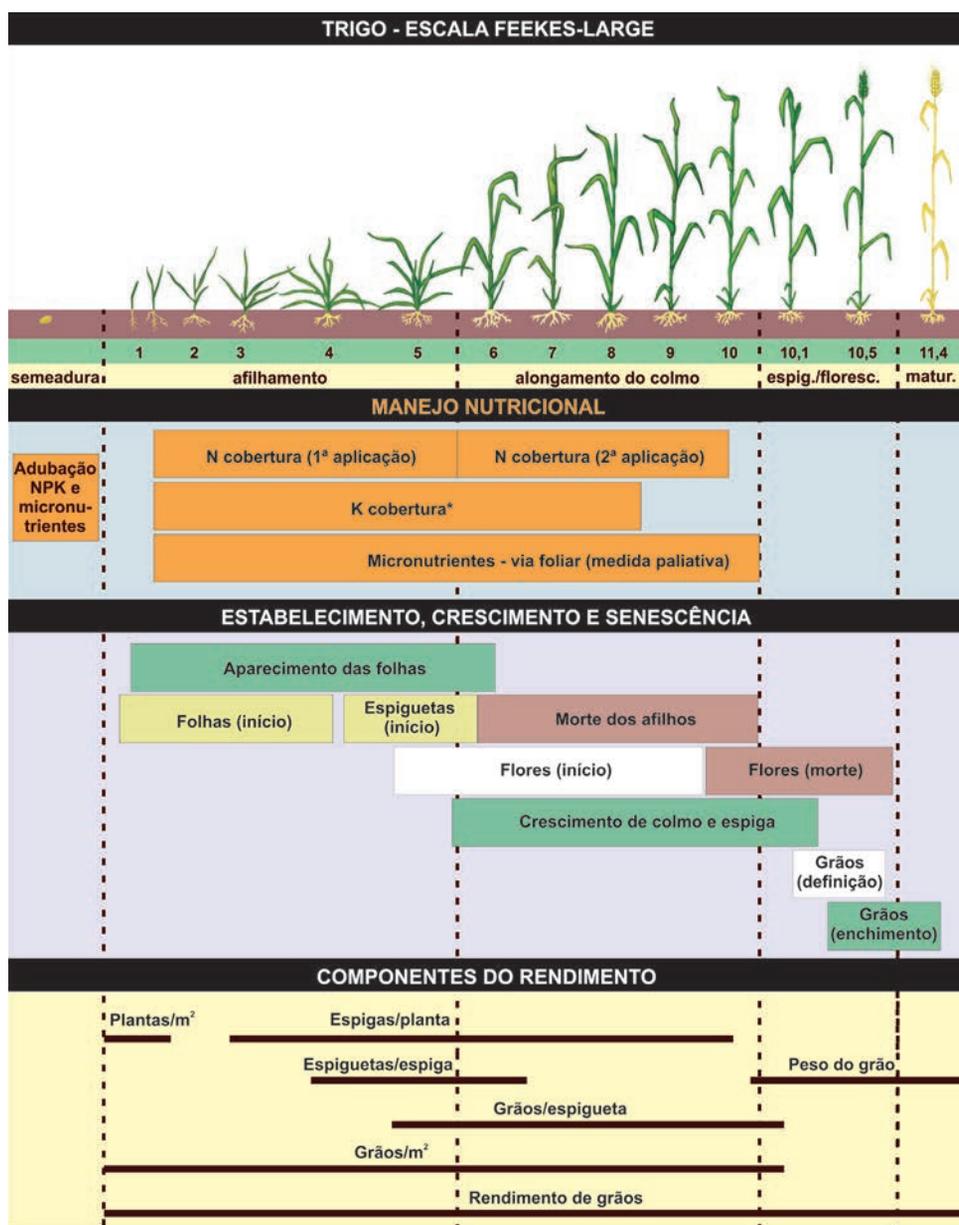
(drenos) desse elemento por meio de processos, como senescência e queda de folhas e exsudação de compostos nitrogenados pelas raízes. As alterações na demanda de N de acordo com o ciclo da planta constituem a base para o manejo eficiente da adubação nitrogenada na cultura do trigo, a qual se baseia na aplicação parcelada da dose de N total visando sincronizar a disponibilidade de N no solo com a demanda da planta (Figura 5).

A quantidade de N a aplicar na cultura do trigo varia, geralmente, de 60 a 120 kg ha⁻¹ de N. A dose recomendada varia em função do teor de matéria orgânica do solo, da cultura precedente

(gramínea ou leguminosa), da região climática e da expectativa de rendimento de grãos, a qual é definida pela interação de vários fatores de produção (características genéticas da cultivar, radiação solar, época de semeadura, água, nutrientes, insetos-praga, doenças, plantas invasoras, etc.). Em termos práticos, aplica-se de 15 a 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura (sulco de plantio), visando propiciar um crescimento inicial com vigor adequado. Quantidades excessivas de N não são recomendadas na semeadura, pois a planta em fase inicial de crescimento, logo após a emergência, possui baixa capacidade de absorção e reduzida capacidade fotossintética, o que implica em perdas de N por lixiviação para o ambiente, especialmente em climas com inverno chuvoso, como os predominantes no Sul do Brasil. O restante do N deve ser aplicado em cobertura, nos estádios de perfilhamento e alongamento do colmo da cultura. Geralmente, não há razão para a aplicação de doses de N menores do que 30 kg ha⁻¹ em cobertura. O afilhamento (ou perfilhamento) ocorre durante um intervalo de cerca de 30 dias após a emergência do trigo, o qual coincide com o período compreendido entre a emissão da 4^a até a 8^a folha do colmo principal. A partir desse estágio, inicia o alongamento do colmo, quando o primeiro entrenó se torna aparente. A disponibilidade de N no início do afilhamento (4^a folha) define o número de espiguetas por espiga e, na fase final (7^a folha), determina o número de afilhos que formarão espigas férteis, ou seja, a quantidade final de espigas por unidade de área (Figura 5). De modo geral, a aplicação alternativa de N em cobertura após a fase de espigamento não aumenta o rendimento de grãos, mas pode aumentar a concentração de N e proteínas nos grãos, o que pode melhorar a qualidade tecnológica da farinha, embora esse parâmetro seja dependente de outros fatores.

A aplicação de N ao solo, no cultivo do trigo, certamente é uma das práticas de manejo da cultura mais seguras em relação ao retorno econômico, pois as pesquisas têm demonstrado que a eficiência de uso de N varia em função da dose aplicada, e seu valor oscila entre 12 (RAMOS, 1981) e 21 (WIETHÖLTER et al., 2007) kg de grãos por kg de N adicionado. Esta amplitude de valores é decorrente da variação entre safras e também da variação de resposta específica das cultivares ao aporte de N ao solo. Avanços na área de melhoramento genético do trigo brasileiro, bem como a melhoria dos manejos culturais, contribuíram para o incremento da eficiência de uso do N (EUN) do trigo nacional. Esse fato é ilustrado na Figura 6a, onde se observa que a máxima eficiência econômica (MEE) de cultivares de trigo semeadas em 32 experimentos conduzidos pela Embrapa Trigo, na década de 1990-2000, foi alcançada com 83 kg ha⁻¹ N, o que produziu um rendimento de grãos e EUN médios de 3.410 kg ha⁻¹ de grãos e 10 kg de grãos/kg de N aplicado, respectivamente. Considerando os ensaios para recomendação de uso de N em cultivares na fase pré-lançamento conduzidos em 2012 na região de Vacaria, RS (Figura 6b), verifica-se que a MEE foi atingida com a aplicação de aproximadamente 120 kg ha⁻¹ N, o que resultou na produtividade de 5.800 kg ha⁻¹ de grãos e EUN de 19,8 kg de grãos/kg de N adicionado via adubação nitrogenada (WIETHÖLTER, 2012, dados não publicados).

Os principais fertilizantes utilizados como fonte de N no trigo são ureia, nitrato de amônio (em desuso) e sulfato de amônio. As eficiências agrônomicas desses fertilizantes no trigo têm sido similares, sendo que ocasionais diferenças entre as fontes são resultantes de efeitos ambientais (precipitação, temperatura e volatilização de amônia). A ureia tem sido o principal fertilizante utilizado pelos tricultores, pois apresenta o menor custo por unidade de N dentre os fertilizantes nitrogenados disponíveis no mercado. Convém ressaltar



Legenda: *O potássio somente necessita ser aplicado em cobertura quando a dose total exceder 100 kg ha⁻¹ de K₂O.

Figura 5. Manejo nutricional e fenologia da cultura do trigo.
Fonte: modificada de Pires et al. (2011).

que o momento ideal para a aplicação de ureia é até um dia antes de precipitação pluvial de média intensidade (10 a 20 mm), pois a dissolução dos grânulos e o transporte de N para o interior do solo e para as raízes serão rápidos, evitando-se, assim, perdas de N por volatilização de amônia (NH₃).

3.2. Fósforo (P) e potássio (K)

A correção da deficiência de P no solo é um dos aspectos primordiais para o estabelecimento da cultura de trigo porque o nutriente está envolvido nos processos energéticos vitais da planta. A adequada disponibilidade de P no solo auxilia a planta em estágio inicial de crescimento e desenvolvimento na recuperação do efeito subletal de temperatura baixa (FOWLER, 2002), razão pela qual se recomenda sempre o uso de uma dose de P no sulco de semeadura, mesmo que o teor do solo seja considerado satisfatório pela análise química do solo. A deficiência de P é detectada principalmente nos estádios iniciais de crescimento da cultura do trigo e caracteriza-se pelo bronzeamento ou pigmentação de cor púrpura no colmo e nas

folhas velhas, evoluindo da ponta para a base da folha. O avanço da deficiência de P causa secamento das folhas mais velhas, baixo crescimento da planta e redução no número de afilhos (Figura 7).

Após o N, o K é o elemento que está em maior concentração no tecido vegetativo e nos grãos do trigo. Isso evidencia a alta demanda de K pela cultura do trigo e, por consequência, justifica o cuidado que se deve ter com o manejo da adubação potássica. Além de atuar na osmorregulação (controle das concentrações de sais nos tecidos ou células) e na resistência da planta de trigo à seca, o K também atua em funções importantes, como enchimento de grãos e qualidade final do produto (BARKER; PILBEAM, 2015). Nas plantas de trigo, a deficiência de K se expressa inicialmente nas folhas mais velhas, as quais tornam-se amareladas na região do ápice e, em seguida, apresentam necrose ou secamento da região apical da folha em formato de “V” invertido (Figura 8).

A análise química do solo é o principal instrumento para diagnosticar e monitorar o grau de disponibilidade de P e de K no solo, bem como para decidir quanto à necessidade da aplicação de fertilizantes contendo esses nutrientes para a cultura do trigo. Análogo à adubação com N, o suprimento de P e de K baseia-se no conceito de produtividade variável, de modo que o montante a ser aplicado é proporcional ao rendimento esperado da cultura do trigo. Prioriza-se aplicar toda a dose de P recomendada em dose única diretamente no sulco de semeadura (disposta 2,5 cm ao lado e abaixo da semente) (Figura 5), usando como fonte os fertilizantes fosfatados simples ou a fórmula NPK. Devido às características

dos argilominerais e a presença de óxidos de ferro e de alumínio nos solos das regiões nas quais tradicionalmente se cultiva o trigo no Brasil, não se recomenda a adubação de P a lanço em cobertura. Considerando a adubação potássica, também recomenda-se aplicar todo o K na linha de semeadura (disposto 2,5 cm ao lado e abaixo da semente), desde que as doses requeridas não sejam excessivas (< 100 kg ha⁻¹ de K₂O). Quando as doses forem muito altas (> 100 kg ha⁻¹ de K₂O), recomenda-se aplicar parte do K antes da semeadura ou em cobertura nas fases iniciais de crescimento e desenvolvimento da cultura. Na semeadura, usa-se a formulação NPK, e em cobertura geralmente opta-se pelo cloreto de potássio (Figura 5).

3.3. Cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)

Dentre os macronutrientes, as demandas nutricionais da cultura do trigo pelos elementos essenciais Ca, Mg e S são menores quantitativamente se comparados principalmente ao N e K (Tabela 2). A maior parte dos solos brasileiros que têm recebido adequado manejo da correção da acidez do solo utilizando calcário

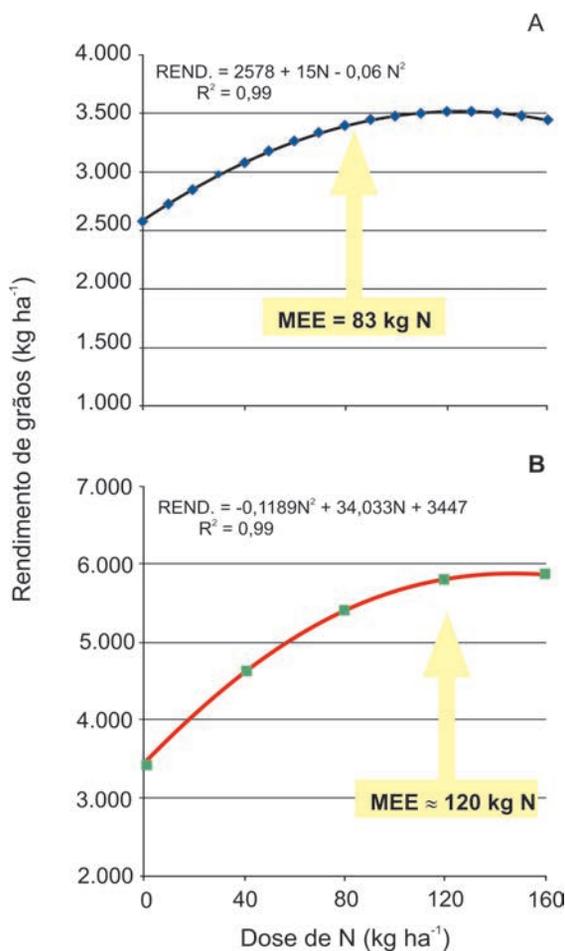


Figura 6. Rendimento de grãos de trigo e máxima eficiência econômica (MEE) de cultivares de trigo adubadas com doses de nitrogênio: (A) 32 experimentos realizados no estado do RS durante a década de 1990-2000 e (B) cinco cultivares de trigo em fase de pré-lançamento cultivadas na região de Vacaria, RS.

Fonte: modificada de Wiethölter (2011).

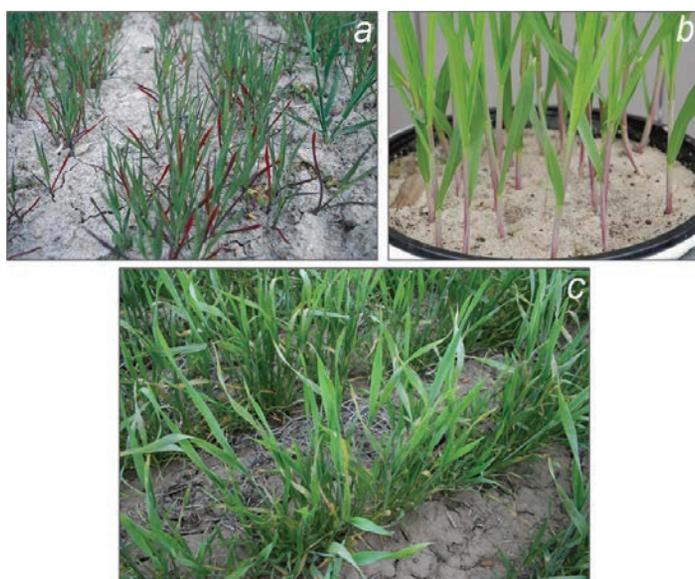


Figura 7. Sintomas visuais de deficiência de fósforo em trigo: (a) plantas deficientes com folhas exibindo pigmentação púrpura, (b) plantas deficientes apresentando pigmentação púrpura no caule e (c) plantas no campo com deficiência prolongada.

Crédito das fotos: Yara United Kingdom e Real Agriculture.

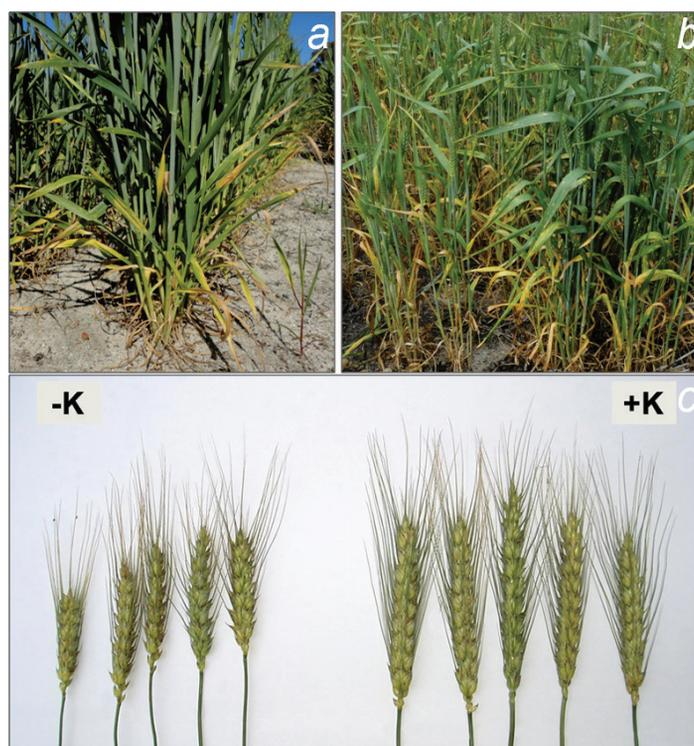


Figura 8. Sintomas visuais de deficiência de potássio em trigo: (a) plantas adultas no campo com folhas velhas cloróticas e necróticas, (b) clorose e secamento das folhas velhas devido à deficiência prolongada e (c) redução no tamanho da espiga em plantas deficientes em potássio.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e International Potash Institute (IPI).

dolomítico ou magnesiano não apresenta limitações quanto aos teores de Ca e de Mg para o crescimento e desenvolvimento da cultura do trigo, principalmente se for considerada a camada de solo de 0-10 cm. No entanto, em solos cultivados por longo tempo sob sistema plantio direto, no qual a aplicação de calcário ocorre na superfície do solo, tem-se verificado baixos teores de Ca em subsuperfície (camada de 10-20 cm), os quais, associados à presença de acidez e alumínio tóxico, podem ser muito prejudiciais ao crescimento das raízes e à produção do trigo. A formação e o crescimento do sistema radicular da planta dependem da presença de teores satisfatórios de Ca (Figura 9) em todo o perfil do solo, pois esse nutriente é fundamental na síntese de células novas da região apical da raiz (meristemas) ao atuar na composição da estrutura da parede celular (MARSCHNER, 2012). Por outro lado, sabe-se que o Ca é pouco móvel no solo e, portanto, depende do mecanismo de contato íon-raiz (interceptação radicular) para ser absorvido pelas raízes. Além disso, há perda da capacidade de absorção celular de Ca com o aumento da idade da célula e formação da lamela média.

Embora pouco comum, a deficiência de Ca no trigo é caracterizada pelo amarelecimento dos ápices das folhas mais novas (folhas superiores em pleno crescimento), que evolui para enrolamento e necrose da ponta e deformações das margens do restante da folha – folhas com margens retorcidas (Figura 9). Como o Mg está envolvido na constituição da clorofila, a sua deficiência em trigo é caracterizada pela coloração verde-amarelada (clorose) nas folhas mais velhas e/ou manchas com coloração amarelo-amarronzadas espalhadas no limbo foliar (Figura 10).

Teores satisfatórios de S no solo são muito importantes para o êxito da lavoura de trigo porque a disponibilidade adequada desse nutriente aumenta a eficiência de uso do N (síntese de proteínas)

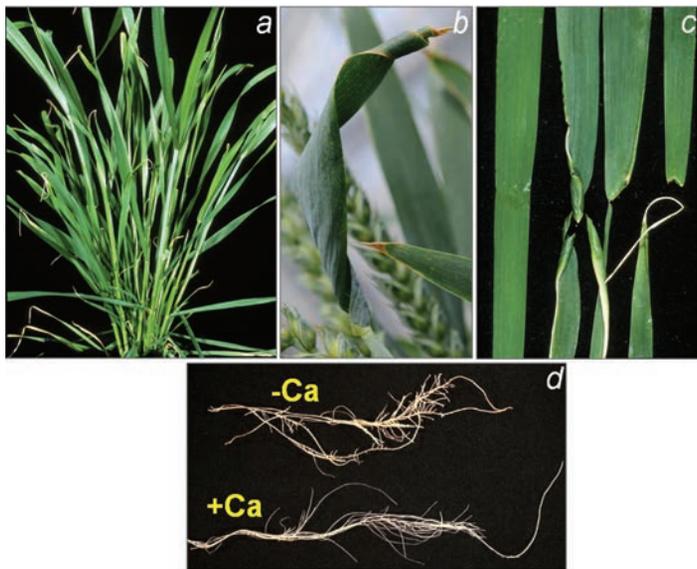


Figura 9. Sintomas visuais de deficiência de cálcio em trigo: (a) necrose dos pontas das folhas, (b) enrolamento da folha, (c) deformações foliares e (d) atrofia e deformações dos meristemas da raiz devido à falta de cálcio.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e Yara Australia.

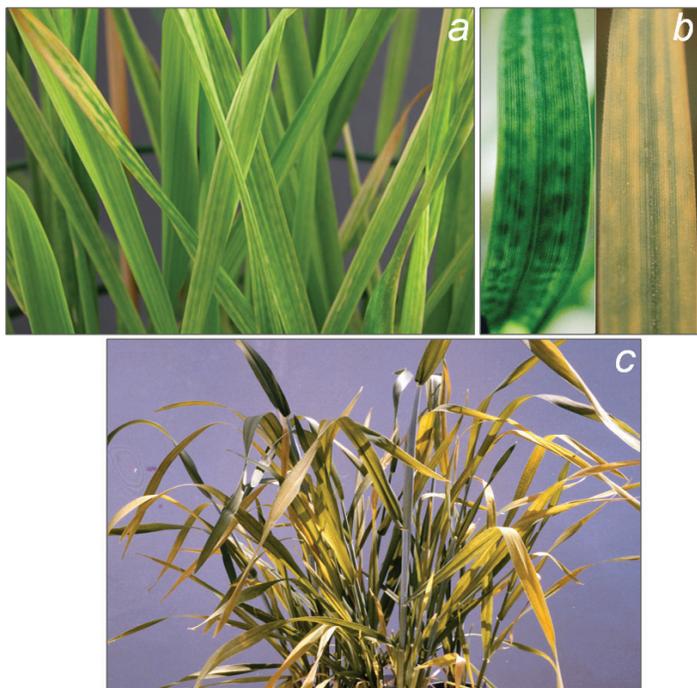


Figura 10. Sintomas visuais de deficiência de magnésio em trigo: (a) clorose na bainha foliar, (b) detalhes da clorose em manchas de coloração amarela e amarronzadas e (c) planta adulta com folhas velhas cloróticas.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e Yara Australia.

e a qualidade tecnológica do grão, o que agrega valor comercial ao produto final (BYERS; FRANKLIN; SMITH, 1987). A classificação comercial do trigo brasileiro não leva em consideração o conteúdo proteico total dos grãos, porém, considera, para efeitos de segregação de compra, a quantidade total (e proporções) das proteínas formadoras do glúten (gliadina e glutenina), expressa pelo parâmetro reológico força de glúten (W) (BRASIL, 2010). A gliadina e a glutenina são proteínas do grão de trigo que conferem ao glúten a viscosidade e

a elasticidade necessárias para o desenvolvimento e a formação de uma massa de pão com boa capacidade para suportar a fermentação (retenção do gás carbônico) e o amassamento, sendo, por isso, determinantes da qualidade reológica do glúten, e apresentam relação direta com a qualidade de panificação (SGARBIERI, 1996). Tanto a gliadina como a glutenina têm a sua biossíntese dependente do S porque são compostas por aminoácidos, como cistina, cisteína e metionina, e possuem ligações dissulfeto inter e intramoleculares, além de grupos sulfidrilas livres, na composição da rede do glúten (WIESER, 2007). Assim, plantas de trigo deficientes em S produzem farinha com baixa qualidade tecnológica para fins de panificação (Figura 11).

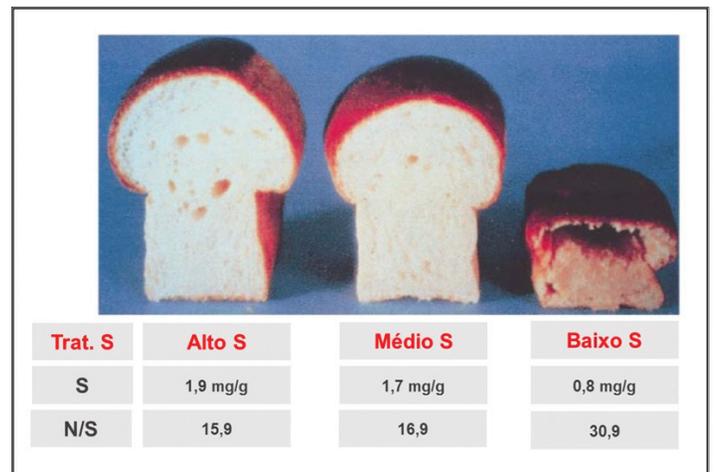


Figura 11. Qualidade do pão em função da farinha de trigo obtida de plantas cultivadas com alto, médio e baixo teor de enxofre na adubação, o que originou distintas concentrações de enxofre e relação nitrogênio/enxofre (N/S) na farinha.

Fonte: modificada de Byers, Franklin e Smith (1987).

Para fins práticos, considera-se o teor de 10 mg dm^{-3} de solo como o teor crítico de S disponível no solo (enxofre na forma de sulfato determinado pelo método turbidimétrico) abaixo do qual ocorre o aparecimento de sintomas de deficiência na cultura do trigo. A deficiência de S no trigo se caracteriza pela clorose generalizada das folhas mais novas (Figura 12). O avanço da deficiência de S pode ocasionar amarelecimento generalizado das folhas de trigo, o que pode ser confundido facilmente com a deficiência de N. Uma vez detectado o baixo teor de S na análise química do solo, sugere-se a aplicação de $10 \text{ a } 20 \text{ kg ha}^{-1}$ de S por meio de fertilizantes contendo o elemento na formulação (fórmulas NPK, sulfato de amônio, superfosfato simples, sulfato de potássio, etc.) ou pelo uso de gesso agrícola.

3.4. Micronutrientes

Os solos da região produtora de trigo do Sul do Brasil raramente apresentam problemas relacionados à falta de micronutrientes, excetuando-se situações de solos muito arenosos. Geralmente, a recomendação de adubação com micronutrientes para essas regiões do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná somente é realizada quando a análise do solo indicar baixa concentração disponível do micronutriente e o potencial de rendimento de grãos da cultura do trigo for alto. Os solos da região tropical do Brasil, especialmente os do Cerrado, podem apresentar, com mais frequência, baixa disponibilidade de alguns micronutrientes para o crescimento e desenvolvimento normal da cultura de trigo. Dentre as limitações de micronutrientes mais comuns destaca-se a deficiência de zinco, especialmente em áreas com excesso de adubação fosfatada.



Figura 12. Sintomas visuais de deficiência de enxofre em trigo: (a) detalhes da clorose na bainha foliar das folhas novas, (b) planta apresentando deficiência na forma de clorose nas folhas novas e (c) deficiência severa no campo, com clorose generalizada.

Crédito das fotos: R. Taylor e Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA).

A seguir são apresentados os aspectos gerais da nutrição com micronutrientes para a cultura do trigo e a descrição dos sintomas visuais de sua deficiência.

3.4.1. Boro (B)

O B tem suas funções na planta associadas ao metabolismo dos ácidos nucléicos, biossíntese de carboidratos, fotossíntese, metabolismo de proteínas e estabilidade da membrana celular (BARKER; PILBEAM, 2015). A adequada nutrição de B é preconizada para o trigo, pois esse nutriente afeta diretamente o rendimento da cultura ao favorecer a fertilização e germinação do grão de pólen e atuar diretamente no processo de enchimento dos grãos da espiga, o que aumenta o número e a massa dos grãos colhidos. A deficiência de B no trigo se caracteriza pela deformação e morte dos meristemas apicais, bem como pela deformação das folhas novas, que apresentam rasgaduras próximas à nervura central associadas a alterações estruturais nas margens da bainha, com aspecto de “dentes de serra”. No que diz respeito às estruturas reprodutivas, a planta de trigo deficiente em B apresenta inflorescências pouco desenvolvidas ou deformadas (similar à deficiência de cobre), com alta esterilidade e grande número de grãos com má formação ou chochos (Figura 13). A adubação com B pode ser realizada com a aplicação via foliar ou no solo. Esse elemento possui boa mobilidade no solo. A dose de B aplicada não deve exceder certos limites, pois a elevação demasiada dos teores no solo pode ocasionar toxidez de B na cultura.

3.4.2. Cloro (Cl)

O Cl é um elemento que não causa preocupação quanto à sua disponibilização para as culturas agrícolas, pois ele é fornecido como nutriente acompanhante em diversos adubos de uso comum nas lavouras, como, por exemplo, o cloreto de

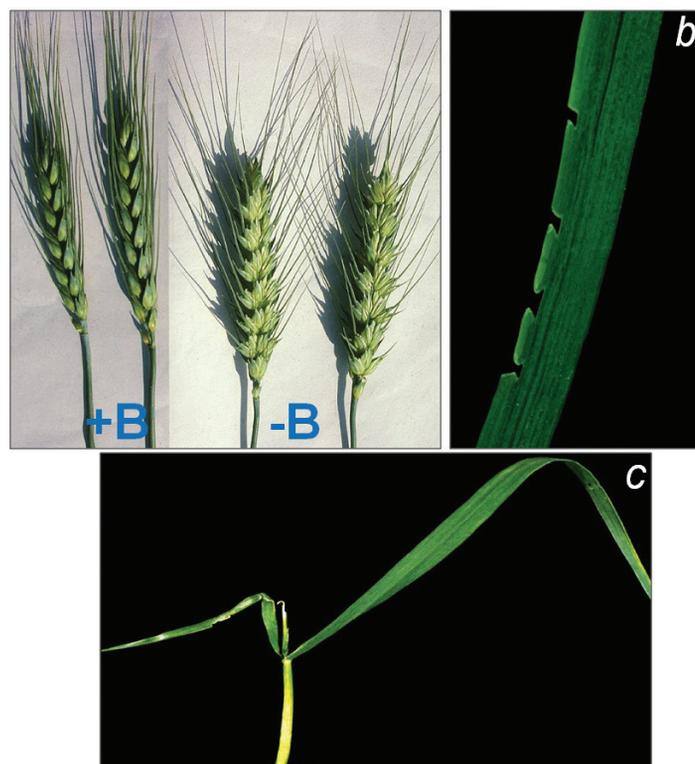


Figura 13. Sintomas visuais de deficiência de boro em trigo: (a) chochamento de grãos em plantas deficientes, (b) detalhe do bordo da bainha foliar serrilhado ou “dentado” e (c) morte dos meristemas apicais.

Crédito da foto: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA).

potássio. No entanto, vale a pena destacar que esse micronutriente desempenha diversas funções fundamentais no metabolismo das plantas relacionadas à fotossíntese, osmorregulação e ativação de enzimas (BARKER; PILBEAM, 2015). A planta de trigo pode exibir valores de concentração de Cl que variam de 200 a 22.000 mg kg⁻¹ de matéria seca (ELGHARABLY, 2011), sendo que o conteúdo do nutriente no tecido vegetal varia com o ambiente e as práticas de manejo. Os sintomas visuais da deficiência de Cl aparecem nas folhas velhas (maduras) de trigo, as quais exibem clorose em forma de manchas amarelas ou amarronzadas e bainha foliar retorcida (Figura 14).



Figura 14. Sintomas visuais de deficiência de cloro em trigo: (a) clorose em manchas nas folhas, (b) folhas normais e folhas de planta deficiente em cloro e (c) aspecto das plantas deficientes no campo.

Crédito das fotos: International Potash Institute (IPI).

3.4.3. Cobre (Cu)

O Cu é fundamental para a formação do pólen e para a biossíntese da clorofila e da parede celular (lignificação) da planta. A deficiência desse micronutriente causa esterilidade do pólen da espiga do trigo, o que acarreta má formação dos grãos e perdas de produtividade (BARKER; PILBEAM, 2015). Plantas de trigo deficientes em Cu caracterizam-se pela morte do meristema apical e pelo murchamento, clorose, enrolamento e posterior secamento (necrose) da ponta das folhas novas (Figura 15). Essa necrose avança até aproximadamente metade da folha, sendo que a outra parte pode permanecer com coloração verde normal. De modo geral, as folhas velhas da planta de trigo deficientes em Cu mantêm-se verdes, embora essa coloração seja mais pálida do que a normal. Após o espigamento, a lavoura de trigo com deficiência de Cu caracteriza-se pelas espigas com porções esbranquiçadas e por plantas com clorose e amadurecimento desuniforme (retardamento da maturação). Além do aspecto esbranquiçado, as espigas de trigo deficientes em Cu podem ficar retorcidas e/ou manchadas, sem grãos (chochamento) ou com grãos atrofiados, que se desprendem da ráquis com facilidade.



Figura 15. Sintomas visuais de deficiência de cobre em trigo: (a) folhas deformadas pela deficiência, (b) chochamento e perda da qualidade dos grãos, (c) necrose das folhas e espigas esbranquiçadas, e (d) aspecto visual da deficiência no campo, com plantas adultas.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e Yara Australia.

As adubações com Cu, efetuadas para sanar as deficiências da planta de trigo e do solo, podem ser realizadas via aplicação foliar (efetiva somente para a safra corrente) e no sulco de semeadura. A aplicação via foliar é ineficaz quando realizada após o florescimento da cultura, pois as mais altas demandas do nutriente coincidem com o período de pré-florescimento e visam o desenvolvimento do grão de pólen. Adubações com Cu em cobertura também são ineficazes,

pois o elemento é relativamente imóvel no solo. Solos com alto teor de matéria orgânica podem apresentar limitação de Cu devido ao processo de complexação do elemento com as moléculas orgânicas (SPARKS, 2003), o que indisponibiliza o nutriente para a planta. As elevações dos teores de Cu do solo são alcançadas prioritariamente com o uso da adubação do elemento no sulco de semeadura.

3.4.4. Ferro (Fe)

A essencialidade do Fe às plantas é comprovada pela sua ação no metabolismo de proteínas de estrutura heme e não heme ou na coordenação de estruturas proteicas, sendo que esses compostos atuam como enzimas (por exemplo, catalases, peroxidases) ou como transportadores de elétrons no processo da fotossíntese (ferredoxina, citocromo) e nas rotas metabólicas de assimilação de outros nutrientes na planta (N e S) (BARKER; PILBEAM, 2015). O envolvimento do Fe nos processos fotossintéticos e na síntese de clorofila faz com que a sua limitação no solo cause clorose generalizada das folhas novas (somente as nervuras da bainha permanecem verdes – “reticulado fino”) da maioria das culturas agrícolas, incluindo o trigo (Figura 16). Geralmente, essas deficiências ocorrem quando a planta de trigo se encontra nas fases iniciais de crescimento, com sistema radicular pequeno e baixo potencial de absorção de nutrientes. A deficiência de Fe é muito rara nos solos brasileiros, pois a maioria deles possui em sua composição grande quantidade de argilominerais ricos em ferro (por exemplo, óxidos de ferro: hematita, goethita). Esporadicamente, podem ocorrer sintomas de deficiência de Fe em plantas de trigo crescendo sob condições de déficit hídrico no solo, mas que desaparecem tão logo



Figura 16. Sintomas visuais de deficiência de ferro em trigo: (a) início da clorose das folhas novas, (b) clorose internerval e nervuras verdes – “reticulado fino” e (c) avanço da clorose na bainha foliar.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA).

a umidade do solo seja restabelecida. Caso necessária, pode-se efetuar a aplicação foliar de Fe, sendo esse o modo mais eficiente de suprimento do nutriente à planta. Análogo ao Zn, o Fe também tem destaque nos programas de biofortificação dos grãos de trigo, visando o enriquecimento nutricional da farinha e seus derivados.

3.4.5. Manganês (Mn)

O Mn desempenha importantes funções metabólicas na planta relacionadas à fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e ativação de hormônios (BURNELL, 1988). Nos cereais, como o trigo, a limitação de Mn afeta a qualidade e o rendimento de grãos, pois a deficiência desse nutriente faz com que ocorra redução no número e no peso dos grãos produzidos, o que possivelmente está associada à combinação de baixa fertilidade do grão de pólen e de diminuição do suprimento de carboidratos para o processo de enchimento de grãos (LONGNECKER; MARCAR; GRAHAM, 1991; SHARMA et al., 1991). Embora não seja muito comum nas áreas tritícolas do Brasil, a deficiência de Mn em trigo pode ocorrer com mais frequência em solos arenosos e/ou com pH alcalino, que favorecem a sua oxidação química ou microbiológica e a consequente indisponibilidade do nutriente para a absorção pela planta (RENGEL, 2000). A ocorrência de déficit hídrico no solo também pode promover baixa disponibilidade temporária de Mn para as plantas. A deficiência de Mn na cultura do trigo se caracteriza pelo aparecimento de clorose internerval (as nervuras e parte da bainha adjacente às mesmas permanecem verdes – “reticulado grosso”) nas folhas novas e nas folhas do terço médio da planta (recém-expandidas). Geralmente, a clorose internerval avança para a formação de manchas estriadas necróticas de cor branco-acinzentadas ou marrons nas referidas folhas (Figura 17). No estágio avançado de deficiência, as folhas do cereal exibem aspecto retorcido ou dobrado e acabam secando totalmente. Na lavoura, as plantas de trigo deficientes em Mn apresentam-se cloróticas e com crescimento prejudicado (plantas pequenas, sem vigor). Para amenizar os efeitos prejudiciais da limitação do nutriente às plantas, que ocorreram durante o ciclo da cultura, o suprimento de Mn pode ser realizado via aplicação foliar. No entanto, visando a correção efetiva dos teores de Mn disponíveis do solo, deve-se realizar a adubação com fonte de Mn diretamente no sulco de semeadura na implantação da próxima cultura agrícola.

3.4.6. Molibdênio (Mo)

Apesar de geralmente ser o nutriente com a menor concentração no tecido vegetal, o Mo tem funções importantes relacionadas à ativação de importantes enzimas (por exemplo, Mo cofator) que metabolizam outros elementos essenciais à planta (por exemplo, N, S) (BARKER; PILBEAM, 2015). A sua deficiência é de difícil diagnóstico no campo, pois os sintomas visuais são semelhantes aos da deficiência causada por baixa disponibilidade de N. Assim, a deficiência de Mo em trigo geralmente ocorre antes do espigamento, e as plantas apresentam crescimento reduzido e clorose generalizada das folhas (Figura 18). Sob condições de adubação nitrogenada elevada, as plantas deficientes em Mo apresentam clorose generalizada das folhas localizadas a partir do terço médio até o topo da planta (metabolismo e assimilação de N prejudicados pela limitação de Mo). Com o avanço da deficiência de Mo no trigo, as pontas das folhas tornam-se necróticas e secam. Devido aos baixos teores requeridos pela planta, o suprimento de Mo pode ser realizado via aplicação foliar (medida paliativa) e/ou tratamento de semente. Como o Mo é pouco móvel no solo, as adubações devem ser realizadas no sulco de semeadura, para facilitar o contato e a absorção do nutriente pela raiz da planta de trigo. O uso em excesso de Mo deve ser evitado

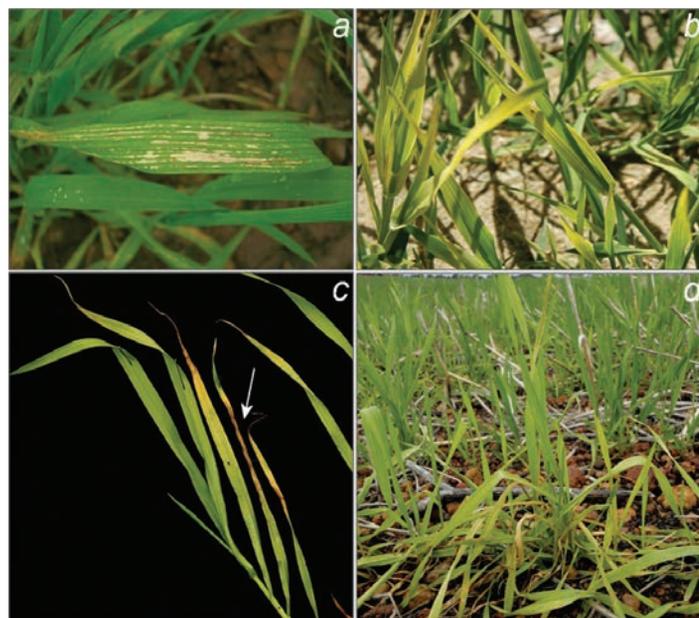


Figura 17. Sintomas visuais de deficiência de manganês em trigo: (a) clorose internerval que evoluiu para manchas necróticas; (b) clorose internerval nas folhas novas; (c) necrose e secamento das folhas; e (d) aspecto visual da deficiência no campo.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA), Yara United Kingdom e R. Taylor (University of Delaware).



Figura 18. Sintomas visuais de deficiência de molibdênio em trigo: (a) clorose das folhas e (b) aspecto das plantas deficientes no campo.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA).

em trigo de duplo-propósito, pois altas concentrações do nutriente no tecido vegetal ($> 10 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mo na matéria seca) ingerido pelos animais pode causar intoxicação por Mo em ruminantes, denominada molibdenose (SMITH; BROWN; DEUEL, 1987).

3.4.7. Zinco (Zn)

As importantes funções metabólicas do Zn nas plantas estão ligadas à sua alta capacidade de formar complexos tetraédricos com ligantes de N, oxigênio, e particularmente S. Esses complexos fazem com que o Zn participe ativamente como catalisador e agente estrutural de diversas reações enzimáticas na planta (VALLEE; AULD, 1990). A limitação de Zn nos solos com cultivo de trigo ocorre especialmente nas áreas de Cerrado e nos solos com alto pH ou que receberam excesso de adubação fosfatada. A deficiência de Zn afeta severamente o trigo nos estádios iniciais de crescimento e desenvolvimento, sendo que as plantas deficientes apresentam coloração clorótica (clorose internerval por toda a extensão da bainha foliar) nas folhas novas; a estatura é baixa, pelo encurtamento

dos entrenós, e o caule é frágil e fino (Figura 19). Nas folhas mais maduras de trigo, a clorose internerval avança para a formação de lesões necróticas amarronzadas, com margens escuras. Comumente, o agravamento da deficiência de Zn faz a necrose se espalhar no terço médio da bainha, causando o secamento dessa área. O suprimento de Zn durante o ciclo da cultura do trigo pode ser realizado via aplicação foliar como medida paliativa, sabendo-se que essa aplicação deve ser feita nos estádios iniciais do crescimento da planta para que haja tempo de se reverter total ou parcialmente os efeitos da deficiência. Aplicações em cobertura não são recomendadas, devido à pouca mobilidade do elemento no solo. É indispensável que seja realizada a adubação com Zn no sulco de semeadura da cultura subsequente para a elevação dos teores de Zn do solo até o valor adequado. A habilidade do grão de trigo de acumular Zn fez com que esse cereal fosse incluído em diversos programas de biofortificação com o objetivo de enriquecer os alimentos derivados do trigo para a melhoria da qualidade nutricional da alimentação humana.



Figura 19. Sintomas visuais de deficiência de zinco em trigo: (a) lesão necrótica com borda amarronzada em folha velha, (b) clorose internerval e necrose inicial nas folhas, (c) necrose e secamento do terço médio das bainhas das folhas e (d) crescimento prejudicado e clorose nas folhas novas.

Crédito das fotos: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e Yara United Kingdom.

4. BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES NA CULTURA DO TRIGO

Conforme relatado no início desse artigo, a cultura do trigo tem grande parte dos custos de produção atribuída aos corretivos e fertilizantes. No entanto, vale a pena enfatizar que esses insumos também são responsáveis por grandes incrementos na produtividade das lavouras tritícolas, seja por propiciar o cultivo do cereal em solos com limitações de fertilidade, seja por suprir as demandas nutricionais da planta, necessárias para expressar seu potencial genético de rendimento de grãos. Nessa equação de ganhos e custos, deve-se buscar práticas de manejo que maximizem a eficiência de uso dos nutrientes, resultando na mais alta produção de trigo possível mediante o mais baixo custo de corretivos e fertilizantes aplicados. A Figura 20 apresenta, de maneira esquemática, algumas

boas práticas agrícolas que podem ser utilizadas com o objetivo de aumentar a eficiência de uso dos corretivos e fertilizantes e garantir a produção satisfatória da cultura do trigo.

O conhecimento do histórico da área e de sua aptidão edafoclimática para o cultivo do trigo é de suma importância quando se pretende cultivar o cereal em determinado local da propriedade (Figura 20). As áreas de recomendação para plantio do trigo no Brasil são divididas em quatro regiões homogêneas, de acordo com o zoneamento climático da cultura (Figura 21): Região 1 (fria e úmida), Região 2 (moderadamente quente e úmida), Região 3 (quente e moderadamente seca) e Região 4 (quente e seca – Cerrado). Devido às características específicas da planta de trigo (necessidade de frio) e do regime hídrico de cada local, tem-se um potencial de rendimento de grãos da cultura (sem uso de irrigação), decrescente da Região 1 para a Região 4, embora existam cultivares de trigo selecionadas e recomendadas para cada um dos ambientes. Analisando a Figura 22 constata-se, pelos dados históricos de mais de 25 anos (safras agrícolas), que as produções de trigo nos locais pertencentes à Região 1 (Vacaria, RS; Campos Novos, SC; Ponta Grossa, PR) geralmente foram maiores, se comparadas às produções de lavouras pertencentes à Região 2 (Santa Rosa, RS; Chapecó, SC; Cascavel, PR) e Região 3 (Dourados, MS). Assim, ao se manejar a adubação da cultura do trigo, deve-se levar em consideração se a resposta pretendida por meio de suprimento de nutrientes não está limitada pelas características intrínsecas ambientais da região de cultivo da planta (zoneamento agrícola).

O planejamento da lavoura requer análise detalhada da área de cultivo. A análise pormenorizada do solo sob plantio direto envolve a coleta de amostras de solo nas camadas superficial (0-10 cm) e subsuperficial (10-20 cm), e uma avaliação visual (ou com equipamentos) das condições físicas do perfil de 0-20 cm de profundidade. A avaliação física tem o objetivo de verificar a presença de camadas adensadas ou compactadas do solo. A compactação do solo pode ser detectada a campo, com a abertura de uma minitrincheira de 0-20 cm de profundidade no solo e a posterior inspeção da lateral da trincheira com uma faca. Camadas adensadas ou compactadas apresentam resistência à penetração do instrumento cortante (faca). Índícios de compactação também podem ser visualizados na arquitetura do sistema radicular das plantas, o qual estará concentrado na camada superficial do solo, e a posição das raízes tenderá à horizontalidade (ângulo reto). Um solo compactado é muito danoso à planta, pois impede que o sistema radicular explore as camadas mais profundas do solo. A exploração da camada mais profunda do solo pelas raízes garante maior teor de água disponível (resistência a limitações hídricas, como seca ou veranico) e aumenta a capacidade de absorção de nutrientes e, por consequência, a recuperação e aproveitamento do fertilizante aplicado.

Na análise química do solo deve-se observar cuidadosamente os resultados referentes a pH e à concentração de alumínio (Al), Ca e P, especialmente na camada subsuperficial do solo (10-20 cm). A toxidez por Al, que surge com o pH baixo (< 5,5), afeta severamente o crescimento radicular do trigo (Figura 23), sendo que essas injúrias nas raízes comprometem a capacidade de absorção de água e nutrientes e causam, na parte aérea da planta, o fenômeno chamado crestamento. Segundo Paiva (1942), crestamento é o conjunto de sintomas visuais que englobam coloração violácea e queima das folhas e definhamento da planta. Além do Al tóxico, baixos teores de Ca e de P não permitem o crescimento das raízes em profundidade, o que prejudica seriamente o estabelecimento da lavoura de trigo.

Nesse contexto, quando uma área destinada ao cultivo do trigo, conduzida sob plantio direto, exhibe baixo pH, alto teor de

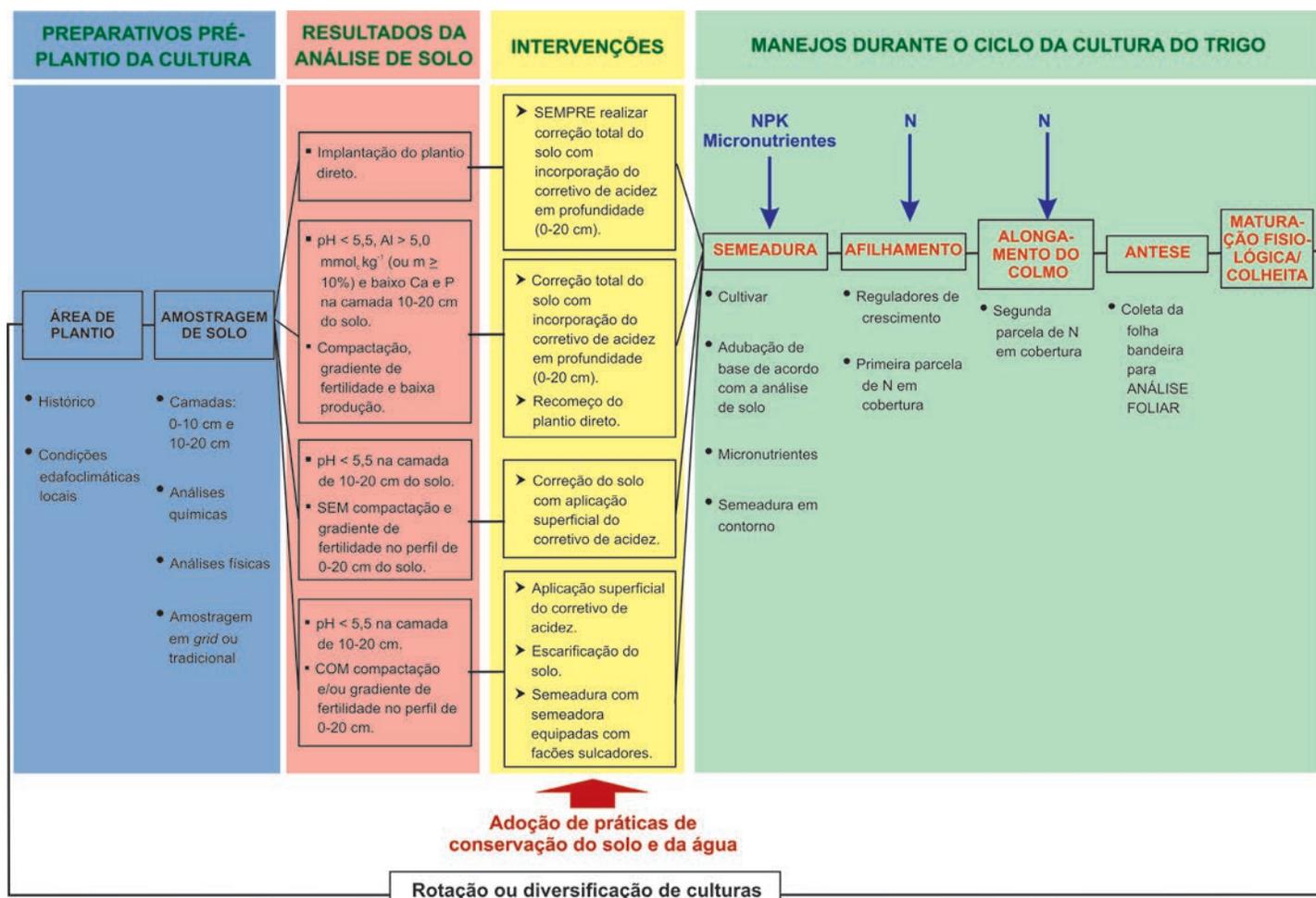


Figura 20. Representação esquemática das principais práticas agrícolas a serem empregadas na cultura do trigo visando aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes. Abreviação: m = saturação por alumínio da CTC efetiva do solo.

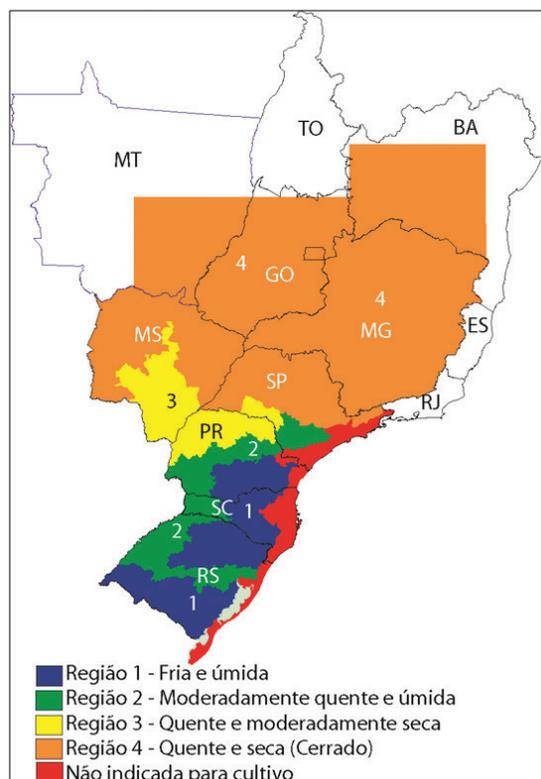


Figura 21. Zoneamento climático para a cultura do trigo no Brasil. Fonte: Cunha et al. (2006).

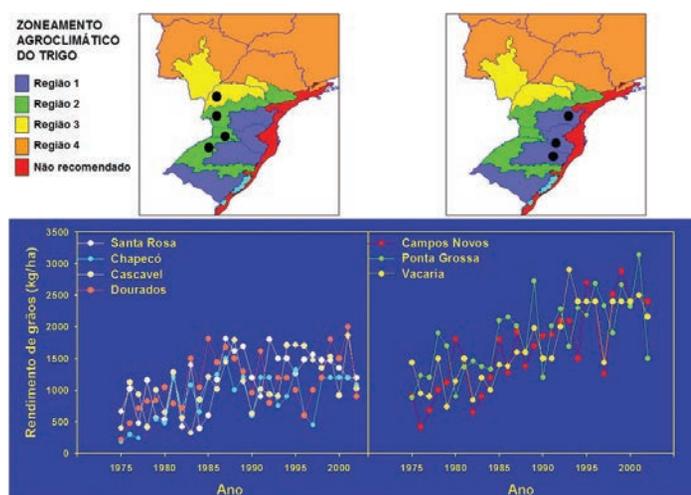


Figura 22. Rendimento histórico de grãos de trigo em lavouras localizadas nas Regiões 2 e 3 (esquerda) e na Região 1 (direita) de acordo com o zoneamento agroclimático da cultura.

Fonte: Pires, Cunha e Pasinato (2004).

Al tóxico, baixos teores de Ca e P em subsuperfície associados à compactação do solo e baixa produtividade das culturas (Figura 20), recomenda-se a correção total do solo na profundidade de 0-20 cm mediante a aplicação de corretivos de acidez, com dose recomendada para atingir pH em água = 6,0 em toda a camada, motivo pelo qual o referido corretivo deverá ser incorporado ao solo com equipamento



Figura 23. Toxidez de alumínio em trigo: (a) sintomas de crestamento no campo e (b) injúrias e atrofiamento do sistema radicular com o aumento da concentração do elemento no meio.

Fonte: Department of Agriculture and Food, Western Australia (DAFWA) e Washington State University.

adequado (arado, grade e outros). O procedimento de incorporação do corretivo na camada de 0-20 cm do solo também deve ser usado quando o agricultor decidir iniciar o sistema plantio direto.

Na ausência de alumínio tóxico na camada superficial do solo, o critério de decisão para a escolha do manejo corretivo do solo na pré-semeadura da cultura do trigo deve ser a presença de compactação no solo e de gradiente de fertilidade (teores do nutriente muito altos na superfície e muito baixos na subsuperfície). Assim, não havendo compactação e gradiente de fertilidade na camada de 0-20 cm, opta-se por corrigir a acidez do solo mediante a adição dos corretivos na superfície do solo. Por outro lado, caso exista compactação ou gradiente acentuado de fertilidade (especialmente de P) na referida camada, deve-se utilizar práticas mecânicas, como escarificação ou uso de semeadoras equipadas com facões sulcadores, para descompactar parcialmente o solo e deslocar nutrientes (adubos) e corretivos de acidez para as camadas subsuperficiais do solo.

Idealmente, ações de manejo que visam a melhoria das características químicas e físicas do solo devem ser acompanhadas por práticas de conservação de solo e de água, como o terraceamento (Figura 24), no intuito de reduzir as perdas de solo e de nutrientes. A falta de cuidado com práticas conservacionistas de água e solo faz com que se perca, por meio de enxurradas originárias de chuvas torrenciais típicas de clima tropical e subtropical, parte considerável dos fertilizantes e corretivos aplicados nas lavouras de todo o Brasil (Figura 25). Tal processo é duplamente danoso, pois se perde parte



Figura 24. Práticas de manejo e conservação do solo e da água: (a) construção de terraço e (b) área com terraceamento estabelecido.

Crédito das fotos: Fabiano Daniel de Bona e José Eloir Denardin (Embrapa Trigo).

da fertilidade construída do solo e se contamina os mananciais de água com nutrientes oriundos das lavouras.

Após as ações de correção do solo (Figura 20), iniciam-se as práticas relacionadas diretamente ao manejo da cultura do trigo. A adubação deve ser realizada seguindo rigorosamente a análise de solo e a expectativa de rendimento da cultivar escolhida. Recomenda-se adicionar somente o nutriente limitante detectado na análise química de solo. É importante lembrar que a interpretação dos teores de nutrientes, expressos no laudo de análise química do solo, quanto ao nível de fertilidade de cada elemento no solo, deve ser realizada com base nos manuais ou indicações técnicas para adubação e calagem específicos para distintas regiões do país.

A expectativa de rendimento da cultivar determina a quantidade de nutrientes a ser suprida. Novamente, deve-se salientar que esse potencial de rendimento da cultivar de trigo é dependente do fator local (condições edafoclimáticas). Além da adubação de manutenção, para rendimento superior a 3.000 kg ha⁻¹, adiciona-se 20-30 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 10 kg ha⁻¹ de K₂O por tonelada adicional de grãos a ser produzida (CQFS-RS/SC, 2004).

De modo geral, a adubação NPK e micronutrientes é realizada no sulco de semeadura e o suprimento de N é complementado com duas aplicações em cobertura: uma na fase de perfilhamento e a outra na fase de alongamento do colmo (Figura 5 e Figura 20). Quando altas doses de N são requeridas e a cultivar de trigo utilizada é suscetível ao acamamento, recomenda-se a aplicação de produtos



Figura 25. Evidências da erosão hídrica em lavouras manejadas sem práticas adequadas de conservação do solo e da água.

Crédito da foto: José Eloir Denardin (Embrapa Trigo).

reguladores de crescimento à base de hormônios vegetais no início do afilamento, o que deixará a planta com estatura mais baixa e menos propensa ao acamamento (Figura 26).

O monitoramento das práticas de manejo de solo e da cultura pode ser realizado por meio da análise foliar do trigo. Embora seja complementar à análise de solo, a avaliação da nutrição da planta por meio da análise do tecido vegetal é o indicador-mestre de todas as práticas realizadas na lavoura e reflete a interação solo-planta-atmosfera. Na planta de trigo, a análise foliar é realizada



Figura 26. Acamamento da cultura do trigo.

Crédito da foto: John Eveson (<http://johneveson.photoshelter.com/image/I00008tKo6g3j35c>).

coletando-se amostras de folhas-bandeira da cultura na fase de florescimento/antese (Figura 27). Geralmente, coletam-se de 40 a 50 folhas-bandeira de forma aleatória na lavoura, as quais devem ser enviadas a um laboratório credenciado e certificado para a realização de análises de tecido vegetal.

As boas práticas de manejo do solo preconizam que, após a colheita do trigo, deve-se semear na área o mais rapidamente possível uma nova cultura agrícola, de forma a reduzir o tempo que o solo fica exposto (sem plantas) à chuva e à erosão hídrica (Figura 25). A diversificação de culturas deve ser realizada nas lavouras em que se cultiva trigo no inverno, especialmente com espécies que possuam vasto e vigoroso sistema radicular, pois a planta de trigo tem pouca massa radicular (Figura 28) para adicionar matéria orgânica diretamente na matriz do solo, o que aumenta a probabilidade de adensamento e compactação do solo.



Figura 27. Folha-bandeira da cultura do trigo na fase de florescimento/antese – ponto ideal para coleta do tecido vegetal para a análise foliar.

Crédito da foto: Dave Mengel (K-State Research and Extension).



Figura 28. Sistema radicular de diversas culturas agrícolas aos 60 dias após a germinação.

Crédito da foto: José Eloir Denardin (Embrapa Trigo).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os fatos demonstram que grande parte do território brasileiro possui características propícias de clima e de solo para a ampla expansão da área cultivada com trigo. Sob o ponto de vista da

nutrição da cultura, conclui-se que as melhores e mais responsivas tecnologias para o aumento da eficiência de uso dos nutrientes estão relacionadas aos processos adequados de manejo nutricional das plantas. Esses processos devem ser fundamentados no conhecimento do potencial climático da região escolhida para o plantio do cereal, em práticas de manejo do solo visando adequar e/ou manter características químicas e físicas satisfatórias para o bom desempenho da cultura, no manejo conservacionista do solo, e no suprimento das demandas nutricionais do trigo com a aplicação correta do nutriente limitante, na dose certa, no local certo e no momento certo do ciclo de crescimento e desenvolvimento da planta.

6. REFERÊNCIAS

- BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of plant nutrition**. 2nd ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2015. 774 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. Regulamento técnico do trigo. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 229, 1 dez. 2010. Seção 1.
- BURNELL, J. N. The biochemistry of manganese in plants. In: GRAHAM, R. D.; HANNAM, R. J.; UREN, N. C. (Ed.). **Manganese in soils and plants**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1988. p. 125-137.
- BYERS, M.; FRANKLIN, J.; SMITH, S. J. The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain. **Aspects of Applied Biology, Cereal Quality**, v. 15, p. 337-344, 1987.
- CAIERÃO, E.; PASINATO, A.; HARGER, N.; PIRES, J. L. F.; PIMENTEL, M. B. M. Uso de tecnologias em lavouras de trigo no Paraná – safra 2009. In: PIRES, J. L.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; TIBOLA, C. S. **Trigo: Resultados de pesquisa – safra 2009**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010c. p. 135-154. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).
- CAIERÃO, E.; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F.; PIMENTEL, M. B. M.; HEFLER, E.; LORENZONI, J.; LORO, J. C.; SANDRI, R.; SCHNEIDER, R. Uso de tecnologias em lavouras de trigo no Rio Grande do Sul – safra 2009. In: PIRES, J. L.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; TIBOLA, C. S. **Trigo: Resultados de pesquisa – safra 2009**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010a. p. 99-116. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).
- CAIERÃO, E.; PASINATO, A.; VARASCHIN, M. J. F. da C.; PIRES, J. L. F.; PIMENTEL, M. B. M.; HEIDEN, F. C.; CEMBRANEL, V.; ANATER, E. U.; TONET, G. T.; CURTI, G. L. Uso de tecnologias em lavouras de trigo no Santa Catarina – safra 2009. In: PIRES, J. L. F.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; TIBOLA, C. S. **Trigo: Resultados de pesquisa – safra 2009**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010b. p. 117-134. (Embrapa Trigo. Documentos, 96).
- CQFS-RS/SC. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400 p.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Trigo Brasil: série histórica de área plantada, produtividade e produção**. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_05_11_16_54_04_trigoseriehist.xls>. Acesso em 20 mai. 2016.
- CUNHA, G. R.; SCHEEREN, P. L.; PIRES, J. L. F.; MALUF, J. R. T.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; SILVA, M. S. e; DOTTO, S. R.; CAMPOS, L. A. C.; FELÍCIO, J. C.; CASTRO, R. L. de; MARCHIORO, V.; RIEDE, C. R.; ROSA FILHO, O.; TONON, V. D.; SVOBODA, L. H. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 35 p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online, 20). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci20.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2016.
- DE MORI, C.; CAIERÃO, E.; PIRES, J. L. F.; STRIEDER, M. L.; FAE, G. S.; VIEIRA, V. M. Sistemas de cultivo de trigo nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 6., 2012, Londrina. **Resumos...** Londrina: IAPAR, 2012. p. 1-5.
- DE MORI, C.; HARGER, N.; FOLONI, J. S. S.; EICHELBERGER, L.; BASSOI, M. C.; DOSSA, A. A.; OLIVEIRA, A. B. de; BODNAR, A.; FAE, G. S.; TAVARES, L. C. V.; CESA, P. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná - safra 2012**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2014. 31 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 148).
- DE MORI, C.; HARGER, N.; PRANDO, A. M.; SILVA, S. R.; TAVARES, L. C. V.; BASSOI, C. M.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, A. B.; LIMA, D.; SILVA FILHO, P. M. da. **Uso de tecnologias em lavouras de trigo tecnicamente assistidas no Paraná - safra 2014**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2016. 42 p. (no prelo)
- DE MORI, C.; PIRES, J. L.; LHAMBY, J. C. B.; RICETTI, A.; MELO FILHO, G. Wheat cropping system and its costs in Brazil (2003-2004). In: BUCK, H.T.; NISI, J. E.; SALOMÓN, N. (Ed.). **Wheat production in stressed environments**. Dordrecht: Springer, 2007. p. 178. (Developments in Plant Breeding, 12)
- ELGHARABLY, A. Wheat response to combined application of nitrogen and phosphorus in a saline sandy loam soil. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 57, p. 396-402, 2011.
- FOWLER, D. B. Direct-seeding equipment. In: **Winter wheat growers calendar**. Saskatoon: University of Saskatchewan, 2002. Disponível em: <http://www.usask.ca/agriculture/plantsci/winter_cereals/winter-wheat-production-manual/chapter-6.php>. Acesso em: 24 jun. 2016.
- HARGER, N.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; PIRES, J. L. F.; PIMENTEL, M. B. M.; IGNACZAK, J. C.; MAURINA, A. C.; DE MORI, C.; FERREIRA FILHO, A. Uso de tecnologias em lavouras de trigo no Paraná, período 1994 a 2010. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 5., 2011, Dourados. **Ata e Resumos...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 5 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. 2016. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=t&o=10&i=P&c=1612>>. Acesso em: 20 mai. 2016. Nota: Banco de dados agregados de estudos e pesquisas realizados pelo IBGE.
- LONGNECKER, N. E.; MARCAR, N. E.; GRAHAM, R. D. Increased manganese contents of barley seeds can increase grain yield in manganese-deficient conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 42, p.1065-1074, 1991.
- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. New York: Academic Press, 2012. 651 p.
- PAIVA, O. Notas sobre fisiologia e seleção de trigo. **Revista Agronômica**, Porto Alegre, v. 6, p. 535-536, 1942.
- PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; PASINATO, A. Caracterização do sistema de produção das principais culturas de grãos do sul do Brasil – potencialidades do ambiente x riscos climáticos. In: CUNHA, G. R. da. **Lidando com riscos climáticos: clima, sociedade e agricultura**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. p. 169-216.
- PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; DALMAGO, G. A.; PASINATO, A.; SANTI, A.; PEREIRA, P. R. V. da S.; SANTOS, H. P. dos; SANTI, A. L. Integração de práticas de manejo no sistema de produção de trigo. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G.R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 77-114.
- RAMOS, M. Caracterização da curva de resposta do trigo à aplicação de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 16, p. 611-615, 1981.
- RENGEL, Z. Uptake and transport of manganese in plants. In: SIGEL, A.; SIGEL, H. (Ed.). **Metal ions in biological systems**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2000. p. 57-87.
- SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos proteicos**. São Paulo: Livraria Varela, 1996. 517 p.
- SHARMA, C. P.; SHARMA, P. N.; CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S. C. Manganese deficiency in maize effects pollen viability. **Plant and Soil**, v. 138, p. 139-142, 1991.
- SMITH, C.; BROWN, K. W.; DEUEL, L. E. Plant availability and uptake of molybdenum as influenced by soil type and competing ions. **Journal of Environmental Quality**, v. 16, p. 377-382, 1987.
- SPARKS, D. L. **Environmental soil chemistry**. 2nd ed. San Diego: Elsevier, 2003. 352 p.
- USDA. United States Department of Agriculture. **Databases: production, supply and distribution online**. 2016. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/>>. Acesso em: 20 mai. 2016.
- VALLEE, B.L.; AULD, D. S. Zinc coordination, function, and structure of zinc enzymes and other proteins. **Biochemistry**, v. 29, p. 5647-5659, 1990.
- WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, v. 24, p. 115-119, 2007.
- WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo. p. 135-184, 2011.
- WIETHÖLTER, S.; SCHEEREN, P.; CAIERÃO, E. Efeito da aplicação de nitrogênio ao solo na qualidade do grão e no rendimento de cultivares de trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 3 p. 1. CD-ROM.