

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR

**DESEMPENHO DA LAVOURA DE TRIGO E
ATRIBUTOS DO SOLO EM RAZÃO DE FONTES E
DOSES DE NITROGÊNIO EM SEMEADURA E
COBERTURA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RONALDO DO NASCIMENTO

GUARAPUAVA-PR

2014

RONALDO DO NASCIMENTO

**DESEMPENHO DA LAVOURA DE TRIGO E ATRIBUTOS DO SOLO EM RAZÃO
DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO EM SEMEADURA E COBERTURA**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual do Centro-Oeste, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, área de
concentração em Produção Vegetal, para a
obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller
Orientador

GUARAPUAVA-PR

2014

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

N244d Nascimento, Ronaldo do
Desempenho da lavoura de trigo e atributos do solo em razão de fontes e doses de nitrogênio em semeadura e cobertura / Ronaldo do Nascimento. – – Guarapuava, 2014
xi, 60 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, 2014

Orientador: Marcelo Marques Lopes Müller
Banca examinadora: José Salvador Simoneti Foloni, Jackson Kawakami, Marcelo Marques Lopes Müller

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. Nitrogênio. 4. Nutrição. 5. Teores no solo. 6. Produtividade. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

CDD 633.11

RONALDO DO NASCIMENTO

**DESEMPENHO DA LAVOURA DE TRIGO E ATRIBUTOS DO SOLO EM RAZÃO DE
FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO EM SEMEADURA E COBERTURA**

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual do Centro-Oeste, como
parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, área de
concentração em Produção Vegetal, para a
obtenção do título de Mestre.

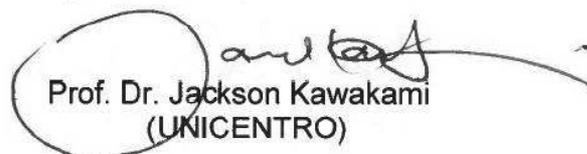
Aprovada em 28 de fevereiro 2014.



Prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller
(UNICENTRO)



Dr. José Salvador Simonetti Foloni
(EMBRAPA-SOJA)



Prof. Dr. Jackson Kawakami
(UNICENTRO)

GUARAPUAVA-PR

2014

Dedico aos meus pais por toda dedicação e amor.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela concessão, pela saúde e pelas pessoas direcionadas ao meu caminho.

A minha Família Veroni, Ivone, Eliane e Tatiane do Nascimento, também aos cunhados Jair de Souza e Rodrigo Alves, por todo o apoio e amor, durante esta caminhada, sendo meus alicerces em todas as horas, aos meus pais pelo apoio que indiretamente tornaram e tornam cada obstáculo em um degrau, sendo este casal a inspiração de meus esforços.

A Universidade Estadual do Centro-Oeste e os docentes pelo conhecimento e oportunidades concedidas ao longo do curso de Graduação e Pós Graduação.

A Lucília pela grande ajuda, dedicação e compreensão durante todo o curso.

Em especial ao prof. Dr. Marcelo Marques Lopes Müller, pela imensa dedicação, orientação e principalmente pela amizade, companheirismo e respeito acima de tudo.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR pela concessão da área utilizada no experimento e também aos pesquisadores e funcionários que auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

Aos colegas Leandro Michalovicz, Luiz Fernando Machado Kramer, Leandro Meert, Marcelo Vicensi, Alex Benaski, Cristiano Ortolan, Éliton Ianisk, Fábio Ortolan, Ivan Kowaltschuk, Tales Roberto Galina, Christian Lopes, André Almeida, Julio Cezar Vidigal, pela ajuda durante a condução do experimento e pela amizade durante todos estes anos.

A família Silva Alves, dona Maria Alvacir, Acir, Andréia, Alenilson e Adriana, que por muito tempo estiveram presentes em minha vida, sempre contribuindo de forma positiva.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

A todos aqueles que tenham contribuído de alguma forma, tanto para o desenvolvimento pessoal como o do trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	3
3. CAPÍTULO I - NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO SOB PD EM FUNÇÃO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA COM DIFERENTES FONTES	4
3.1. Resumo:.....	4
3.2. Abstract:	5
3.3. Introdução.....	6
3.4. Materiais e Métodos	7
3.5. Resultados e Discussão	11
3.6. Conclusões.....	30
4. CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB EFEITO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DO TRIGO COM DIFERENTES FONTES DE N	31
4.1. Resumo:.....	31
4.2. Abstract:	32
4.3. Introdução.....	33
4.4. Materiais e Métodos	35
4.5. Resultados e Discussão	36
4.6. Conclusões.....	51
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Teor de nitrogênio em folhas de trigo (Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).	12
Tabela 2. Massa de mil grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).	13
Tabela 3. Índice de acamamento do trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).	14
Tabela 4. Produtividade do trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).	16
Tabela 5. Nitrogênio acumulado nos grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).	18
Tabela 6. Teor de nitrogênio em folhas de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).	20
Tabela 7. Massa de mil grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).	21
Tabela 8. Produtividade do trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).	22

Tabela 9. Nitrogênio acumulado nos grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).	23
Tabela 10. Teor de nitrogênio em folhas de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).	25
Tabela 11. Massa de mil grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).	26
Tabela 12. Produtividade de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).	27
Tabela 13. Nitrogênio acumulado nos grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação-N, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).	29
Tabela 14. Valores de pH do solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).	36
Tabela 15. Valores de pH do solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, na safra 2012, (Guarapuava, 2014).	38
Tabela 16. Valores de pH do solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, na safra de 2013 (Guarapuava, 2014).	40
Tabela 17. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, aos 80 dias após a semeadura e 30 dias após a cobertura, na safra de 2011 (Guarapuava, 2014).	43

Tabela 18. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, aos 80 dias após a semeadura e 30 dias após a cobertura na safra de 2012 (Guarapuava, 2014).	45
Tabela 19. Teores de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-) no solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, aos 80 dias após a semeadura e 30 dias após a cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dados meteorológicos nos anos de 2011, 2012, 2013 e médias históricas em Guarapuava, Paraná (Guarapuava, 2014).	9
---	---

RESUMO

NASCIMENTO, R. Desempenho da lavoura de trigo e atributos do solo em razão de fontes e doses de nitrogênio em semeadura e cobertura.

A adubação nitrogenada (adubação-N) no trigo permanece muito discutida, sobretudo em sistema plantio direto (SPD), em que o manejo de doses de nitrogênio (N) em semeadura e cobertura pode alterar a produtividade, dependendo da fonte de N. O objetivo com o trabalho foi avaliar o manejo da adubação-N do trigo em SPD com as fontes ureia, ureia tratada com inibidor de urease (ureia + NBPT) e nitrato de amônio (NA), utilizando 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ de N na semeadura e/ou em cobertura. Os manejos com doses totais crescentes resultaram em acréscimos nos teores foliares de N, cujos valores com a fonte NA nunca foram superados pelos das demais fontes. A massa de mil grãos (MMG) na fonte NA foi inferior em relação às demais fontes em 2011, e em 2013 a MMG com ureia + NBPT foi maior em relação à ureia, e os manejos com as menores doses de N tiveram maior MMG. Quanto à produtividade e o acúmulo de N nos grãos tiveram comportamento similar em relação às fontes, sendo que em 2012, safra com déficit hídrico, a fonte NA foi superior às demais, e em 2013, safra sem déficit hídrico, ureia + NBPT foi superior ao NA. Os manejos com doses totais crescentes de N resultaram em aumento da produtividade e do N acumulado nos grãos. No solo, a adição de NBPT à ureia diminuiu o pH em relação à ureia isolada, em diferentes camadas avaliadas, mas sem diferença em relação ao NA. Este comportamento do pH do solo foi influenciado pelas variações climáticas entre as safras. Dentre os manejos, 0+40 e 80+40 kg ha⁻¹ de N normalmente acidificaram o solo em relação aos demais tratamentos. Para os teores de NO₃⁻ e NH₄⁺ do solo, não se observaram diferenças até 20 cm de profundidade em 2011, mas em 2012 e 2013 a ureia + NBPT mostrou menores teores de NH₄⁺ em relação a NO₃⁻ quando comparada à ureia, devido à nitrificação do NH₄⁺, já a partir de 20 cm não se observam efeitos das fontes. Em 2011 e 2013, quando a produtividade e a exportação de N foram grandes com os manejos de 40+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ no solo diminuíram aos níveis observados na testemunha (0+0 kg ha⁻¹ de N), baixos neste caso pela não adição de N via fertilizantes. Em 2012, a testemunha revelou teores normalmente menores que os demais manejos, para NO₃⁻ e NH₄⁺, pois com o déficit hídrico, houve menor absorção das plantas, fazendo com que a adubação mineral mantivesse teores mais elevados.

Palavras chave: Nitrogênio, nutrição, teores no solo, produtividade.

ABSTRACT

NASCIMENTO, R. Handling on field cultivation of wheat and soil attributes has affected for nitrogen sources, rates in sowing and top dressing application.

Nitrogen fertilization of wheat remains under discussion, especially in no tillage (PD), whereupon the management nitrogen (N) rates in sowing and as topdressing may alter yield, depending on N source used. The objective with this work was to evaluate the Management of wheat nitrogen fertilization under PD using the sources urea, urea treated with urease inhibitor (ureia + NBPT) and ammonium nitrate (NA), applying 0, 40 and 80 kg ha⁻¹ of N in sowing furrow and/or as topdressing. The managements with growing total N rate resulted in increasing N levels on wheat flag leaf, whose values with source NA were never overcome by other sources. The thousand grain weight (MMG) for NA source was inferior to that obtained with other sources in 2011, and in 2013 the MMG with urea + NBPT was higher in relation to urea alone, and the managements with lower N rates had higher MMG. Grain yield and N accumulation in grains had similar behavior in relation to the sources, with NA being superior to other sources in 2012, under a water deficit condition, and urea + NBPT being superior to NA in 2013, under normal water condition. The managements with growing N rates resulted in higher yield and N accumulation in grains. The addition of NBPT to urea decrease soil pH in relation to urea alone, in different evaluated soil layers, but without difference to NA source. This behavior of soil pH was influenced by climatic variation in the crop seasons. Among N managements, 0+40 and 80+40 kg ha⁻¹ of N normally acidified the soil in relation to other treatments. For the NO₃⁻ and NH₄⁺ levels into the soil, no differences were observed until 20 cm depth in 2011, but in 2012 and 2013 the urea + NBPT source showed lower NH₄⁺ levels in relation to NO₃⁻ in comparison to urea, due to nitrification. At the 20-40 cm layer, no source effect was observed. In 2011 and 2013, when yield and N exportation were high with managements of 40+40 and 80+80 kg ha⁻¹ of N, the NH₄⁺ and NO₃⁻ soil levels decreased to the levels observed with control (0+0 kg ha⁻¹ de N), low in this case because no N was applied with mineral fertilizer. In 2012, control revealed soil N levels normally lower in relation to other managements, for NO₃⁻ and NH₄⁺, once with water deficit there was lower plant absorption, causing mineral fertilization to maintain higher N levels in the soil.

Key words: Nitrogen, nutrition, soil levels, yield.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nitrogênio (N) é de grande importância na agricultura por ser o nutriente do solo em teor mais elevado na maioria das plantas, participando em muitas reações e moléculas essenciais ao metabolismo, como ácidos nucleicos, proteínas, enzimas e clorofila. No solo, 98% do N estão na forma orgânica e 2% como mineral (MALAVOLTA, 2006), mas para que alguma parte do N orgânico seja disponibilizada às plantas, resíduos culturais e matéria orgânica do solo (MO) precisam sofrer mineralização, processo dinâmico principalmente em função de temperatura e umidade do solo e relação carbono/nitrogênio (C/N) do material. Portanto, a agricultura se beneficia do N orgânico, mas em geral se baseia no uso de fertilizantes contendo N mineral.

Em 2011, o consumo global de fertilizantes nitrogenados foi de $112,3 \times 10^6$ toneladas, sendo correspondentes a 61% de todo N P K – os nutrientes mais consumidos na agricultura, significando pouco em relação às 3,6 milhões de toneladas consumidas no Brasil, que apesar da grande extensão territorial é um pequeno consumidor de N (FAO, 2013). No país, o uso se dá, sobretudo, para gramíneas como o trigo, que predomina nas lavouras comerciais de inverno da região Sul do País, onde se concentra 90% da produção nacional do cereal, de 4,8 milhões de toneladas em 2013, insuficiente para a demanda que, em 2013, implicou na importação de mais 6,7 milhões de toneladas (CONAB, 2013), confirmando o papel do Brasil de importador do cereal no cenário mundial, havendo, portanto, demanda para um possível aumento da produção nacional.

Para que uma tonelada de grãos seja produzida, as plantas de trigo consomem cerca de 29 kg ha^{-1} de N, dos quais 23 kg ha^{-1} são exportados nos grãos (CANTARELLA et al., 1997). Portanto, a adubação nitrogenada (adubação-N) da cultura depende do nível de produtividade almejado, bem como da cultura antecessora, cujos restos culturais, juntamente com a MO (CBPTT, 2012), tornam-se fontes complementares de N em relação à fertilização mineral.

A fonte usada para fornecer o N, a dose e o momento da aplicação são cofatores dos efeitos da adubação-N na produção, sendo estudados não só por esse aspecto, mas também pelo impacto da adubação-N nos custos de produção. Não por acaso, a principal fonte de N produzida e utilizada no Brasil e no Mundo é a ureia, que pelo alto teor de N (45%) apresenta-se como a mais barata por tonelada de N, sendo ainda vantajosa na logística de transporte e aplicação (YANO et al., 2005). Porém, além de ser higroscópica, o que causa

empedramento do adubo, a ureia tem índices salino e de acidificação do solo relativamente altos, sendo importante a susceptibilidade à perda de N por volatilização de amônia (NH_3).

Para diminuir perdas, criaram-se os fertilizantes de eficiência aumentada (FEA), caso da ureia com inibidor de uréase, exemplificado pelo NBPT (tiofosfato de N-n-butiltriamida), que modificado no solo reduz a taxa de hidrólise da ureia por 3-7 dias e, com isso, as perdas de N por volatilização (CANTARELLA, 2007). Por outro lado, os FEA têm custo maior, tornando atrativos os fertilizantes comuns que não possuem aspectos negativos de perdas como a ureia, como o nitrato de amônio (NA), que é menos salino e, tendo um radical amônio (NH_4^+) e outro nitrato (NO_3^-), que teoricamente acidifica menos o solo e sofre menor perda por volatilização. Em nível mundial, a participação do NA na matriz nitrogenada aumentou nos anos 2000, sendo o segundo fertilizante nitrogenado mais produzido, depois da ureia (MESQUITA, 2007).

Dependendo da cultura anterior, potencial produtivo e resistência da cultivar de trigo ao acamamento, no Paraná são recomendados até 140 kg ha^{-1} de N (IAPAR, 2003), parcelados na semeadura e em cobertura, sendo que a dose no sulco de semeadura propicia menores perdas de N por volatilização – se a fonte é formadora de NH_3 como a ureia, e imobilização, sobretudo em plantio direto com palha de alta relação C/N sobre o solo. Por sua vez, a dose a lanço em cobertura minimiza a salinização do solo e/ou, dependendo do fertilizante, a formação de teor tóxico de NH_3 e/ou NH_4^+ próximo às sementes, que causa injúria às plântulas, além de propiciar menor tempo de abastecimento da semeadora-adubadora, aumentando o rendimento operacional.

Considerando que tanto as condições ambientais quanto as especificidades dos sistemas produtivos e as características das cultivares de trigo variam nas regiões tritícolas brasileiras, e que estas encontram-se predominantemente manejadas sob sistema plantio direto (SPD), o manejo da adubação-N, em semeadura e cobertura, deve ser estudado regionalmente, a fim de se estabelecer as melhores condições para obtenção de produtividades elevadas.

2. OBJETIVOS

Teve-se por objetivo, com este trabalho, avaliar o manejo da adubação-N do trigo com as fontes ureia, ureia + NBPT e nitrato de amônio, utilizando diferentes doses de N nos sulcos de semeadura e a lâncõ em cobertura, sob SPD em Guarapuava-PR.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I – Avaliar as respostas do trigo sob SPD ao manejo da adubação-N com as fontes ureia, ureia tratada com inibidor de urease e nitrato de amônio, aplicadas em diferentes combinações de dose e estágio da cultura;

II – Avaliar alterações nos atributos químicos do solo sob SPD pela adubação-N do trigo, utilizando diferentes fontes de N manejadas em doses crescentes nas adubações de semeadura e cobertura.

3. CAPÍTULO I - NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DO TRIGO SOB SPD EM FUNÇÃO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA COM DIFERENTES FONTES

3.1. RESUMO: o objetivo deste trabalho foi verificar as repostas das plantas de trigo ao uso de ureia, ureia + NBPT e nitrato de amônio (NA), testados sob diferentes manejos de adubação nitrogenada, combinando 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ em semeadura e/ou cobertura, o experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos ao acaso sob esquema fatorial. Foram analisadas as folhas bandeira e avaliados os componentes de produção do trigo. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, no caso das fontes, e Scott-Knott, no caso dos manejos, com 5% de probabilidade de erro. As fontes tiveram comportamentos distintos, nas safras 2011 e 2013 a ureia + NBPT e a ureia tiveram resultados inferiores, respectivamente, o incremento das doses de N aumentou o teor foliar de N do trigo, destacando-se a dose as doses mais elevadas de N. A fonte NA teve os mais elevados índices de acamamento em 2011, principalmente nos manejos com grandes quantidades de nitrogênio. Quanto à produtividade e o N-acumulado nos grãos ambos possuem comportamento similar em relação às fontes, já que, o N-acumulado deriva da produtividade, assim, na safra de 2011 não se observaram grandes diferenças entre as fontes, os manejos com maior destaque foram em 40+40 e 80+80 kg ha⁻¹, para a safra de 2012 a fonte NA foi superior a ureia em produtividade e foi superior as demais fontes para o N-acumulado, destacando se os manejos com a maiores doses de N principalmente 80+80 kg ha⁻¹, em 2013 a fonte ureia + NBPT foi superior a NA para a produtividade e para N-acumulado, mostrando ser mais eficiente na nutrição e na produtividade das plantas, destacando em ambos os casos as doses de 80+80 e 40+40 kg ha⁻¹.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, Doses, Ureia + NBPT, N Acumulado.

NUTRITION AND YIELD OF WHEAT IN FUNCTION OF NITROGEN FERTILIZATION MANAGEMENT WITH DIFFERENT N SOURCES

3.2. ABSTRACT: the aim with this work was to evaluate the response of wheat to nitrogen fertilization management, using urea, urea + NBPT and Ammonium Nitrate (NA) combined with 0, 40 and 80 kg ha⁻¹ in wheat growth stages, using randomized blocks in factorial design with 3 (sources) x 9 (nitrogen fertilization management). Wheat flag leaf was sampled for chemical analysis and productivity components were evaluated. Results were submitted to analysis of variance and means compared by Tukey's test, for source means, and Scott-Knott test, for fertilization management, at 5 % of error probability. The sources has behavior unusual, in 2011 and 2013 crops, the urea + NBPT and urea keep lowest results, respectively in the crops, the increment in nitrogen rates increasing the leaf N level mainly in N rates higher. The plant lodging, increasing in the sequence: urea + NBPT < urea < NA, and when increasing the nitrogen rates in 2011 especially in high rates nitrogen. The yield and grain N-accumulated, both was similar behavior in the sources, whereas, the N-accumulation is measured as from productivity, thus in crops 2011 the large differences none was found among the sources, the management with greater emphasis were found in 40+40 e 80+80 kg ha⁻¹, in to crops at 2012 the NA source was upper the urea in yield, was the uppermost all sources for evaluation of N-accumulated, standing out management with highest N rates mainly 80+80 kg ha⁻¹, in 2013 the urea + NBPT was superior then NA in productivity and N-accumulated, showing to the more effective on nutrition and plant productivity, in both cases highlight in 80+80 e 40+40 kg ha⁻¹ rates.

Key words: *Triticum aestivum*, Rates, Urea + NBPT, N Accumulated.

3.3. INTRODUÇÃO

A grande oscilação de preços na compra de insumos e na comercialização dos grãos tem fragilizado o setor tritícola brasileiro nos últimos anos, sendo a adubação, sobretudo nitrogenada, grande responsável pelos custos das lavouras. Na safra 2013, os fertilizantes foram responsáveis por 1/3 dos custos de produção do trigo (HIRAKURI, 2013). Embora os fertilizantes onerem a produção, o aumento da produtividade é uma forma de viabilizar a triticultura, e que normalmente está associado ao aumento das doses de N. Outra forma de garantir boa produtividade e controlar os custos é aumentar a eficiência de uso dos fertilizantes.

A fim de maximizar os efeitos positivos das adubações, vários estudos vêm testando fontes de N e medindo sua eficiência, seja pelo maior aproveitamento (HEINRICHS, 2006), pelas menores perdas (MAGRO, 2012; SOARES et al., 2012) ou pelo menor efeito fitotóxico do N-fertilizante às plantas (BRITTO e KRONZUCKER, 2002). A fonte de N mais produzida no mundo é a ureia (IFA, 2012), uma das mais concentradas fontes sólidas, com aproximadamente 45% de N, cujo uso é amplo em regiões subtropicais devido à menor relação R\$/kg de N (CANTARELLA, 2007). Mesmo amplamente utilizada, a ureia tem limitações como a alta higroscopicidade, que causa empedramento, a existência de uma fase gasosa (NH_3) que pode intoxicar as plântulas e o fato de que, em solos com pH próximo à neutralidade ou alcalinos, as perdas de N na forma de NH_3 podem aumentar substancialmente.

As vantagens da ureia podem justificar o uso de aditivos, a fim de reduzir as perdas, sem grandes alterações no preço final. Inibidores da enzima urease têm sido empregados para aumentar a eficiência, caso do NBPT, que misturado à ureia permite se ter um fertilizante com as mesmas vantagens da ureia, mas que mantém a fonte no solo sem volatilização de NH_3 por um período de 3 a 7 dias, aumentando as chances de incorporação ao solo, reduzindo as perdas (CANTARELLA, 2007), além de reduzir o contato direto com os restos culturais em SPD, conseqüentemente, reduzindo a imobilização temporária do N (WIETHÖLTER, 2011), que nos estádios iniciais do trigo pode representar competição, ocasionando deficiência de N e queda na produtividade de grãos.

Entre as demais fontes de N, o nitrato de amônio (34% de N) recentemente recebeu restrições ao comércio, pelo potencial risco de explosão e uso em na fabricação ilegal de explosivos, mas nos últimos anos tem sido a segunda fonte de N mais comercializada dentre as disponíveis no mundo (IFA, 2012). É uma importante fonte de N pela menor predisposição

a perdas por volatilização, pelo baixo poder acidificante do solo e pelo suprimento misto de N nas formas amoniacal e nítrica, o que favorece a absorção de nutrientes em geral, por minimizar a disputa do N com outros elementos pelos sítios de absorção (PRIMAVESI et al., 2005).

Quanto ao manejo de aplicação do N, maior eficiência das fontes ocorre quando o fertilizante é incorporado ao solo (CBPTT, 2012), diminuindo perdas por volatilização e aumentando a interação com o solo (adsorção), o que reduz a lixiviação. Há algumas dificuldades com a aplicação em cobertura, podendo causar injúrias à cultura já instalada e dificuldades, como a ocasionada pela palhada na superfície do solo em SPD. No momento da semeadura, os problemas da incorporação do fertilizante ao solo estão relacionados com as fontes de alto índice salino, em que, doses elevadas podem dificultar a absorção de água pelas sementes e plântulas, prejudicando o estande, principalmente nas fontes amoniacais, já que as formas NH_3 e NH_4^+ , em equilíbrio no solo, são tóxicas se acumuladas nos tecidos vegetais (MARSCHNER, 1995; TISDALE et al., 1985). Por outro lado, a aplicação da dose total de N em semeadura ou cobertura pode ser uma forma de reduzir os custos da lavoura com operações mecanizadas.

A adubação em cobertura por sua vez, é necessária, principalmente quando se almeja atingir altos índices de produtividade, tendo o solo baixo teor de MO ou quando as doses totais de N são grandes, pois neste caso o parcelamento pode reduzir as perdas (CBPTT, 2012), sendo a proporção entre a semeadura e cobertura dependente do manejo empregado no sistema produtivo. Megda et al., (2009) observaram maior teor de N nas folhas bandeiras e maior produtividade de trigo em função de doses de N em cobertura, mostrando ser o manejo mais adequado para a condição estudada, embora, segundo os autores, doses elevadas de N diminuam a autonomia de trabalho (eficiência operacional) e aumentem as perdas de N.

O objetivo, com o trabalho, foi avaliar as respostas do trigo ao manejo do N, aplicando ureia, ureia tratada com inibidor de urease (ureia+NBPT) e nitrato de amônio, em diferentes doses aplicadas nos sulcos de semeadura e em cobertura, em SPD em Guarapuava-PR.

3.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi implantado em julho de 2011, na Estação Experimental do Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), em Guarapuava-PR, macrorregião tritícola I. A área, com altitude de 960 metros e situada a 25°22'57" de latitude Sul e 51°33'04" de longitude Oeste,

havia sido cultivada aveia no inverno 2010 e soja no verão 2010-2011, em SPD, empregado na área há mais de 10 anos no cultivo das espécies citadas em sucessão.

O solo da área experimental foi amostrado antes do início do estudo, apresentando os seguintes resultados analíticos para a camada de 0 a 20 cm: 53,6 g dm⁻³ de MO; 0,82 g dm⁻³ de P; pH_{CaCl₂} 5,01; 0,05 cmol_c dm⁻³ de Al³⁺; 7,37 cmol_c dm⁻³ de H+Al; 4,52 cmol_c dm⁻³ de Ca⁺²; 3,05 cmol_c dm⁻³ de Mg⁺²; 0,52 cmol_c dm⁻³ de K⁺; e teores de areia, silte e argila, de 46, 227, 727 g kg⁻¹, respectivamente. No mapa de solos do Paraná (BHERING e SANTOS, 2008), o local se situa na unidade de mapeamento LBd5 – Latossolos Brunos Distróficos.

O clima é caracterizado como Cfb (Köppen), de verão ameno e temperatura média no mês mais quente inferior a 22°C, com geadas severas e temperatura média abaixo de 18°C no mês mais frio, sem estação seca definida (IAPAR, 2000), com índice pluviométrico anual acima de 1800 mm ano⁻¹ segundo Wagner et al., (2009). Encontram-se na Figura 1 os dados de precipitação no período experimental dispostos em decênios (0-10; 10-20; 20-30/31), bem como de precipitação histórica (1976-2010) e temperatura média mensal e histórica (1976-2010), nas safras de 2011 (a), 2012 (b) e 2013 (c) durante os meses do ciclo de cultivo do trigo.

Os tratamentos foram constituídos pelas fontes ureia (45% N), ureia + NBPT (45% de N + N-(n-butil) triamida tiofosfórica) e nitrato de amônio (34% de N), manejadas nas seguintes combinações de doses de N na semeadura e em cobertura: 0+0; 0+40; 0+80; 40+0; 40+40; 40+80; 80+0; 80+40; 80+80 kg ha⁻¹ de N, em delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x9, com quatro repetições e parcelas com 2,35 x 7,00 m (L x C) cada. Na fase de semeadura, as fontes de N foram misturadas com superfosfato triplo, fonte de fósforo (P), e cloreto de potássio, fonte de potássio (K), nas quantias necessárias para formar as doses crescentes de N e constantes de P e K, determinadas em acordo com a análise de solo e as recomendações para o trigo (CBPTT, 2012). Na adubação de cobertura, as fontes de N foram aplicadas a lanço em superfície, na fase de perfilhamento da cultura. O manejo de plantas daninhas, pragas e doenças seguiu recomendações oficiais conforme a CBPTT (2012).

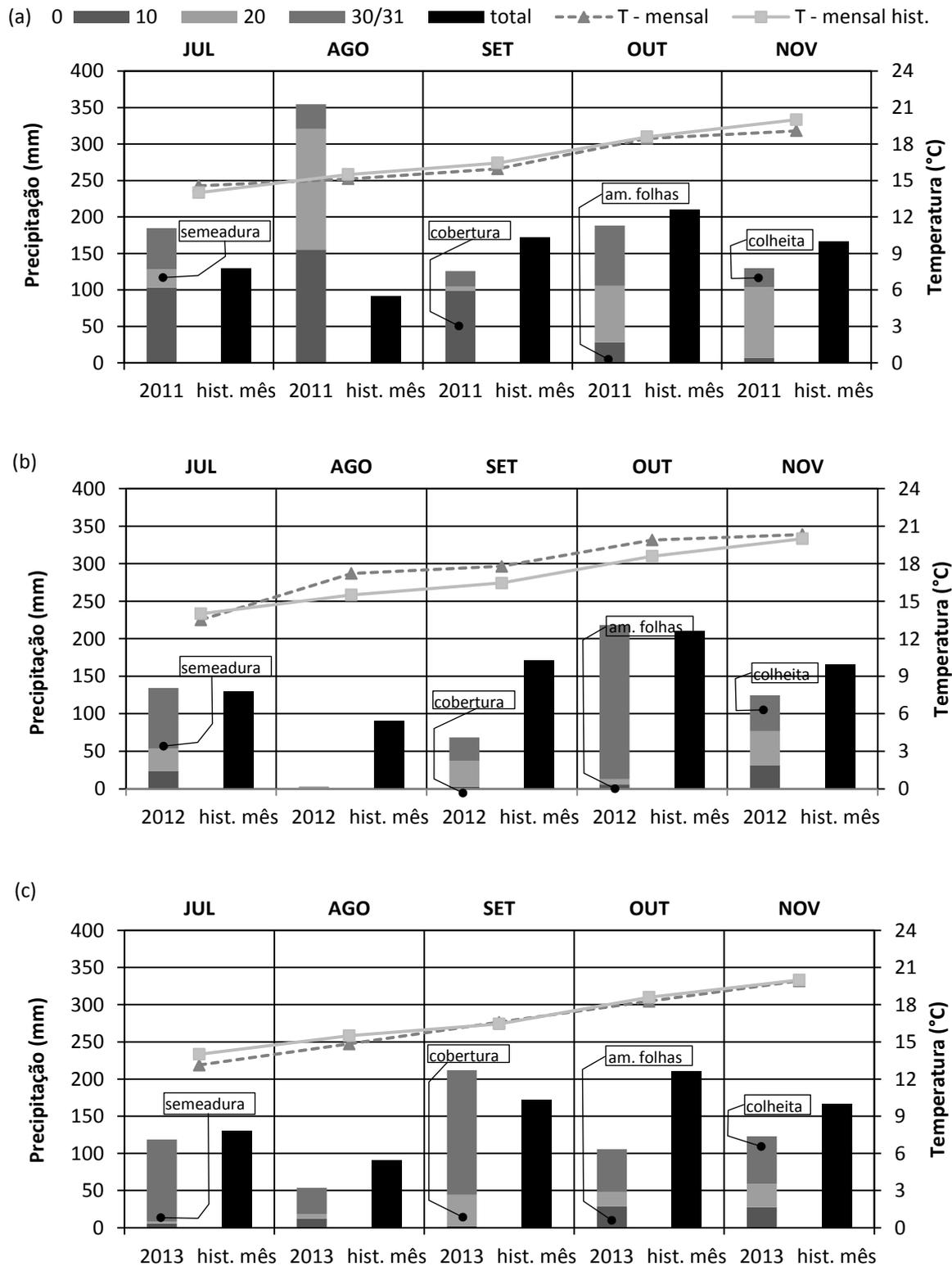


Figura 1. Dados meteorológicos nos anos de 2011, 2012, 2013 e médias históricas em Guarapuava, Paraná (Guarapuava, 2014).

O trigo foi cultivado nas safras de 2011, 2012 e 2013, precedido por soja, milho (sem adubação-N) e soja, respectivamente, sendo os cultivos de milho em 2011-2012 e soja em

2012-2013 implantados durante o período experimental e conduzidos segundo recomendações oficiais para cada cultura (EMBRAPA, 2011; 2006). A cultivar de trigo utilizado foi a Mirante da OR[®] Sementes, uma das mais semeadas na região à época, sendo muito produtiva e moderadamente resistente ao acamamento (OR, 2013). Utilizou-se espaçamento de 17 cm entre linhas e quantidade de sementes calculada para população de 3.300.000 plantas ha⁻¹, conforme recomendações da empresa detentora, sendo este ajuste comum na região do estudo.

Foram realizadas análises químicas para quantificar os teores de N nas folhas e nos grãos (EMBRAPA, 2009). Para tanto, foram utilizadas sub amostras dos grãos colhidos em cada parcela e, no caso das folhas, colhidas 30 folhas bandeira de trigo no estágio fenológico 8.0 folha bandeira visível (CBPTT, 2013 adaptado de LARGE, 1954). Posteriormente, foi estimado o acúmulo de N nos grãos (kg de N ha⁻¹) com base na produtividade de grãos (kg ha⁻¹) e no teor de N nos grãos (g kg⁻¹).

A massa de mil grãos (MMG) e a produtividade foram avaliadas na fase de maturação fisiológica da cultura, sendo a colheita realizada com colhedora de parcelas automotriz, na área central das parcelas, desprezando-se 1 metro de bordadura em cada extremidade. O peso dos grãos foi corrigido para umidade de 130 g kg⁻¹. Calculou-se o índice de acamamento conforme citado por Penckowski et al. (2009), multiplicando-se a porcentagem de plantas acamadas na parcela pelo ângulo de inclinação das plantas em relação ao solo, dividindo-se o resultado por 100, também na fase de maturação, estágio fenológico 11,4 (CBPTT, 2013 adaptado de LARGE, 1954).

Os resultados foram submetidos aos seguintes procedimentos estatísticos: teste de Bartlett, para verificar homogeneidade de variâncias; análise de variância (ANOVA), com 5% de probabilidade de erro e em caso de significância, teste de Scott-Knott para agrupar os manejos de adubação-N, e teste de Tukey para comparar as fontes, sempre a 5% de probabilidade de erro, com o pacote ASSISTAT 7.6 BETA (SOTWARE ASSISTAT, 2012).

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Safra 2011

Foram observados efeitos significativos dos tratamentos sobre os teores de N em folhas de trigo (Tabela 1). Os teores foliares de N foram, em média, significativamente maiores com NA em relação à ureia + NBPT, mas independentemente de fonte e dose, todos os teores obtidos, mesmo os referentes ao tratamento 0+0 kg ha⁻¹ de N (testemunha), ficaram acima da faixa de teores adequados para o trigo, que é de 20 a 34 g kg⁻¹ (EMBRAPA, 2009).

Este resultado provavelmente se deve ao teor de matéria orgânica do solo em torno de 5%, também, ao cultivo de soja antecedendo o trigo nesta safra, a qual conta com fixação biológica de N, acumulando para cada tonelada de grãos produzida, em média 80 kg ha⁻¹ de N, sendo parte reciclável, no solo pelos resíduos culturais (SFREDO, 2008), de baixa relação C/N e que se decompõem facilmente, mineralizando quantias significativas de N para as plantas principalmente nas fases iniciais da cultura sucessora.

O teor foliar de N se elevou nos manejos com maior dose total de N. Aplicando ureia ou NA em combinações do agrupamento 0+80, 40+80 ou 80+40 kg ha⁻¹ de N, ou aplicando qualquer uma das fontes na combinação 80+80 kg ha⁻¹ de N, obteve-se aumento significativo do teor foliar de N em relação à testemunha. Aumento significativo também foi obtido nos manejos com doses menores, seja com 0+40 kg ha⁻¹ de N utilizando NA, ou com 0+80 kg ha⁻¹ de N utilizando qualquer uma das três fontes. Entretanto, o mesmo não ocorreu quando as mesmas doses foram aplicadas em semeadura, pois tanto 40+0 quanto 80+0 kg ha⁻¹ de N resultaram em teor foliar de N estatisticamente igual ao obtido com a testemunha, em todas as fontes.

Estes resultados demonstram que além da adubação-N ter aumentado o teor foliar de N, foi mais evidente nas doses de cobertura, em detrimento as de semeadura, geraram este aumento, com 40 ou 80 kg ha⁻¹ de N. Tal fato pode ser devido à menor necessidade inicial de N da cultura, e às possíveis perdas iniciais de N por lixiviação (MALAVOLTA et al., 1997), diluindo os efeitos das doses de N mineral na semeadura frente à ciclagem de N pela matéria orgânica do solo e pelos resíduos culturais da soja, conforme já mencionado.

Tabela 1. Teor de nitrogênio em folhas de trigo (Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura+cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹			g kg⁻¹	
0 + 0	44,57 aB*	44,86 aB	44,87 aB	44,76 D
0 + 40	47,14 bB	42,62 cB	51,78 aA	47,18 C
40 + 0	42,22 aB	45,70 aB	45,86 aB	44,59 D
40 + 40	45,75 bB	53,51 aA	47,76 bB	49,01 B
80 + 0	43,80 aB	47,42 aB	47,92 aB	46,38 C
0 + 80	55,10 aA	52,78 aA	52,20 aA	53,36 A
40 + 80	53,55 aA	46,57 bB	51,16 aA	50,43 B
80 + 40	52,95 aA	43,30 bB	52,03 aA	49,43 B
80 + 80	54,33 aA	53,31 aA	52,56 aA	53,40 A
Média	48,35 ab	47,77 b	49,56 a	
CV (%)		5,27		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Em relação às fontes, na média das doses de nitrogênio, sobressaiu-se a fonte NA quando comparada a Ureia + NBPT, entretanto, não foram observadas diferenças em relação as ureia. A fonte NA devido a fatores relacionados à nutrição de plantas, somente no manejo 40+40 kg ha⁻¹ de N a fonte foi superada pela ureia + NBPT, Poletto et al., (2011) em um estudo com várias proporções de nitrato e amônio, mostraram que as melhores respostas foram expressas pelas plantas de arroz, sob tratamentos com proporções iguais ou maiores de nitrato.

A MMG foi maior com as fontes ureia e ureia + NBPT em comparação ao NA (Tabela 2). Com ureia, o grupo com os manejos com 0+40 e 40+80 kg ha⁻¹ de N propiciaram os maiores valores de MMG. Com as outras fontes, sobressaiu-se o a combinação 0+80 kg ha⁻¹ de N, superior ao grupo dos outros tratamentos no caso de ureia + NBPT. No caso do NA, os tratamentos do grupo 0+80, 40+40 e 40+80 kg ha⁻¹ de N foram superiores as demais doses envolvidos em outro grupo.

A aplicação de N em cobertura propiciou, no geral, melhores resultados quanto à MMG. Aplicando 0+40 (ureia) e 0+80 kg ha⁻¹ de N (ureia + NBPT e NA), obteve-se aumento significativo da MMG em relação ao grupo da testemunha. Quando o agrupamento

envolvendo 40 kg ha⁻¹ de N foram aplicados em semeadura, à combinação com mais 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura provocou aumento significativo da MMG com a fonte ureia e NA e a combinação com mais 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura provocou aumento significativo da MMG com as fontes ureia e NA. Quando 80 kg ha⁻¹ de N foram aplicados em semeadura, nenhum agrupamento com combinação com dose de cobertura, seja com 40 ou com 80 kg ha⁻¹ de N, resultou em aumento significativo da MMG, em nenhuma das fontes estudadas.

Tabela 2. Massa de mil grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura+cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		g		
0 + 0	48,17aC*	48,19 aB	47,92 aB	48,09 B
0 + 40	50,67 aA	49,44 abB	48,22 bB	49,44 A
40 + 0	48,63 aC	48,92 aB	46,71 bB	48,10 B
40 + 40	49,26 aB	49,70 aB	49,09 aA	49,35 A
80 + 0	49,51abB	50,04 aB	48,12 bB	49,23 A
0 + 80	47,47 bC	52,12 aA	50,32 aA	49,97 A
40 + 80	50,91 aA	49,15 aB	50,01 aA	50,02 A
80 + 40	49,64 aB	48,63 aB	48,48 aB	48,92 B
80 + 80	49,12 aB	49,32 aB	47,91 aB	48,67 B
Média	49,26 a	49,51 a	48,52 b	
CV (%)		2,18		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Estes resultados podem ser explicados em função das fases fenológicas do trigo. Com base nas informações compiladas por Embrapa (2002), a fase vegetativa vai da germinação ao estágio de duplo-anel, quando no ponto de crescimento são diferenciadas apenas estruturas foliares, sendo possível afirmar, portanto, que o manejo da adubação-N com doses em semeadura afeta mais o crescimento inicial e a emissão de perfilhos, embora nesta fase também seja determinado o tamanho das espigas (diferenciação de espiguetas). Já a adubação em cobertura durante o perfilhamento ocorre no início da fase reprodutiva, que vai do duplo anel até a antese (floração), quando se forma a espiguetas terminal e o número de flores férteis é determinado, portanto a adubação de cobertura influencia mais nesta fase, na sobrevivência dos afilhos, definição do número de grãos por área e peso de grãos (VALÉRIO et al., 2009).

Espindula (2010), estudando doses de Ureia e Ureia + NBPT, com aplicação em semeadura (base) ou semeadura + cobertura, observou que com doses maiores de N aplicadas na base, os índices de colheita eram menores, pela maior produção de parte vegetativa em detrimento da produção de grãos. Outros trabalhos confirmam a tendência de MMG mais elevada em doses mais elevadas de N em cobertura em relação à semeadura (SILVA et al., 2008; TEIXEIRA FILHO et al., 2010).

Nesta safra de 2011, foi observado acamamento do trigo em função dos tratamentos, sendo calculados os índices de perda de colheita (Tabela 3). Com 0+0 kg ha⁻¹ de N, o acamamento das plantas foi mínimo. Mantendo-se 0 kg ha⁻¹ de N na semeadura, não houve acréscimo de acamamento até 40 kg ha⁻¹ de N na cobertura, mas com 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura o acamamento foi elevado, normalmente superado somente pela aplicação da dose máxima estudada, agrupada com 80+80 kg ha⁻¹ de N, que resultou em altos índices de acamamento nas três fontes.

Tabela 3. Índice de acamamento do trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		Índice de perda de colheita		
0 + 0	0 aA*	0 aA	0 aA	0 A
0 + 40	0 aA	0 aA	0 aA	0 A
40 + 0	0 aA	0,95 bB	0 aA	0,45 B
40 + 40	1,03 bB	0,96 bB	0,46 aA	0,81 C
80 + 0	0,53 aA	0 aA	1,35 bB	0,69 C
0 + 80	2,65 bD	1,55 aC	2,50 bC	2,23 D
40 + 80	0 aA	0,45 aA	1,31 bB	0,65 C
80 + 40	2,11 aC	1,85 aC	5,00 bE	2,99 E
80 + 80	2,75 aD	2,40 aD	4,40 bD	3,35 F
Média	1,10 a	0,93 a	1,81 b	
CV (%)		22,95		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Com 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura, o acamamento não se elevou muito. Já com 80 kg ha⁻¹ de N na semeadura ou cobertura o acamamento aumentou já com a dose de cobertura de 40 kg ha⁻¹ de N nas três fontes, aumentou ainda mais com 80 kg ha⁻¹ de N na cobertura nas três fontes, exceto no caso do NA, com o qual 40 kg ha⁻¹ de N na cobertura não havia elevado

significativamente o acamamento. No geral, manejos com doses de 40 kg ha⁻¹ de N, apresentaram resultados similares em termos de acamamento nas aplicações de sementeira e de cobertura. Comparando manejos com doses intermediárias, 0+80 e 80+0 kg ha⁻¹ de N, o grupo das aplicações em cobertura manifestou maiores acamamentos. Dentre os manejos com doses em sementeira e cobertura, a combinação de 80+80 kg ha⁻¹ de N resultou nos maiores índices de acamamento, e no agrupamento de 80+40 com 40+80 kg ha⁻¹ de N, 80+40 kg ha⁻¹ de N provocou mais acamamento, igualando-se a 0+80 kg ha⁻¹ de N (ureia + NBPT), mostrando que doses combinadas são melhores e as aplicações em doses mais baixas em cobertura geram menor acamamento.

No trabalho de Espindula et al. (2010), com até 120 kg ha⁻¹ de N na sementeira do trigo ou parcelados em sementeira e cobertura, constatou-se que o N aplicado em cobertura intensificou o acamamento da cultivar TBIO Pioneiro, moderadamente suscetível ao acamamento, o que não ocorreu com a cultivar BRS 210, resistente ao acamamento. Neste aspecto, a cultivar Mirante é classificada como moderadamente resistente ao acamamento (OR, 2013), mas com doses de 80 kg ha⁻¹ de N em cobertura, e 80+40 ou 80+80 kg ha⁻¹ de N combinados em sementeira e cobertura, o índice de acamamento também foi intensificado.

Na média das doses, o acamamento das plantas com a fonte NA foi maior do que com a ureia e ureia + NBPT. Embora o acamamento possa reduzir a produção e a qualidade dos grãos (SILVA et al., 1996), não houve efeito isolado das fontes de N na produtividade de grãos em 2011 (Tabela 4). Segundo Cruz (2001), os prejuízos devidos ao acamamento no trigo são pequenos ou insignificantes quando há apenas envergamento dos colmos, podendo haver queda de produtividade se houver dobramento e obstrução do fluxo de seiva.

A ausência de efeito isolado das fontes na produtividade, mesmo tendo ocorrido efeito significativo das mesmas sobre componentes da produção como a MMG, bem como sobre características da lavoura como acamamento e teor foliar de N, pode ser explicada por fenômenos compensatórios. Segundo Cánovas e Trindade (2003), embora um componente possa ser incrementado, outros componentes acabam sendo afetado negativamente, havendo compensação e ausência de efeitos na produtividade quando se trabalha com nitrogênio. A média geral de produtividade no experimento foi de 4.465 kg ha⁻¹, acima da produtividade média para a região de Guarapuava, que em 2011 foi de 3.512 kg ha⁻¹, e acima da média para o Estado do Paraná, que nesta safra foi de 2.379 kg ha⁻¹, (IBGE, 2013).

Tabela 4. Produtividade do trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹			kg ha⁻¹	
0 + 0	3.342 aC*	3.347 aD	3.355 aD	3.347 D
0 + 40	4.613 aA	4.226 aC	4.114 aC	4,318 B
40 + 0	4.641 aA	3.619 bD	3.774 bC	4.012 C
40 + 40	4.836 bA	5.524 aA	4.896 bB	5.085 A
80 + 0	4.276 bB	4.319 abC	4.795 aB	4.463 B
0 + 80	4.222 bB	5.040 aB	4.642 abB	4.634 B
40 + 80	4.608 aA	4.380 aC	4.589 aB	4.526 B
80 + 40	4.285 bB	4.643 abB	4.732 bB	4.504 B
80 + 80	4.939 aA	5.009 aB	5.371 aA	5.137 A
Média	4.402 a	4.441 a	4.497 a	
CV (%)		6,88		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Sem adubação-N (0+0 kg ha⁻¹ de N), a produtividade média foi de 3.347 kg ha⁻¹ de grãos, elevada considerando-se a ausência de N e a produtividade média estadual e regional. Este resultado pode ser devido à disponibilização de N da matéria orgânica (MO) do solo e da palhada da cultura antecessora no SPD, por conta do processo de mineralização (CANTARELLA, 2007; WIETHÖLTER, 2011). No caso do presente estudo, a cultura antecessora do trigo foi a soja, cuja absorção de N pode ultrapassar 240 kg ha⁻¹, restando cerca de 20% do nitrogênio reciclado nos resíduos (ALVES et al., 2006). Trata-se, portanto, de material rico em N e de baixa relação C/N, sendo então uma fonte de decomposição relativamente rápida, reciclando quantidades significativas de N para a cultura sucessora, o trigo.

Houve efeito dos manejos da adubação-N sobre a produtividade em todas as fontes (Tabela 4). Com a ureia e NA, a produtividade obtida com 0+0 kg ha⁻¹ de N foi inferior em relação às demais doses. Com ureia + NBPT, as doses 0+0 e 40+0 kg ha⁻¹ de N tiveram rendimento inferior em relação aos tratamentos 0+40, 80+0 e 40+80 kg ha⁻¹ de N, que por sua vez foram superados pelas doses 0+80, 80+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, sendo o manejo com 40+40 kg ha⁻¹ de N a que se sobressaiu diante das demais. No caso do NA, os manejos 0+40 e 40+0 kg ha⁻¹ de N tiveram rendimento superior à testemunha, sendo superada pelas demais

doses, que por sua vez resultaram em produtividade inferior à obtida pelo grupo das produtividades envolvendo o tratamento 80+80 kg ha⁻¹ de N.

Sobressaíram-se, portanto, as doses 40+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, propiciando os melhores rendimentos nas três fontes de N simultaneamente. Contudo, a MMG (Tabela 2) não esteve entre as mais elevadas nessas combinações de doses, nas três fontes estudadas, à exceção do tratamento 40+40 kg ha⁻¹ de N na fonte NA, e do tratamento 0+80 kg ha⁻¹ de N nas fontes ureia + NBPT e NA. De fato, Espindula et al., (2010) descrevem baixa MMG em tratamentos com produtividades elevadas em função de doses concomitantemente elevadas de N. Outros trabalhos (PRANDO et al., 2013; TEIXEIRA FILHO et al., 2010) indicam relação inversa entre altas doses de N em semeadura e MMG, normalmente atrelada ao aumento do número de grãos por espiga, havendo competição entre grãos dentro da espiga.

Por outro lado, o teor foliar de N (Tabela 1) foi elevado nos tratamentos onde a produtividade foi elevada. No caso da ureia, teor foliar de N e produtividade foram simultaneamente elevados nas doses de 0+80, 80+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N. Com a ureia + NBPT, os teores mais elevados de N foliar ocorreram nas doses de 40+40 0+80 e 80+80 kg ha⁻¹ de N. No caso do NA, embora os tratamentos 40+40 e 80+0 kg ha⁻¹ de N tenham ficado entre os mais produtivos, o teor foliar de N resultante foi intermediário, mas nos demais manejos mais produtivos, de 0+80, 40+80, 80+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, os teores estiveram entre os mais elevados. Este resultado reforça a importância do teor de N na folha bandeira do trigo para a produtividade da cultura, como indicado por (SYLVESTER-BRADLEY et al., 1990).

Relacionando os dados de acamamento (Tabela 3) aos de produtividade (Tabela 4), vê-se que apesar de propiciar elevado rendimento de grãos com as três fontes, as combinações de 0+80 e 80+80 kg ha⁻¹ de N geraram índices elevados de acamamento, implicando em dificuldades e perdas no campo com a colheita mecanizada, gastando o dobro com fertilizante nitrogenado e sem elevar significativamente a produtividade em relação à combinação de 40+40 kg ha⁻¹ de N, tratamento com a menor dose total entre os mais produtivos e sem índices elevados de acamamento, com a vantagem adicional de não concentrar a aplicação do N em uma única época, diminuindo as possibilidades de perda por lixiviação.

Com o teor de N nos grãos e a produção de grãos em cada tratamento, calculou-se a quantidade de N acumulado nos grãos (Tabela 5), diminuindo-se os efeitos de concentração e diluição que podem ocorrer ao se avaliar somente os teores, além de poder ser utilizada como estimativa da quantidade total de proteínas nos grãos, importante do ponto de vista de

qualidade do grão para farinha (AOAC, 1997). Em média, utilizando-se 0+0 kg ha⁻¹ de N, o acúmulo de N nos grãos foi de 76,54 kg ha⁻¹ de N, para uma produção média de 3.347 kg ha⁻¹ de grãos nesta condição, significando 22,87 kg de N tonelada⁻¹ de grãos, em acordo com a afirmação de Cantarella (2007) de que, para rendimentos entre 2 e 6 t ha⁻¹ de grãos de trigo, estimam-se ser necessários em torno de 20 kg de N tonelada⁻¹ de grãos.

Tabela 5. Nitrogênio acumulado nos grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		kg ha⁻¹		
0 + 0	76,14 aC*	76,22 aC	77,12 aC	76,49 D
0 + 40	116,93 aB	105,63 aC	119,38 aB	113,95 C
40 + 0	111,55 aB	89,55 aC	114,36 aB	105,15 C
40 + 40	144,72 bA	193,94 aA	131,69 bA	156,78 A
80 + 0	112,70 aB	106,55aC	102,57 aB	107,27 C
0 + 80	111,89 bB	141,09 abB	152,63 aA	135,20 B
40 + 80	137,62 aA	136,61 aB	136,07 aA	136,76 B
80 + 40	111,83 aB	124,94 aB	121,68 aB	119,48 C
80 + 80	138,60 aA	149,85 aB	155,42 aA	148,38 A
Média	118,12 a	124,19 a	124,19 a	
CV (%)		15,10		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Para cada fonte, os menores acúmulos de N nos grãos se deram com 0+0, 0+40 e 40+0 kg ha⁻¹ de N, o que se justifica pelo menor fornecimento do nutriente, mas também nas doses 80+0 e 80+40 kg ha⁻¹ de N, que resultaram em teores e produtividades intermediários. As doses 40+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N novamente se sobressaíram, sendo os mais elevados na combinação 40+40 kg ha⁻¹ de N para ureia + NBPT e ureia, com a qual o acúmulo também foi elevado nas doses 40+80 e 80+80 kg ha⁻¹ de N. No caso do NA, o acúmulo foi mais elevado com as doses 40+40, 0+80, 40+80 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, o que pode ser de grande valia quando relacionamos com a MMG, que nesta fonte obtiveram os teores mais altos nos mesmos manejos da adubação-N, com exceção ao tratamento 80 + 80 kg ha⁻¹ de N, que obteve MMG mais baixa, podendo-se inferir que estes dois parâmetros possuem certa relação: maior MMG ocorre quando há maior acúmulo de N nos grãos, sem que haja efeito de diluição.

Safra 2012

Foram observados efeitos dos tratamentos sobre a nutrição nitrogenada do trigo também na safra 2012 (Tabela 6), com interação significativa entre as fontes e os manejos da adubação-N em semeadura e em cobertura, mas não houve efeito isolado das fontes de N nesta safra. Analisando-se o comportamento dos teores em cada fonte, houve semelhança em relação à safra de 2011. Com a ureia, o teor foliar de N aumentou estatisticamente em relação à testemunha somente nas doses mais elevadas de N em 2012, com as doses de 40+80 e 80+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N. Com a ureia + NBPT, também nas doses mais elevadas é que o teor foliar de N se diferenciou da testemunha, a partir de 80+0 kg ha⁻¹ de N, enquanto na fonte NA novamente houve elevação significativa do teor de N já na dose de 0+40 kg ha⁻¹ de N, além da dose de 40+40 kg ha⁻¹ de N e nas doses mais elevadas a partir da dose de 0+80 kg ha⁻¹ de N até 80+80 kg ha⁻¹ de N.

Uma hipótese para o bom desempenho da dose de 0+40 kg ha⁻¹ de N com a fonte NA, única abaixo de 80 kg ha⁻¹ de N no total, combinado a aumentar significativamente o teor foliar de N, é que a absorção do N na forma NO₃⁻ é preferencial no total do ciclo das plantas, quando comparada a fontes amoniacais. Melhores resultados foram encontrados utilizando-se também N combinado NO₃⁻ e NH₄⁺ por outros autores (CANTARELLA, 2007; HOLZSCHUH et al., 2011; SILVA, 2008; TEIXEIRA FILHO, 2008).

À exceção da dose de 80+0 kg ha⁻¹ de N na fonte ureia + NBPT, todos os aumentos significativos de N foliar ocorreram nos manejos contendo N em cobertura, confirmando a observação da safra de 2011 de que foram mais nítidas para as doses de cobertura propiciar o aumento do N foliar, em detrimento as doses de semeadura.

Não foi observado efeito isolado das fontes de N sobre a MMG (Tabela 7), e diferentemente de 2011, quando o aumento da dose de N promoveu, em algumas combinações de doses de semeadura e cobertura, aumento significativo da MMG em relação à testemunha com as três fontes, em 2012 o aumento da dose de N manteve ou provocou queda da MMG.

Tabela 6. Teor de nitrogênio em folhas de trigo (cv.Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura+cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹			g kg⁻¹	
0 + 0	43,07 aB*	43,04 aB	43,09 aB	43,03 D
0 + 40	44,26 aB	44,61 aB	51,24 bA	46,70 B
40 + 0	45,83 aB	41,88 aB	42,85 aB	43,52 D
40 + 40	44,98 aB	45,78 aB	47,56 aA	46,11 B
80 + 0	45,85 aB	46,95 aA	44,10 aB	45,63 C
0 + 80	43,06 bB	47,63 abA	51,24 aA	47,31 B
40 + 80	47,85 aA	46,54 aA	47,40 aA	47,26 B
80 + 40	48,31 aA	49,17 aA	48,23 aA	48,57 A
80 + 80	50,17 aA	51,31 aA	49,46 aA	50,32 A
Média	45,92 a	46,32 a	47,24 a	
CV (%)		6,12		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Essa mudança de comportamento provavelmente se deve à estiagem ocorrida em 2012 (Figura 1), que reduziu a média experimental da MMG de 49,12 g em 2011 para 37,66 g em 2012. Como o contato íon-raiz se dá majoritariamente por fluxo de massa no caso do N (MARSCHNER, 1995), a estiagem deve ter influenciado diminuindo a absorção de N em meio às fases vegetativa e reprodutiva, prejudicando a formação e o enchimento dos grãos e conseqüentemente, a MMG em vários tratamentos que, por combinações distintas de N em semeadura e cobertura, acabaram incrementando alguns componentes produtivos do trigo, enquanto outros componentes foram afetados negativamente, ocorrendo fenômenos compensatórios entre os componentes (CÁNOVAS e TRINDADE, 2003), por exemplo, o nº de perfilhos, comprimento e nº de grãos da espiga, nº de flores férteis, nº de grãos por área.

Tabela 7. Massa de mil grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		g		
0 + 0	38,16 aA*	38,23 aA	38,12 aA	38,16 A
0 + 40	37,72 aA	38,71 aA	37,42 aB	37,72 A
40 + 0	38,33 aA	37,95 abA	36,40 bB	38,33 A
40 + 40	39,60 aA	36,72 bB	37,85 abA	39,61 A
80 + 0	35,04 bC	38,64 aA	39,24 aA	35,04 C
0 + 80	36,75 aB	34,61 bC	37,77 aA	36,75 B
40 + 80	37,35 aA	38,69 aA	38,29 aA	37,35 A
80 + 40	38,58 aA	35,75 bB	38,18 aA	38,58 A
80 + 80	37,73 aA	38,40 aA	36,72 aB	37,73 A
Média	37,70 a	37,51 a	37,78a	
CV (%)			2,41	

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Boschini et al., (2011), trabalhando com diferentes lâminas de água aplicadas com doses de 0, 50, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de N em trigo, não observaram diferenças significativas entre as dose com relação à MMG, mas verificaram resposta quadrática da MMG em função das diferentes lâminas de água combinadas às doses de N.

Houve efeito isolado das fontes de N na produtividade do trigo em 2012 (Tabela 8), sendo o rendimento superior com a fonte NA em relação à ureia e indiferentes a ureia + NBPT. Quanto à interação entre fontes e manejos da adubação-N, o comportamento foi similar ao de 2011, com acréscimos de produtividade em função do aumento da dose de N, já a partir de 40 kg ha⁻¹ de N, em semeadura ou em cobertura.

Utilizando ureia, as maiores produtividades ocorreram a partir de 80 kg ha⁻¹ de N no total (a exceção de 0 + 80 kg ha⁻¹ de N), não diferindo significativamente das demais doses totais de 80, 120 ou 160 kg ha⁻¹ de N, combinadas em semeadura e cobertura. Com a ureia + NBPT, as doses de 0+80, 40+40 e 80+40 kg ha⁻¹ de N propiciaram produção maior em relação às demais doses e a testemunha, mas foram superadas pelo manejo com a maior dose de N (80+80 kg ha⁻¹ de N). No caso do NA, o melhor resultado se deu com 80+40 kg ha⁻¹ de N, seguido de 80+80 e 0+80 kg ha⁻¹ de N, superando as demais doses e a testemunha.

Tabela 8. Produtividade do trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹			kg ha⁻¹	
0 + 0	1.296 aC*	1.299 aD	1.297 aF	1.298 E
0 + 40	1.912 aB	2.046 aC	2.083 aD	2.013 D
40 + 0	2.051 aB	2.181 aC	1.739 bE	1.990 D
40 + 40	2.546 aA	2.527 aB	2.436 aC	2.503 B
80 + 0	2.131 bB	2.150 bC	2.470 aC	2.250 C
0 + 80	2.333 bA	2.425 bB	2.766 aB	2.508 B
40 + 80	2.534 aA	2.162 bC	2.065 bD	2.254 C
80 + 40	2.481 bA	2.392 bB	2.980 aA	2.618 A
80 + 80	2.491 bA	2.944 aA	2.772 aB	2.736 A
Média	2.197 b	2.236 ab	2.290 a	
CV (%)		6,61		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Como não houve acamamento das plantas em 2012, o que poderia afetar a colheita mecanizada, por conta das possíveis perdas no campo e da morosidade do processo frente à necessidade de implantação dos cultivos de verão, também a escolha da combinação de doses para adubação-N, nesta safra sobressaíram-se os tratamentos 0+80 e 80+40 kg ha⁻¹ de N com a fonte NA e 80+80 kg ha⁻¹ de N com as fontes ureia e ureia + NBPT, sendo necessário, para uma escolha mais técnica, examinar a eficiência econômica do NA, que resultou em alta produtividade utilizando 50% ou 75% do N necessário para a melhor produtividade com ureia e ureia + NBPT.

Na Tabela 9 são apresentados os dados de N acumulado nos grãos do trigo. As fontes tiveram comportamento similar em relação a 2011. A fonte NA foi superior à ureia + NBPT, que por sua vez gerou maior acúmulo de N nos grãos que a fonte ureia, na média dos manejos de adubação-N.

Tabela 9. Nitrogênio acumulado nos grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2012 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹			kg ha⁻¹	
0 + 0	32,79 aE*	33,00 aE	32,84 aF	32,88 G
0 + 40	55,56 aC	52,99 aD	55,41a aD	48,49 F
40 + 0	43,83 bD	58,07 aD	43,58 bE	54,66 E
40 + 40	60,41 bB	64,19 abC	66,98 aC	61,41 D
80 + 0	60,17 bB	54,62 bD	69,46 aC	63,86 D
0 + 80	54,16 cC	66,56 bC	79,52 aB	66,75 C
40 + 80	78,72 aA	75,80 aB	66,61 bC	73,77 B
80 + 40	60,58 cB	68,80 bC	95,45 aA	74,94 B
80 + 80	74,23 cA	97,64 aA	83,59 bB	85,15 A
Média	57,83 c	63,54 b	65,94 a	
CV (%)		5,41		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Comparando a ureia com e sem a adição de NBPT, os menores acúmulos normalmente ocorreram na ausência de NBPT, possivelmente devido aos efeitos de redução de perdas de N com o NBPT, de forma similar aos resultados encontrados por Espindula (2010), que comparou a ureia com e sem NBPT e encontrou maiores teores de N nos grãos nos tratamentos com adição de NBPT. No presente estudo, a ureia + NBPT superou as demais fontes nos manejos 40+0, 40+80 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, já a fonte NA foi superior nos manejos com 80+0 e 80+40 kg ha⁻¹ de N, sendo assim, pode se observar melhor desempenho para manejos com maiores doses na semeadura para a fonte NA, e doses maiores em cobertura para ureia + NBPT.

As maiores quantidades de N acumuladas nos grãos com a fonte NA, mesmo em condições de déficit hídrico nesta safra, pode ter ocorrido devido à adição de N de forma mista, ou seja, de NO₃⁻ e NH₄⁺ simultaneamente, pois o NO₃⁻ pode ter menor imobilização, devido a menor preferência por nitrato pelos microrganismos imobilizadores de N, evitando parcialmente a competição pelo N disponível nos primeiros estádios fenológicos (MARIANO, 2010), além de ser menos propenso a perdas por volatilização, principalmente pelo favorecimento da condição climática, ocorrida no desenvolvimento da cultura.

O aumento da dose total de N nos manejos adotados propiciou aumento dos teores de N nos grãos (Tabela 9). Por outro lado, o momento em que o N foi adicionado também teve

influencia, assim, manejos com 40 kg ha⁻¹ de N nas fontes ureia e NA foram superiores quando adicionado em cobertura, em comparação à aplicação na semeadura. Manejos com 80 kg ha⁻¹ de N adicionados somente em cobertura resultaram em menor acúmulo nos grãos, para ureia com e sem NBPT, em comparação ao manejo com 80 kg ha⁻¹ de N adicionado somente em semeadura. E com 80+0 e 40+40 kg ha⁻¹ de N para ureia e NA, teve a última fonte superior às demais, indicando a maior eficiência em doses intermediárias da fonte com tendência a menores perdas de N. Os manejos com 120 e 160 kg ha⁻¹ de N seguem a tendência, em que a ureia com e sem NBPT tiveram melhores resultados com 80 kg ha⁻¹ aplicados no perfilhamento, diferente do observado na fonte NA.

Safra 2013

As condições climáticas da safra foram historicamente normais, compreendendo índices pluviométricos equilibrados, com temperaturas normais para o período de cultivo do trigo, mesmo sob condições atípicas de temperatura muito baixa com neve na época da semeadura. Os níveis de N nas folhas do trigo permaneceram altos em relação à faixa de suficiência recomendada (EMBRAPA, 2009).

Foram encontrados efeitos significantes das diferentes fontes estudadas, sendo as fontes ureia + NBPT e NA superiores à ureia, considerando a média dos manejos da adubação-N. Resultados similares foram encontrados por Espindula (2010), em que a fonte ureia obteve os menores teores de N nas folhas do trigo, provavelmente devido às maiores perdas de N atribuídas a esta fonte (MARCHESAN et al., 2013; SOARES et al., 2012).

As fontes ureia + NBPT e NA, em determinados manejos, manifestaram teores de N maiores, provavelmente devido ao maior aproveitamento segundo a literatura. Assim, quando comparadas as fontes dentro de cada manejo de adubação-N, os melhores resultados da fonte ureia em relação às demais são com 0+40 e 80+0 kg ha⁻¹ de N, sendo doses relativamente pequenas, onde os principais mecanismos de perdas de NH₃ podem ser minimizados, normalmente relacionados ao aumento do pH próximo ao grânulo logo após a hidrólise da ureia. Por outro lado, nos manejos de 80+40 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, as fontes ureia + NBPT e NA foram superiores, confirmando que as possíveis maiores perdas de N foram minimizadas nestas fontes.

Tabela 10. Teor de nitrogênio em folhas de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		g kg⁻¹		
0 + 0	44,88 aB*	45,01 aB	44,87 aD	44,92 C
0 + 40	50,77 aA	50,14 aA	46,77 bD	49,23 B
40 + 0	48,08 bB	48,32 abA	51,24 aB	49,21 B
40 + 40	47,10 bB	52,54 aA	53,63 aA	50,09 A
80 + 0	49,84 aA	50,68 aA	45,64 bD	48,72 B
0 + 80	50,15 aA	49,35 aA	48,80 aC	49,43 B
40 + 80	50,54 aA	50,15 aA	49,69 aC	50,12 A
80 + 40	47,68 bB	51,81 aA	52,39 aB	50,63 A
80 + 80	47,85 cB	51,36 bA	55,56 aA	51,59 A
Média	48,54 b	49,91 a	49,84 a	
CV (%)		3,75		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

O manejo da adubação-N na testemunha (0+0 kg ha⁻¹ de N), na média das três fontes, teve o menor teor foliar de N (Tabela 10), como nas duas safras anteriores (Tabelas 1 e 6). Os manejos com 40 ou 80 kg ha⁻¹ de N aplicados somente na semeadura ou somente na cobertura implicaram em teores superiores à testemunha, concordando com Teixeira Filho et al., (2010), que encontraram resposta linear do teor foliar de N com a adubação-N, mostrando ser apropriada a análise da folha bandeira para representar o estado nutricional da planta.

Por outro lado, os teores de N encontrados nas folhas bandeira demonstraram que a partir de 80 kg ha⁻¹ há diferenças quanto ao manejo adotado. Com manejo equilibrado, por exemplo, 40+40 ou até as doses mais elevadas 40+80, 80+40 e 80+80 kg ha⁻¹ resultaram em teores mais elevados de N. Resultados que contrariam os encontrados por Yano et al., (2005) onde estudando diferentes doses de nitrogênio na cultura do trigo, encontraram teores superiores de N quando a adubação foi realizada no estágio do perfilhamento, já que o presente estudo não encontrou diferenças neste aspecto dentro dos manejos.

Quanto à MMG, pôde-se observar comportamento muito parecido com o encontrado no teor de N nas folhas. A fonte ureia + NBPT teve MMG superior à fonte ureia, mas ambas não diferem da fonte NA (Tabela 11), devido aos fatores já citados para o N foliar, podemos verificar que pela similaridade no comportamento com os teores de N nas folhas, devido ao maior acúmulo de nutrientes, além do N, são responsáveis pelo aumento no acúmulo de massa

em geral, sendo o N um dos nutrientes com maior relação com a produtividade e qualidade de grãos, por exemplo, a relação direta encontrada entre nitrogênio e proteína (AOAC, 1997).

Tabela 11. Massa de mil grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		g em 1000 grãos		
0 + 0	40,28 aA*	40,67 aA	39,92 aB	40,29 A
0 + 40	40,43 aA	38,89 bB	40,64 aA	39,98 A
40 + 0	39,31 bB	40,43 aA	40,83 aA	40,19 A
40 + 40	39,12 aB	39,25 aB	38,49 aC	38,95 C
80 + 0	39,34 aB	39,40 aB	38,14 bC	38,96 C
0 + 80	38,87 aB	39,21 aB	38,72 aC	38,93 C
40 + 80	39,23 aB	39,48 aB	39,94 aB	39,55 B
80 + 40	38,41 bC	39,72 aB	39,43 aB	39,19 C
80 + 80	38,47 abC	39,14 aB	38,19 bC	38,60 C
Média	39,27 b	39,58 a	39,36 ab	
CV (%)		1,20		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

A produtividade média obtida no experimento foi de 5.013 kg ha⁻¹ (Tabela 12), superando a estimativa nesta safra para o Estado do Paraná, de 2.142 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013), o que provavelmente se deve ao experimento ter sido semeado no final do período recomendado pelo zoneamento agrícola do trigo no Paraná, o que normalmente não provê o maior potencial produtivo, mas evitam grandes frustrações de safra devido a geadas no período reprodutivo, o que ocorreu no estado na safra 2013, resultando na estimativa de queda na produtividade.

A fonte ureia + NBPT teve produtividade superior à fonte NA, entretanto ambas não foram diferentes da ureia. Assim, a maior produtividade encontrada na fonte ureia + NBPT (Tabela 12) mostrando que nestas condições não se justificou o uso do NBPT. Resultados de Vieiro (2011), estudando diferentes fontes para adubação-N na região de Guarapuava-PR, revelaram perdas de N por volatilização, como sendo muito baixa, entretanto, outros componentes envolvidos nas respostas das plantas devem ser analisados para avaliar a viabilidade do uso da ureia + NBPT.

Tabela 12. Produtividade de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		kg ha⁻¹		
0 + 0	5.001 aB*	4.993 aB	4.710 aB	4.902 B
0 + 40	5.266 aA	4.892 aB	4.950 aB	5.036 B
40 + 0	4.444 bC	5.442 aA	4.817 bB	4.901 B
40 + 40	5.657 aA	5.172 abB	4.932 bB	5.254 A
80 + 0	4.427 bC	5.168 aB	5.458 aA	5.018 B
0 + 80	4.651 aC	5.019 aB	4.685 aB	4.785 B
40 + 80	4.795 aB	4.874 aB	4.587 aB	4.752 B
80 + 40	5.633 aA	5.016 bB	4.832 bB	5.160 A
80 + 80	5.010 bB	5.727 aA	5.191 bA	5.309 A
Média	4987 ab	5145 a	4907 b	
CV (%)		5,98		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

A fonte NA resultou em produtividade inferior à fonte ureia + NBPT, podendo-se dizer que a fonte por si só foi responsável pela menor produtividade, já que a redução de possíveis perdas pelo uso do NBPT na ureia não resultou em maiores produtividades em relação à ureia isoladamente. Possivelmente, parte do NO_3^- possa ter sido deslocada para as camadas mais profundas do solo, e também pode ter ocorrido adsorção do NH_4^+ da M.O. do solo, já que tem maior interação com o solo, devido à carga positiva. Resultados diferentes foram encontrados por Yano et al., (2005) que, estudando fontes de nitrogênio na cultura do trigo, não encontraram diferenças na produtividade entre as fontes ureia e nitrato de amônio.

Os manejos da adubação-N tiveram efeitos significativos na produtividade, tendo comportamento diferente da safra de 2012, quando as diferenças entre os manejos foram amplas, devido aos baixos índices pluviométricos (Figura 1), uma vez que o contato do N com as raízes das plantas se dá, predominantemente, por fluxo de massa e difusão (TISDALE et al., 1985) dependentes de um bom teor de água no solo. Já na safra 2013 a condição pluviométrica foi similar à média histórica, possibilitando tanto o contato íon-raiz pela presença de água, quanto a atividade biológica do solo, fornecendo N “priming” para as plantas, aumentando a disponibilidade de N advindo principalmente da mineralização no solo e podendo diminuir as diferenças entre os tratamentos.

Os manejos de adubação-N com 40+40, 40+80 e 80+80 kg ha⁻¹ de N, tiveram as maiores produtividades na média das três fontes, similar aos resultados encontrados para os teores de N nas folhas, podendo ser relacionados os altos teores de N das folhas com a produtividade. Os demais manejos tiveram produtividades inferiores, não diferindo da testemunha, similar ao observado por Teixeira filho (2008), em que os tratamentos com doses de N superam a testemunha, mas sem comportamento de acréscimo linear com o aumento das doses de N, o que era esperado conforme registros em vários trabalhos, mostrando que em sistemas com sucessão de culturas envolvendo a soja, atrelada a condições climáticas com índices pluviométricos suficientes, os resultados da adubação-N em trigo podem variar.

O acúmulo de N nos grãos do trigo teve comportamento similar aos de 2011 (Tabela 5) e 2012 (Tabela 9). Com exceção do manejo com 40+40 kg ha⁻¹ de N, os demais tenderam a aumentar o N acumulado nos grãos com o aumento das doses de N. O comportamento das fontes foi similar ao observado na produtividade. Na fonte ureia + NBPT a produtividade foi superior em comparação à fonte NA, entretanto ambas não diferiram da ureia.

A média de extração de nitrogênio pelos grãos foi de 116,7 kg ha⁻¹, o comportamento sob as diferentes fontes são reflexos dos resultados da produtividade (Tabela 12) com os teores de N nos grãos, que foram agrupadas e inferiores a média somente nos manejos 0+0, 0+40, 40+0 e 0+80. Assim as diferenças encontradas entre os manejos da adubação e a testemunha foram pequenas, e a média da testemunha exportou 102 kg ha⁻¹, assim o menor acréscimo em relação à testemunha foi com a adição de 40+0 kg ha⁻¹ com exportação de 14% da quantia aplicada, já o máximo de exportação foi com a adição de 80+80 kg ha⁻¹, que resultou em exportação de apenas 18% do N aplicado. A dose de 40+40 kg ha⁻¹ teve exportação de 27% do N, sendo o de maior percentual, mas o segundo maior em quantidade de nitrogênio exportada (Tabela 13).

Tabela 13. Nitrogênio acumulado nos grãos de trigo (cv. Mirante) em função de fontes e manejos da adubação-N, em semeadura e cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N (semeadura + cobertura)	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
kg ha⁻¹		kg ha⁻¹		
0 + 0	104,16 aC*	104,00 aD	98,71 aC	102,29 D
0 + 40	118,91 aB	105,88 aD	111,28 aB	112,02 C
40 + 0	101,74 aC	119,93 bC	102,32 aC	108,00 D
40 + 40	136,54 aA	114,68 bC	119,53 bB	123,58 B
80 + 0	95,74 bC	130,98 aB	130,96 aA	119,23 B
0 + 80	109,13 aC	119,03 aC	114,48 aB	114,21 C
40 + 80	119,43 aB	116,29 aC	113,25 aB	116,32 C
80 + 40	134,05 aA	121,04 abC	114,40 bB	123,16 B
80 + 80	129,24 bA	143,70 aA	122,42 bA	131,79 A
Média	116,55 ab	119,50 a	114,15 b	
CV (%)		6,85		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Os resultados dos manejos da adubação-N deste trabalho concordam com os encontrados por Prando et al., (2012) que, estudando doses e formas de ureia em cobertura na cultura do trigo, verificaram que mais de 85 kg ha⁻¹ da quantidade de N exportada pelas plantas foi fornecida pela mineralização da MO do solo e restos culturais da soja como antecessora, assim, a maior parte do N exportado pelas plantas não foi diretamente fornecido pela adubação-N, o que também concorda com o aumento nos teores de N-acumulado de acordo com o aumento das doses totais de N nos manejos estudados.

3.6. CONCLUSÕES

A fonte nitrato de amônio se mostrou mais efetivo no aumento do teor de nitrogênio foliar, entretanto, teve maiores índices de perda de colheita. Na produtividade a fonte NA foi superior no ano de maior déficit hídrico, enquanto em ano normal esta foi superada pela fonte ureia + NBPT.

O uso do NBPT permitiu que alguns teores fossem elevados, no entanto, não teve resultado expressivos em produtividade.

Os manejos com os maiores teores de nitrogênio nas folhas e nos grãos, além da maior produtividade foram às doses mais elevadas, entretanto, única dose intermediária com bons resultados foi $40 + 40 \text{ kg ha}^{-1}$.

4. CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB EFEITO DO MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DO TRIGO COM DIFERENTES FONTES DE N

4.1. RESUMO: o trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos atributos químicos do solo em função da adubação nitrogenada do trigo, usando diferentes fontes e doses de nitrogênio. O estudo foi realizado entre 2011 e 2013 em Guarapuava-PR, com delineamento de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 (fontes) x 9 (manejo da adubação nitrogenada), utilizando uréia, uréia tratada com inibidor de urease (ureia + NBPT) e nitrato de amônio (NA), em doses combinadas (+) entre semeadura e cobertura, equivalendo a: 0+0; 0+40; 0+80; 40+0; 40+40; 40+80; 80+0; 80+40; 80+80 kg ha⁻¹ de N. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm em 2011, e 0-10, 10-20 e 20-40 cm em 2012 e 2013. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey para fontes e Scott-Knott para doses, com 5% de probabilidade de erro. O pH do solo cultivado com a fonte ureia + NBPT se mostrou levemente mais ácido quando comparado a ureia e em alguns casos quando comparada com NA. Os manejos com maior capacidade de acidificação do solo na profundidade até 10 cm foram 40+0 40+80 e 80+80, de 10-20 cm foram 0+40, 40+0 e 40+80, de 20-40 cm 0+40 e 40+80. Os teores de NH₄⁺ no ano de 2011 na profundidade até 20 cm, não diferem quanto às fontes, entretanto, para os demais anos, os teores foram menores na fonte ureia + NBPT quando comparado à ureia e NA, para a camada 20-40 cm em 2011 a fonte ureia + NBPT supera os teores de em NA que por sua vez foi superado pela ureia em 2013. Já para NO₃⁻ os teores na fonte ureia + NBPT foram superiores a ureia somente em 2012, devido ao aumento das taxas de nitrificação. Os manejos da adubação-N nos anos de 2011 e 2013 tiveram nos tratamentos de maiores produtividade, maior a absorção de NH₄⁺ e NO₃⁻, assim mantendo os teores iguais ou inferiores a testemunha com 40+40 kg ha⁻¹, já com 80+80 kg ha⁻¹ a extração foi similar, entretanto, com maior teor residual de N no solo. Para 2012 os teores de NH₄⁺ se mantiveram similares à testemunha, no entanto, os teores de nitrato foram elevados, possivelmente a disponibilidade de NH₄⁺ que propiciou altas taxas de nitrificação.

Palavras-chave: Nitrato, Amônio, pH do solo e adubação nitrogenada.

SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES IN FUNCTION OF NITROGEN FERTILIZATION MANAGEMENT ON WHEAT USING DIFFERENT N SOURCES

4.2. ABSTRACT: the aim with this work was to evaluate the changes on soil chemical attributes in function of nitrogen fertilization management on wheat, using different nitrogen sources and rates. The study was performed among 2011 and 2013 in Guarapuava, Paraná State, with randomized block design in factorial arranged 3x9, using urea, urea treated with urease inhibitor (urea + NBPT) and ammonium nitrate (NA), managing N rates (+) between sowing and topdressing, equivalent to: 0+0; 0+40; 0+80; 40+0; 40+40; 40+80; 80+0; 80+40; 80+80 kg ha⁻¹ of N. Soil was sampled at 0-20 and 20-40 cm layers in 2011, and in 0-10, 10-20 and 20-40 cm in 2012 and 2013. Data were submitted to variance analysis and means compared by Tukey's test for N sources and by Scott-Knott's test for N rates, at 5 % of error probability. The pH in soil cultivated with urea + NBPT predominantly show more acid, when was compared with urea and in some occasions compared with NA. The management with higher soil acidification capacity in depth until 10 cm were treatment 40+0 40+80 and 80+80, of 10-20 cm were 0+40, 40+0 e 40+80, and 20-40 cm 0+40 and 40+80. The contents of NH₄⁺ in 2011, in the depth until 20 cm, no difference were observed regarding the sources. For 2012 and 2013 the levels was less in the source urea + NBPT when compared with urea, and NA, for depth 20-40 cm in 2011 the Urea + NBPT was upper the levels of the NA that was overcome for Urea in 2013. Consequently for NO₃⁻ the levels for urea + NBPT were higher of urea, behavior opposite for 2012, due for increase of rates of nitrifications. The fertilization-N management in the 2011 and 2013 in the highest productivity treatment were greater uptake of NH₄⁺ and NO₃⁻, the levels keep similar or below the control with 40+40 kg ha⁻¹, however with 80+80 kg ha⁻¹ the extraction was similar, however, thus occur the higher residual of N in soil. For 2012 the levels of NH₄⁺ remain similar the control, however, the nitrate levels was higher, due possibility for NH₄⁺ availability that resulted in high nitrification rates.

Key words: Nitrate, ammonium, soil pH, fertilization, nitrogen fertilization.

4.3. INTRODUÇÃO

O N ocorre no solo predominantemente em formas orgânicas, mas as inorgânicas é que são disponíveis para as plantas, e as transformações de N inorgânico em orgânico (imobilização) e vice-versa (mineralização), mediadas por microrganismos do solo, são de grande importância agrônômica (RAIJ, 2011), podendo gerar assincronia entre a disponibilidade de N no solo e a demanda das plantas, e afetar a eficiência do N advindo dos adubos (BAYER e FONTOURA, 2006).

Quando a relação C/N da MO e resíduos culturais é alta, bem acima de 8:1, como no caso do milho, cultivos posteriores como o do trigo podem sofrer deficiência de N por causa da imobilização, e quando a relação C/N é baixa, como no caso da soja, pode haver benefício ao trigo pela mineralização, liberando N inorgânico no solo na forma de NH_4^+ , que pode ser adsorvido pelo solo ou absorvido por plantas e microrganismos. Em solos bem aerados, a maioria do NH_4^+ (mineralização, fertilizantes) sofre nitrificação, sendo transformado em NO_3^- via processo que acidifica o solo (TISDALE et al., 1993). O NO_3^- , por sua vez (nitrificação ou fertilizantes), é absorvido por plantas e microrganismos ou perdido por lixiviação, por ser muito móvel no solo, ou perdido por desnitrificação, quando bactérias do solo usam o NO_3^- para respirar na ausência de oxigênio, formando gases voláteis como N_2O e N_2 e consumindo prótons, o que reverte parte da acidez gerada na nitrificação (CANTARELLA, 2007).

Assim, rotação de culturas e fertilizantes que contenham ou levem à formação NH_4^+ ou NO_3^- no solo, sob efeito dos microrganismos, conjuntamente levam a diferentes efeitos, pois afetam diferentemente o solo e sofrem efeitos das condições do solo também de forma distinta. Em geral, NH_4^+ predomina na solução do solo com temperatura e pH baixos e alta umidade, pela inibição da nitrificação. Já o NO_3^- se forma por último no ciclo do N no solo e é preferencialmente absorvido pela maioria das culturas, mas com baixa energia de ligação ao solo, sofre maior lixiviação para camadas subsuperficiais, enquanto o cátion NH_4^+ é menos lixiviado, permanecendo no solo para ser absorvido ou oxidado a NO_3^- (POLETTTO et al., 2008).

Além das transformações do N afetarem os atributos químicos do solo, a absorção das plantas também interfere, tornando complexos os efeitos da adubação-N. Segundo Marschner (1995), 70% dos cátions e ânions absorvidos por plantas são NH_4^+ e NO_3^- , e a forma suprida é determinante para o balanço de absorção cátion/ânion e para o pH do solo. Plantas supridas com NH_4^+ excretam H^+ e o pH do solo diminui, dificultando a própria excreção de H^+ com a

queda do pH. Com NO_3^- , o pH aumenta nas raízes e no solo, o mesmo tendendo a ocorrer no suprimento de $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$, com absorção maior de NH_4^+ e queda de pH primeiro, seguindo-se maior absorção de NO_3^- e aumento de pH, como se o suprimento fosse somente de NO_3^- .

Pelo alto teor do N (45%), a ureia é a fonte nitrogenada (fonte-N) mais barata por tonelada do nutriente e mais utilizada no Brasil (YANO et al., 2005). No campo, sua hidrólise gera NH_3 e CO_2 , causando aumento no pH e acúmulo de NH_4^+ no solo (GIOACCHINI et al., 2002), porém, nesta fase gasosa (NH_3) pode haver perdas significativas do N aplicado, o que tem levado à adição de inibidores da urease como o NBPT, no intuito de retardar a hidrólise e o pico de volatilização (TASCA et al., 2011), aumentando as chances de precipitação e incorporação da ureia no solo antes da fase gasosa, podendo-se diminuir as perdas.

Outra forma de contornar as perdas de N com ureia é utilizar fonte-N que não leve à formação de NH_3 , como o nitrato de amônio (NA) que, simultaneamente, é fonte de NO_3^- e NH_4^+ , e sem a fase gasosa não apresenta risco de perdas por volatilização, além de ter menor potencial de acidificação do solo que a ureia, pois parte do N é nítrico, o que tem aumentado sua participação na matriz dos fertilizantes-N no mundo a partir de 2000 (MESQUITA, 2007).

Gezgin e Bayraklı (2008) observaram perdas de N por volatilização (NH_3) de 4,4-6,4% para NA e 3,9-12% para ureia, aplicados na superfície do solo em cobertura de trigo. Segundo Grant et al., (1999), o NBPT reduziu perdas de N por volatilização de NH_3 da ureia aplicada na superfície do solo em plantio direto, até sete dias após a aplicação do fertilizante, concluindo que a redução foi devida à menor velocidade da hidrólise, permitindo que a chuva carresse a ureia para dentro do solo. Por outro lado, Ros et al., (2003) avaliaram o teor de N mineral no solo em plantio direto, aplicando N em pré-semeadura, semeadura e cobertura de milho e trigo, e verificaram que a concentração de N mineral no solo advinda da adubação-N diminuiu rapidamente após a aplicação, por conta das precipitações deslocarem o N em profundidade no solo (lixiviação), bem como pela absorção de N das plantas.

O objetivo com este trabalho foi avaliar os atributos químicos do solo em função da adubação-N do trigo com ureia, ureia tratada com inibidor de urease (ureia + NBPT) e nitrato de amônio, aplicadas em diferentes doses nos sulcos de semeadura e em cobertura, sob manejo em sistema plantio direto em Guarapuava-PR.

4.4. MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização da área de estudo, tratamentos empregados, culturas semeadas entre os cultivos de trigo, tratos culturais e outras informações foram descritos no material e métodos do capítulo I.

O solo foi coletado nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm em 2012-2013 e em 2011, 0-20 e 20-40 cm de profundidade, nas entrelinhas da cultura do trigo, sendo cinco pontos para profundidades de até 20 cm e três para profundidade de 20-40 cm, com auxílio de trados do tipo Holandês e de caneco.

As coletas de solo foram realizadas em estádios específicos do ciclo da cultura, com as folhas bandeira de trigo visíveis, no estágio fenológico 8.0 (CBPTT, 2012). Sendo que houve variações entre as datas pelo desenvolvimento diferenciado de ano para ano, sendo a coleta em condição climática favorável, com umidade média.

Após a coleta o solo foi armazenado a sombra por períodos curtos de poucas horas, até a secagem em estufa com circulação de ar a 45°C por 48 horas, com posterior moagem do solo em moinho de correntes com peneira malha 2 mm.

As análises de solo foram realizadas seguindo as metodologias oficiais descritas pela Embrapa (2009). As determinações de pH foram realizadas com CaCl_2 0,01 mol L⁻¹ na proporção 1:2,5, para a análise de NO_3^- e NH_4^+ do solo a extração com KCl 1 Mol L⁻¹ na proporção 1:10, solo/solução extratora, após a extração o sobrenadante foi estocado e realizada a destilação por arraste de vapores, pelo método o de Kjeldahl, com indicador de ácido bórico 2%, sob titulação para restituição do mesmo com H_2SO_4 0,05 N(EMBRAPA, 2009).

Os resultados obtidos foram submetidos aos seguintes procedimentos estatísticos: teste de Bartlett, para verificar homogeneidade de variâncias; análise de variância (ANOVA), com 5% de probabilidade de erro e; em caso de significância, foi aplicado o teste de Scott-Knott para comparação de médias para os manejos de adubação-N, o teste Tukey para comparação entre as fontes, ambos a 5% de probabilidade de erro. Foi utilizado o programa ASSISTAT 7.6 BETA (SOTWARE ASSISTAT, 2012).

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2011, o pH do solo na camada de 0-20 cm não foi influenciado pelas fontes de N utilizadas (Tabela 14). Entretanto, na camada de 20-40 cm, o pH do solo foi menor com a fonte ureia + NBPT em comparação à ureia. Por diminuir a volatilização de NH₃ a partir da ureia (FONTOURA e BAYER, 2010; RAWLUK et al., 2001; SOUZA, 2012), o uso de NBPT pode resultar em maiores teores de NH₄⁺ no solo em relação à ureia sem o inibidor da urease, gerando maior potencial de acidificação do solo.

Tabela 14. Valores de pH do solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, na safra 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
<i>kg ha⁻¹ de N</i>		<i>0-20 cm</i>		
0+0	4,92 aA*	4,87 aA	4,94 aA	4,91 A
0+40	4,92 aA	4,57 aA	4,74 aA	4,74 B
40+0	4,77 aA	4,82 aA	4,63 aA	4,74 B
40+40	5,13 aA	4,76 aA	4,99 aA	4,96 A
80+0	4,90 aA	4,65 aA	4,83 aA	4,79 B
0+80	5,01 aA	4,89 aA	4,77 aA	4,89 A
40+80	4,81 aA	4,46 aA	4,47 aA	4,58 B
80+40	4,94 aA	4,82 aA	5,21 aA	4,99 A
80+80	4,79 aA	4,82 aA	4,97 aA	4,86 A
Média	4,91 a	4,74 a	4,83 a	
CV%			6,16	
			<i>20-40 cm</i>	
0+0	4,80aB	4,72aA	4,74aB	4,76A
0+40	4,91aA	4,50aA	4,57aB	4,66B
40+0	4,73aB	4,78aA	4,60aB	4,70A
40+40	5,03aA	4,60aA	4,79aB	4,81A
80+0	5,24aA	4,56bA	4,95abA	4,92A
0+80	5,02aA	4,66aA	4,63aB	4,77A
40+80	4,64aB	4,37aA	4,37aB	4,46B
80+40	4,91aA	4,83aA	5,17aA	4,97A
80+80	4,68aB	4,82aA	4,76aB	4,75A
Média	4,88a	4,65b	4,73ab	
CV%			5,62	

*Letras minúsculas comparam nas linhas para fontes pelo teste de Tukey e maiúsculas na coluna comparam as doses dentro de cada profundidade pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Quanto ao manejo da adubação-N, houve efeito sobre o pH do solo na camada de 0-20 cm somente para a média das fontes de N em 2011, com acidificação em relação ao controle (0+0 kg ha⁻¹ de N) nas combinações de 0+40, 40+0, 80+0 e 40+80 kg ha⁻¹ de N na semeadura e cobertura no trigo, respectivamente. Na camada de 20-40 cm, ainda considerando a média das fontes, essa acidificação do solo se repetiu somente nas combinações 0+40 e 40+80 kg ha⁻¹ de N, podendo-se inferir que, no geral, aplicações de 40 ou 80 kg ha⁻¹ de N somente em semeadura tiveram efeito acidificante mais restrito em termos de profundidade do solo do que essas mesmas doses aplicadas em cobertura, acompanhadas ou não de N na semeadura.

A acidificação do solo pela adubação-N basicamente se deve à absorção do NH₄⁺, que no balanço de cargas nas raízes é compensada por excreção de H⁺ no solo, e também à nitrificação, que gera dois moles de H⁺ a cada mol de NH₄⁺ nitrificado (TISDALE et al., 1993). Portanto, as combinações de doses e momentos de aplicação de N citadas acima devem ter gerado maior disponibilidade de NH₄⁺ para a absorção ou nitrificação.

Considerando as fontes isoladamente, em 2011 houve efeito do manejo da adubação-N no pH do solo de 20-40 cm com as fontes ureia e NA. Com a ureia, as combinações de 0+40, 40+40, 80+0, 0+80 e 80+40 kg ha⁻¹ de N propiciaram aumento de pH em relação ao controle. Embora a ureia seja uma molécula de reação básica, cuja hidrólise provoca aumento do pH, principalmente ao redor dos grânulos do adubo, o NH₄⁺ originado dessa hidrólise sofre nitrificação e normalmente causa decréscimo de pH (LANGE et al., 2006). Contudo, a absorção do NO₃⁻, neste caso provindo da nitrificação, gera aumento do pH do solo (MARSCHNER, 1995), e como o NO₃⁻ é bastante móvel no solo (CANTARELLA, 2007), mesmo que a nitrificação tenha ocorrido de 0-20 cm, pode-se justificar a alcalinização observada de 20-40 cm.

Com a fonte NA, também houve aumento do pH nas combinações de 80+0 e 80+40 kg ha⁻¹ de N, portanto nas maiores doses em semeadura. No caso do NA, que é fonte de NO₃⁻ e NH₄⁺, a absorção preferencial de NH₄⁺ acidifica inicialmente o solo, mas é seguida da absorção de NO₃⁻, alcalinizando o solo similarmente ao que ocorreria no suprimento somente de NO₃⁻ (MARSCHNER, 1995). Ocorre que além de absorver o NO₃⁻ do fertilizante, as plantas também absorvem NO₃⁻ da nitrificação do NH₄⁺ do fertilizante, prevalecendo, assim, a alcalinização do solo, que no presente caso se sobressaiu nas maiores doses de N (80 kg ha⁻¹ N) aplicadas de início, na semeadura da cultura, provendo tempo suficiente para ocorrer a nitrificação (acidificante) e, então, sua compensação pela absorção do NO₃⁻ (alcalinizante).

Tabela 15. Valores de pH do solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, na safra 2012, (Guarapuava, 2014)

Manejo da adubação-N	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
<i>kg ha⁻¹ de N</i>				
<i>0-10 cm</i>				
0+0	5,18 aA*	5,19 aA	5,16 aA	5,18 A
0+40	5,15 aA	4,79 bA	4,97 abB	4,97 A
40+0	4,99 aA	4,91 abA	4,65 bB	4,85 B
40+40	5,16 aA	4,88 aA	5,16 aA	5,07 A
80+0	5,21 aA	4,88 bA	4,86 bB	4,98 A
0+80	4,91 aA	5,00 aA	5,19 aA	5,03 A
40+80	4,98 aA	4,88 aA	4,69 aB	4,85 B
80+40	5,05 abA	4,82 bA	5,17 aA	5,01 A
80+80	4,92 aA	4,86 aA	4,87 aB	4,88 B
Média	5,06 a	4,91 b	4,97 ab	
CV%			5,39	
<i>10-20 cm</i>				
0+0	4,90 aA	4,91 aA	4,89 aA	4,90 A
0+40	5,08 aA	4,42 bB	4,93 aA	4,81 B
40+0	4,85 aA	4,81 aA	4,52 aB	4,73 B
40+40	5,05 aA	4,78 aA	5,02 aA	4,95 A
80+0	5,21 aA	4,63 bB	5,02 abA	4,95 A
0+80	4,79 aA	4,94 aA	5,07 aA	4,93 A
40+80	4,89 aA	4,37 bB	4,65 abB	4,63 B
80+40	5,04 aA	4,79 aA	5,22 aA	5,02 A
80+80	5,07 aA	4,97 aA	4,95 aA	4,99 A
Média	4,99 a	4,73 b	4,92 a	
CV%			5,39	
<i>20-40 cm</i>				
0+0	4,96 aA	4,87 aA	4,97 aA	4,93 A
0+40	5,08 aA	4,32 bB	4,83 aA	4,74 B
40+0	4,70 aA	4,72 aA	4,57 aA	4,66 B
40+40	4,91 aA	4,75 aA	4,97 aA	4,88 A
80+0	5,18 aA	4,64 bA	4,91 abA	4,91 A
0+80	5,06 aA	4,86 aA	5,10 aA	5,01 A
40+80	4,90 aA	4,34 bB	4,64 abA	4,63 B
80+40	5,03 aA	4,87 aA	5,17 aA	5,02 A
80+80	4,78 aA	5,01 aA	4,96 aA	4,91 A
Média	4,95 a	4,71 b	4,90 a	
CV%			5,67	

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Em 2012, considerando a média dos manejos da adubação-N, houve efeito das fontes de N sobre o pH do solo em todas as camadas avaliadas (Tabela 15), sendo o solo mais ácido novamente com a fonte ureia + NBPT em comparação à ureia na camada de 0-10 cm, e em comparação à ureia e ao NA nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, indicando que o uso de NBPT pode ter resultado em maior teor de NH_4^+ no solo em relação à ureia, bem como em relação ao NA, neste caso justificando-se pelo fato de que apenas metade do manejo da adubação-N com NA é N-NH_4^+ , uma vez que a fonte é mista, com 50 % de N-NH_4^+ e 50 % de N-NO_3^- .

Também houve efeito do manejo da adubação-N sobre o pH do solo, sendo que, na média das fontes, as combinações de 40+0, 40+80 e 80+80 kg ha^{-1} de N causaram redução do pH do solo na camada de 0-10 cm em relação à testemunha. Na camada de 10-20 cm, as combinações que acidificaram o solo em relação à testemunha foram as de 0+40, 40+0 e 40+80 kg ha^{-1} de N, portanto, as doses de 40+0 e 40+80 kg ha^{-1} de N acidificaram o solo em ambas as camadas, e também estavam entre as que já acidificaram o solo em 2011 na camada de 0-20 cm. Na camada de 20-40 cm, houve acidificação do solo com as mesmas combinações da camada de 10-20 cm, sendo que as doses de 0+40 e 40+80 kg ha^{-1} de N também haviam acidificado o solo de 20-40 cm em 2011.

Em 2013, considerando a média dos manejos da adubação-N, o solo novamente foi mais ácido com ureia + NBPT do que com ureia em todas as camadas avaliadas, repetindo o comportamento de acidificação com adição de NBPT à ureia dos anos anteriores, mas em 2013 a fonte NA também acidificou o solo em comparação à ureia nas camadas de 0-10 e 20-40 cm, não diferindo da ureia + NBPT em nenhuma camada (Tabela 16).

De fato, entre os fertilizantes nitrogenados mais usados, o NA tem como vantagem o fato de que seu uso resultar em menor acidificação do solo, mas é acidificante, sendo o índice de equivalência em carbonato de cálcio (CaCO_3) entre 58 e 62, ou seja, para cada 100 kg de NA aplicados, são necessários de 58 a 62 kg de CaCO_3 para neutralizar a acidez resultante no solo (RAIJ et al., 1997; SOUZA e LOBATO, 2004; SILVA e LOPES, 2011). Portanto, em 2013, após três safras aplicando os fertilizantes nas mesmas parcelas, o acúmulo do efeito acidificante do NA foi suficiente para gerar valores de pH do solo menores em relação à ureia.

Tabela 16. Valores de pH do solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, na safra de 2013 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N	Ureia	Ureia + NBPT	Nitrato de Amônio	Média
<i>kg ha⁻¹ de N</i>		<i>0-10 cm</i>		
0+0	5,05aA*	5,03aA	5,05aA	5,04A
0+40	5,23aA	4,73bA	4,79bB	4,92A
40+0	5,03aA	4,80abA	4,56bB	4,80B
40+40	5,12aA	5,05aA	5,11aA	5,09A
80+0	5,15aA	4,88aA	4,78aB	4,94A
0+80	4,96aA	4,92aA	4,87aB	4,92A
40+80	4,88aA	4,60aA	4,49aB	4,66B
80+40	5,12abA	4,75bA	5,21aA	5,03A
80+80	4,68aA	4,81aA	4,77aB	4,75B
Média	5,03a	4,84b	4,85b	
CV%			5,00	
		<i>10-20 cm</i>		
0+0	4,81aB	4,78aA	4,81aB	4,80B
0+40	5,11aA	4,57bA	4,75abB	4,81B
40+0	4,89aB	4,71aA	4,68aB	4,76B
40+40	5,17aA	4,91aA	4,95aA	5,01A
80+0	5,22aA	4,74bA	4,94abA	4,97A
0+80	5,18aA	5,01aA	4,79aB	4,99A
40+80	4,89aB	4,44aA	4,45aB	4,59B
80+40	5,32aA	4,85bA	5,20abA	5,13A
80+80	4,68aB	4,86aA	5,01aA	4,85B
Média	5,03a	4,76b	4,84ab	
CV%			5,55	
		<i>20-40 cm</i>		
0+0	4,69aA	4,70aA	4,71aA	4,70B
0+40	5,10aA	4,59bA	4,70abA	4,80B
40+0	4,85aA	4,85aA	4,70aA	4,80B
40+40	5,07aA	5,13aA	4,89aA	5,03A
80+0	5,14aA	4,64bA	4,91abA	4,90A
0+80	4,97aA	4,95aA	4,81aA	4,91A
40+80	4,86aA	4,48aA	4,53aA	4,62B
80+40	5,10aA	4,83aA	5,10aA	5,01A
80+80	4,95aA	4,83aA	4,95aA	4,91A
Média	4,97a	4,78b	4,81b	
CV%			5,73	

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Quanto aos teores de NH_4^+ no solo, 80 dias após a adubação de semeadura e 30 dias após a adubação cobertura em 2011 (folha bandeira visível do trigo), não houve efeito de fontes de N na camada de 0-20 cm, considerando a média dos manejos da adubação-N. Entretanto, na camada de 20-40 cm o teor de NH_4^+ com ureia foi menor do que com NA, o qual foi menor do que com Ureia + NBPT (Tabela 17). Marchesan et al., (2013), avaliando doses de ureia em cobertura no arroz irrigado, observaram comportamento quadrático do teor de NH_4^+ no solo em função do tempo, sendo mais elevado aos seis dias após a aplicação do fertilizante. Portanto, a ausência de efeitos na camada de 0-20 cm do solo pode ter ocorrido por conta de lixiviação do N, da atividade microbiana do solo e da absorção das plantas, considerando o período entre as adubações (semeadura + cobertura) do trigo e a amostragem do solo.

O maior teor de NH_4^+ no solo com a fonte ureia + NBPT na camada de 20-40 cm, por sua vez, pode estar relacionado à maior eficiência desta fonte de N em relação à ureia, já que possivelmente apresenta menores perdas de N na forma NH_3 (RAWLUK et al., 2001; SOARES et al., 2012; TASCA et al., 2011). Este resultado está em concordância com o menor pH do solo obtido também com ureia + NBPT (Tabela 14), uma vez que tanto a absorção do NH_4^+ quanto a sua nitrificação são fontes de H^+ para o solo. Com a fonte NA, o suprimento de N- NH_4^+ é de apenas 50 % da dose total de N, justificando menor teor de NH_4^+ em relação à ureia + NBPT, mas a eficiência no fornecimento de NH_4^+ mostrou-se superior em relação à ureia, que apresenta como desvantagem a perda de N por volatilização. O teor de NH_4^+ no solo de 20-40 cm com NA foi intermediário, com distinção estatística para as demais fontes, mesmo comportamento observado para o pH, embora sem significância neste caso.

Da mesma forma que nos teores de NH_4^+ , não houve efeito das fontes, na média dos manejos da adubação-N, nos teores de NO_3^- no solo na profundidade 0-20 cm, mas na profundidade de 20-40 cm a fonte Ureia + NBPT foi superior à fonte NA. Provavelmente, esta diferença se deve justamente ao fato de que metade do N adicionado com NA se deu já na forma de NO_3^- , que é mais propenso ao deslocamento para camadas mais profundas do solo, diferentemente do NH_4^+ resultante da hidrólise da ureia e ureia + NBPT, que sofre adsorção no solo. Souza (2012), estudando a dinâmica do NO_3^- no solo, mostrou que as perdas de NO_3^- no solo sofrem efeito quadrático do aumento de intensidade do processo de lixiviação.

Quanto ao manejo da adubação-N, os menores teores de NH_4^+ no solo na camada de 0-20 cm se deram com as combinações de 0+0, 0+40, 40+40 e 80+40 kg ha^{-1} de N. Nas

combinações com dose total 0+0 e 0+40, os menores teores de NH_4^+ se justificam pelo menor fornecimento de N em relação às doses mais elevadas, como na combinação 80+80 kg ha^{-1} de N. No entanto, teores mais baixos de NH_4^+ no solo em combinações com doses elevadas de 80+ 40 kg ha^{-1} de N e diferenças entre combinações com a mesma dose total, como o maior teor de NH_4^+ com doses agrupadas em 40+0 kg ha^{-1} de N em relação a 0+40 kg ha^{-1} de N, o mesmo ocorrendo com 80+0 kg ha^{-1} de N superando as do grupo de 0+80 kg ha^{-1} de N, sugerem outras possibilidades. Nas doses totais de 40 e 80 kg ha^{-1} de N, o teor de NH_4^+ no solo foi maior quanto maior o manejo da adubação-N aplicada na semeadura, o que pode ter diminuído a imobilização do N das fontes pela atividade microbiana, decompondo a palhada (sistema plantio direto) e a MO do solo.

Por outro lado, com um total de 120 kg ha^{-1} de N, podemos subdividir em dois grupos, assim, o teor de NH_4^+ no solo foi maior com 40+80 do que com 80+40 kg ha^{-1} de N, ou seja, com a maior parte do N aplicada em cobertura, sendo possível que, neste caso, tenha havido N suficiente para as fases iniciais de diferenciação e perfilhamento do trigo em ambos os tratamentos, mas que na fase reprodutiva da cultura a absorção das plantas tenha exaurido mais o NH_4^+ do solo na combinação com apenas 40 kg ha^{-1} de N em cobertura.

Na camada de 20-40 cm, o comportamento foi similar, sendo analisado o teor de NH_4^+ no solo, nos agrupamentos em 40+0 kg ha^{-1} de N na comparação com 0+40 kg ha^{-1} de N, com o N aplicado em semeadura, e com 40+80 na comparação com 80+40 kg ha^{-1} de N, ou seja, com a maior parte do N aplicada em cobertura. No entanto, diferente de 0-20 cm, não houve diferença entre 80+0 e 0+80 kg ha^{-1} de N, e o teor de NH_4^+ no solo no agrupamento envolvendo 0+40, 40+40 e 80+80 kg ha^{-1} de N foi significativamente inferior ao observado no controle (0+0 kg ha^{-1} de N), como indicio de menor absorção pelas plantas no tratamento controle ou maior exaustão do NH_4^+ no solo com 0+40, 40+40 e 80+80 kg ha^{-1} de N. De fato, o teor de NH_4^+ no solo com a combinação 40+40 kg ha^{-1} de N ficou entre os menores também na camada de 0-20 cm.

Com relação ao manejo da adubação-N, os teores de NO_3^- na camada de 0-20 cm do solo foram os menores nos manejos 0+0, 40+40 e 80+40 kg ha^{-1} de N, no quais também foram encontrados os menores teores de NH_4^+ . No entanto, 0+40 e 40+80 kg ha^{-1} de N, que apresentaram os maiores teores de NO_3^- , apresentaram teores de NH_4^+ baixos e valores de pH também mais baixos (Tabela 14), indicando ter havido maior nitrificação, que além de transformar o NH_4^+ em NO_3^- , resultou em acidificação do solo. Na profundidade 20-40 cm os tratamentos 0+40, 40+0, 40+40, 80+40 e 80+80 kg ha^{-1} de N tiveram valores mais baixos de

NO₃⁻, o que normalmente também ocorreu com os teores de NH₄⁺, podendo ser devido tanto à absorção das plantas, exaurindo mais o solo, quanto à maior nitrificação e lixiviação do NO₃⁻.

Tabela 17. Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) no solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, aos 80 dias após a semeadura e 30 dias após a cobertura, na safra de 2011 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N <i>kg ha⁻¹ de N</i>	NH ₄ ⁺ g kg ⁻¹ solo				NO ₃ ⁻ g kg ⁻¹ solo			
	Ureia	U+NBPT	NA	Média	Ureia	U+NBPT	NA	Médias
	<i>0-20 cm</i>							
0+0	8,6 aB*	8,7 aB	8,7 aB	8,7 C	9,2 aB	9,3 aC	9,0 aB	9,2 C
0+40	7,1 bC	9,2 aB	10,1aA	8,8 C	10,6 bA	10,3 bB	12,5 aA	11,1 A
40+0	11,2 aA	9,8 aA	10,7 aA	10,5A	9,5 bB	11,2 aB	10,4 abB	10,4 B
40+40	7,6 aC	7,9 aB	8,4 aB	7,9 C	8,3 aB	8,4 aC	9,9 aB	8,9 C
80+0	10,3 aA	10,8 aA	10,5 aA	10,5A	12,6 aA	9,5 bC	9,7bB	10,6 B
0+80	10,4 aA	8,1 bB	9,8 abA	9,4 B	11,6 aA	8,9 bC	10,0 bB	10,2 B
40+80	9,8 aA	9,1 aB	9,7 aA	9,5 B	11,4abA	12,9 aA	9,7 bB	11,4 A
80+40	8,9 aB	10,2 aA	7,4 bB	8,8 C	8,7 bB	10,7 aB	9,5abB	9,6 C
80+80	11,3 aA	9,8 aA	9,7 aA	10,3 A	9,9 aB	10,4 aB	10,4 aB	10,2 B
Média	9,45 a	9,28 a	9,42 a		10,21 a	10,2 a	10,14 a	
CV%		10,17				9,28		
	<i>20-40 cm</i>							
0+0	10,2 aA	10,1 aB	10,3 aA	10,2 B	10,7 aA	10,7 aA	10,7 aA	10,7A
0+40	6,5 bC	9,9 aB	9,7 aA	8,7 D	9,5 bB	11,1 aA	8,7 bB	9,8B
40+0	8,5 cB	15,7 aA	10,6 bA	11,6 A	9,8 aB	9,8 aB	10,1 aA	9,9B
40+40	7,7 bB	9,7 aB	8,2 abB	8,5 D	8,6 bB	9,5 abB	10,5 aA	9,5B
80+0	9,6 aA	10,4 aB	10,2 aA	10,1 B	9,2 bB	11,1 aA	11,0 aA	10,4A
0+80	9,2 bA	9,3 bB	11,7 aA	10,1 B	11,7 bA	11,1 bA	9,7 aA	10,8A
40+80	9,8 aA	9,3 aB	8,8 aB	9,3 C	10,3 aA	10,6 aA	10,5 aA	10,4A
80+40	7,9 abB	9,5 aB	7,6 bB	8,3 D	9,3 abB	10,2 aB	8,5 bB	9,3B
80+80	9,3 aA	9,7 aB	9,7 aA	9,6 C	11,0 aA	9,2 bB	9,7 bA	9,9B
Média	8,73 c	10,40 a	9,64 b		10,01 ab	10,35 a	9,92 b	
CV%		10,15				7,28		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Na safra 2012 ocorreu uma grande diferença na distribuição de chuvas em comparação à de 2011, com déficit hídrico incomum em relação à característica histórica da região, entre o primeiro decênio de agosto e o início do segundo decênio de setembro, compreendendo os estádios entre o perfilhamento e o emborrachamento, o que causou, inclusive, queda de cerca de 50% na produtividade de grãos em relação a 2011 (Capítulo I, Tabela 4).

Nestas condições, os teores de NH_4^+ na camada 0-10 cm (Tabela 18) em função das fontes, na média dos manejos da adubação-N, foram maiores na sequência ureia > NA > Ureia + NBPT. Já na profundidade 10-20 cm, as fontes ureia e NA foram superiores em relação à Ureia + NBPT, não havendo diferença entre as fontes na camada de 20-40 cm, sendo os efeitos mais restritos em termos de profundidades na comparação com 2011. Tal fato se deve à menor intensidade de lixiviação/deslocamento do N ao longo do ciclo da cultura, bem como ao fato de que, em condições de déficit hídrico no solo, pode haver ascensão capilar do N no perfil (SOUZA, 2012).

Os maiores teores de NH_4^+ com ureia nas camadas até 20 cm podem ser devidos à rápida hidrólise e liberação de N desde a semeadura do trigo, que nesta safra foi precedido por milho, com palha de relação C/N alta. Assim, pode ter havido maior imobilização de N do que com a fonte ureia + NBPT, e no momento da amostragem do solo, 75 dias após a semeadura e 33 dias após a adubação de cobertura, a mineralização já seria predominante, retornando mais o N ao solo na forma de NH_4^+ com a fonte ureia. Mariano (2010), estudando a dinâmica de imobilização e mineralização do N em cana-de-açúcar, mostrou a intensa atividade de imobilização do N por resíduos culturais nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, e posterior liberação do nutriente nos estádios mais avançados.

No caso da fonte NA, apenas 50% do N é N-NH_4^+ , em comparação à ureia ou ureia + NBPT, mas a liberação é imediata como na fonte ureia, e conforme Mariano (2010) há preferência dos microrganismos na imobilização de NH_4^+ em relação ao NO_3^- , pelo menor gasto energético, justificando o resultado intermediário em relação à ureia e à ureia + NBPT, a qual mesmo com todo o N (amídico) originando N-NH_4^+ , por retardar a liberação do N no solo, pode ter sofrido menor imobilização inicial e, portanto, menor liberação posterior de NH_4^+ na fase de mineralização.

Tabela 18. Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) no solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, aos 80 dias após a semeadura e 30 dias após a cobertura na safra de 2012 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N <i>kg ha⁻¹ de N</i>	NH ₄ ⁺ g kg ⁻¹ solo				NO ₃ ⁻ g kg ⁻¹ solo			
	Ureia	U+NBPT	NA	Média	Ureia	U+NBPT	NA	Médias
<i>0-10 cm</i>								
0+0	17,2 aC*	17,0 aA	17,1 aA	17,1 A	12,8 aB	12,9 aD	12,8 aB	12,9 C
0+40	16,3 aC	13,7 bB	15,1 abB	15,0 B	16,7 aA	16,9 aB	18,1 aA	17,2 A
40+0	15,2 aC	11,8 bC	14,6 aB	13,9 C	14,6 aB	15,1 aC	15,5 aB	15,1 B
40+40	16,8 aC	13,9 bB	15,7 abB	15,4 B	13,7 bB	19,7 aA	17,9 aA	17,1 A
80+0	21,3 aA	14,6 bB	15,7 bB	17,2 A	16,6 aA	15,7 abC	13,4 bB	15,3 B
0+80	19,2 aB	12,4 bC	18,9 aA	16,8 A	17,1 aA	15,9 abC	14,5 bB	15,8 B
40+80	21,6 aA	8,8 cD	14,9 bB	15,1 B	17,9 aA	17aB	18,0 aA	17,7 A
80+40	16,3 abC	14,5 bB	17,5 aA	16,2 A	13,9 bB	17,4 aB	13,7 bB	15 B
80+80	11,4 bD	11,9 bC	15,5 aB	12,9 C	14,8 bB	19,4 aA	19,9 aA	18,0 A
Média	17,3 a	13,2 c	16,11 b		15,35 b	16,66 a	15,8 ab	
CV%		9,52				9,21		
<i>10-20 cm</i>								
0+0	14,7 aB	14,9 aB	14,8 aB	14,9 B	12,7 aB	12,8 aD	12,8 aC	12,8 D
0+40	17,2 aA	17,1 aA	14,6 bB	16,3 A	16,8 aA	15,7 aC	15,7 aB	16,1 B
40+0	17,0 aA	15,7 aA	15,6 aB	16,1 A	13,4 aB	15,8 aC	15,9 aB	15,0 C
40+40	16,4 aA	17,0 aA	17,6 aA	17,0 A	13,4 bB	19,6 aA	17,2 aB	15,7 B
80+0	16,5 aA	16,4 aA	14,6 aB	15,8 A	15,8 aA	16,6 aC	16 aB	16,1 B
0+80	15,1 aB	11,4 bC	17,2 aA	14,5 B	20,1 aA	14,1 aD	13,0 bC	15,7 B
40+80	18,8 aA	8,9b D	20 aA	15,9 A	16,6 bA	17,2 abB	19,5 aA	17,7 A
80+40	15,6 aB	13,8 aB	14,8 aB	14,7 B	13,0 bB	15,9 aC	13,4 abC	14,1 C
80+80	14,7 bB	15,9 abA	18,2 aA	16,3 A	14,9 bB	19,5 aA	19,0 aA	17,8 A
Média	16,24 a	14,55 b	16,37 a		15,19 b	16,35 a	15,82 ab	
CV%		9,29				10,08		
<i>20-40 cm</i>								
0+0	14,2 aC	14,2 aB	14,2 aB	14,12 B	15,7 aA	15,5 aC	15,7 aC	15,6 C
0+40	15,2 aB	13,2 aB	14,8 aB	14,4 B	14,0 aB	14,5 aC	15,7 aC	14,7 C
40+0	15,7 aB	15,7 aB	12,9 aB	14,8 B	13,1 bB	15,4 abC	16,2 aC	14,9 C
40+40	15,8 aB	18,2 aA	16,3 aA	16,8 A	13,3 bB	20,2 aA	17,8 aB	17,1 B
80+0	17,2 aA	17,1 aA	16,1 aA	16,8 A	17,8 aA	17,2 aB	13,9 bD	16,3 B
0+80	13,8 bC	12,5 bB	16,7 aA	14,3 B	16,4 aA	15,7 aC	14,1 aD	15,4 C
40+80	13,2 bC	18,1 aA	15,0 bB	15,4 A	15,3 bA	20,4 aA	20,9 aA	18,8 A
80+40	19,0 aA	14,5 bB	14,4 bB	16 A	15,2 aA	15,0 abC	12,5 bD	14,2 C
80+80	10,4 cD	14,1 bB	18,4 aA	14,3 B	14,1 bB	17,7 aB	19,6 aA	17,1 B
Média	14,94 a	15,29 a	15,42 a		14,97 b	16,84 a	16,26 a	
CV%		10,81				9,52		

*Letras minúsculas comparam fontes (na linha) e maiúsculas comparam manejos (na coluna), pelos testes de Tukey e Scott Knott, respectivamente, a 5% de probabilidade de erro.

Os teores de NO_3^- tiveram comportamento inverso em relação ao NH_4^+ , sendo que nas camadas de até 20 cm do solo, na média dos manejos da adubação-N, teores de NO_3^- foram maiores com a fonte Ureia + NBPT em relação à ureia, e a fonte NA permaneceu com resultados intermediários, porém sem diferir das demais (Tabela 18). Tais resultados mostram que a menor imobilização de N com a fonte Ureia + NBPT pode ter incorporado mais N ao solo e favorecido o processo de nitrificação, característica predominante na maioria dos solos com bom fornecimento de oxigênio, M.O. e água (MALAVOLTA, 2006). Tal discussão têm suporte nos resultados de Marchesan et al., (2013) que verificaram que a aplicação de Ureia + NBPT gerou altos teores de NH_4^+ no solo nos primeiros dias de avaliação, e que aos seis dias após a aplicação, o solo apresentou teores superiores de NO_3^- com Ureia + NBPT em relação à ureia, mostrando ser rápida a oxidação do NH_4^+ . Na camada de 20-40 cm, os teores de NO_3^- também foram maiores com Ureia + NBPT, mas neste caso a fonte NA também superou a ureia.

Quanto ao manejo da adubação-N, considerando a média das fontes, os teores de NH_4^+ na profundidade de 0-10 cm em 2012 foram mais elevados quando agrupados em 0+0, 80+0, 0+80 e 80+40 kg ha^{-1} de N, cujos teores de NO_3^- foram intermediários, superando somente o teor observado na testemunha. Portanto, de forma similar a 2011, quando o teor de NH_4^+ no solo se apresentou mais elevado em um tratamento, o teor de NO_3^- do mesmo tendeu a ser mais baixo, o que pode ser devido à maior imobilização do N aplicado nestes tratamentos, preferencialmente de NH_4^+ , enquanto o NO_3^- estaria mais propenso à absorção pelas plantas e/ou lixiviação, e que no momento da coleta do solo houve predomínio da mineralização, retornando mais NH_4^+ para o solo. No caso da testemunha, o teor elevado de NH_4^+ no solo em relação aos demais manejos também é justificável pelo menor crescimento das plantas e, conseqüentemente, menor extração do N do solo, atrelado ao déficit hídrico, que por sua vez diminui a atividade dos microrganismos do solo, responsáveis pela ciclagem do N, principalmente NH_4^+ .

Os menores teores de NH_4^+ no solo na camada de 0-10 cm foram com os manejos de 40+0 e 80+80 kg ha^{-1} de N, por outro lado, podem estar relacionados à pequena dose total de N no primeiro manejo, cujo teor de NO_3^- no solo também foi baixo, superando somente a testemunha, e/ou à maior exaustão no solo pela absorção das plantas, que se melhor se desenvolveram e apresentaram produtividade elevada de grãos no tratamento 80+80 kg ha^{-1} de N. Neste último tratamento, a maior disponibilidade de N desde a semeadura, pode ter favorecido a mineralização mais rápida do N, adiantando, o processo de nitrificação, o que

justifica o elevado teor de NO_3^- no solo a despeito do menor teor de amônio.

Na camada de 10-20 cm, considerando a média das fontes, os teores do NH_4^+ foram mais baixos nos manejos de 0+0, 0+80 e 80+40 kg ha^{-1} de N, quase os mesmos em que os teores foram elevados na camada de 0-10 cm, com exceção ao agrupamento com 80+0 kg ha^{-1} de N, corroborando a discussão sobre imobilização de N, que é maior na camada superficial de 0-10 cm, com contato direto com a palha, de alta relação C/N nesta safra. Assim, menor quantia de N foi incorporada inicialmente ao solo, justificando que os teores de NO_3^- também tenham sido entre os mais baixos nestes manejos.

Na profundidade 20-40 cm, os menores teores de NH_4^+ na média das fontes ocorreram nos manejos de 0+0, 0+40, 40+0, 0+80 e 80+80 kg ha^{-1} de N, praticamente os mesmos em que os teores de NO_3^- também foram baixos, sendo mais elevados os teores de NH_4^+ com os manejos de 40+40, 80+0, 40+80 e 80+40 kg ha^{-1} de N, cujas doses totais de N foram intermediárias (80 ou 120 kg ha^{-1} de N), podendo significar que a ausência ou baixa dose de N resultou em fornecimento insuficiente do nutriente para suprir imobilização e absorção das plantas e ainda mobilizar N em profundidade, e que na dose mais elevada pode ter havido facilidade de nitrificação e exaustão do NH_4^+ no solo.

Em 2013 o solo foi amostrado aos 80 e 30 dias após as adubações de semeadura e cobertura, respectivamente, e na média dos manejos da adubação-N a fonte NA apresentou teor de NH_4^+ equivalente à ureia e ambas superaram a fonte ureia + NBPT na camada de 0-10 cm. Na camada de 10-20 cm, a fonte NA continuou apresentando o maior teor de NH_4^+ , agora superando a ureia, que por sua vez superou a ureia + NBPT. Na camada de 20-40 cm, o resultado foi inverso e a fonte NA apresentou o menor teor de NH_4^+ , sendo superado pelo teor obtido com a ureia, enquanto a fonte ureia + NBPT demonstrou teor intermediário, em relação às demais fontes, sem diferir estatisticamente de ambas.

Como os teores de NO_3^- não foram diferentes entre as fontes, em nenhuma das camadas, a fonte NA parece ter sofrido menor mobilização de N em profundidade.

Na camada até a profundidade de 20 cm os menores teores de NH_4^+ encontrados no solo com a fonte ureia + NBPT provavelmente foram devido a menor ciclagem no trigo em consonância com uma maior absorção de N das plantas, assim, maior exaustão do nutriente no solo, similar ao encontrada na safra 2012.

Soares et al., (2012) observaram teores de NH_4^+ no solo similares ao comparar a adição ou não de NBPT à ureia, entretanto, as perdas de N por volatilização apresentaram-se até 22% maiores sem o NBPT, indicando haver outro destino que não o solo para o N do

fertilizante não perdido com a adição do NBPT, provavelmente as plantas, com sua maior produtividade (Tabela 12) quando comparada à obtida com a fonte NA no presente estudo

No trabalho de Poletto et al., (2008), as grandes variações nos teores de NO_3^- no solo se justificaram pela amplitude pluviométrica, sendo a atividade microbiana responsável pela nitrificação parcialmente inibida pelo elevado índice pluviométrico observado, além de causar mobilização do NO_3^- para camadas mais sub superficiais do solo, inclusive superiores a 40 cm de profundidade. No presente estudo, observa-se que na safra de 2011, com maior precipitação, os teores de NO_3^- foram mais baixos que a média das três safras, e as maiores diferenças entre as fontes foi observada na profundidade 20-40 cm, indicando o deslocamento de NO_3^- e NH_4^+ no perfil do solo, principalmente do NO_3^- , corroborando os dados de Owen e Jones (2001).

Quanto aos diferentes manejos da adubação-N, os teores de NH_4^+ apresentaram comportamento similar aos anos anteriores. Concordando com os resultados encontrados na camada de 0-20 cm em 2011, em 2013 alguns dos manejos de adubação-N apresentaram, na camada de 0-10 cm, teores de N mais baixos que a testemunha, como no tratamento com 40+40 kg ha⁻¹ de N na média das três fontes, indicando que o teor de N no solo também advém de fontes que não a adubação mineral, como o N preexistente no solo, efeito conhecido como “*priming*”. No trabalho de Clough et al., (2013) isso foi mostrado pela queda nos teores do N-mineral do solo em comparação à testemunha, que pode ser observado na Tabela 19, tanto para os teores de NH_4^+ como para NO_3^- .

O trabalho de Weber e Mielniczuk (2009), sobre o estoque de N no solo em SPD em experimentos de longa duração, mostrou que o acúmulo foi maior com adição de N, seja pela adubação mineral ou pelo cultivo de leguminosas com fixação biológica de N, mostrando que grandes quantias de N adicionadas junto ao acúmulo de carbono no solo pode aumentar a quantidade total de N no solo, aumentando o efeito “*priming*”.

Altos teores de NO_3^- no solo com o manejo 80+80 kg ha⁻¹ de N vão ao encontro do descrito por Cantarella (2007), em que a nitrificação e posterior absorção predispõe o solo a maiores quedas no pH para a profundidade de 0-10 cm, principalmente nos tratamentos que resultam em altas produtividades.

Tabela 19. Teores de amônio (NH₄⁺) e nitrato (NO₃⁻) no solo em função de fontes e manejos da adubação nitrogenada do trigo em sistema plantio direto, aos 80 dias após a semeadura e 30 dias após a cobertura, na safra 2013 (Guarapuava, 2014).

Manejo da adubação-N <i>kg ha⁻¹ de N</i>	NH ₄ ⁺ g kg ⁻¹ solo				NO ₃ ⁻ g kg ⁻¹ solo			
	Ureia	U+NBPT	NA	Média	Ureia	U+NBPT	NA	Médias
	<i>0-10 cm</i>							
0+0	10,4 aC*	10,3 aB	10,4 aB	10,3 B	14,9 aB	15,2 aB	14,8 aB	15 B
0+40	9,0 bC	10,2 bB	13 aA	10,7 B	11,8 bD	12,5 abC	14,6 aB	13 C
40+0	11,6 aB	11,5 aA	12,9 aA	12 A	14,5 abB	15,6 aB	13 bC	14,3 B
40+40	8,6 aC	9,8 aB	8,8 aC	9,1 C	13,9 aC	13,2 aC	12,7 aC	13,3 C
80+0	11,8 aB	12,3 aA	9,1 bC	11,1 A	10,3 bD	13,7 aC	13,0 aC	12,4 C
0+80	14,4 aA	9,9 bB	11,4 bB	11,9 A	16,1 aA	17,34 aA	15,1 aB	16,2 A
40+80	10,4 bC	13,7 aA	12,9 aA	12,3 A	13,4 aC	14,1 aC	14,1 aB	13,9 C
80+40	12,7 aB	8,0 bC	14,2 aA	11,6 A	13,4 bC	13,0 bC	17,2 aA	14,5 B
80+80	12,4 aB	8,3 bC	13,3 aA	11,3 A	17,5 aA	12,2 bC	16,6 aA	15,5 A
Média	11,24 a	10,44 b	11,77 a		13,98 a	14,09 a	14,56 a	
CV%	12,28				9,56			
	<i>10-20 cm</i>							
0+0	11,6 aB	11,5 aA	11,9 aA	11,7 A	15,1 aA	14,9 aA	15,2 aA	15,1 A
0+40	9,3 aC	9,3 aB	8,4 aB	9 C	11,6 bB	14,5 aA	15,2 aA	13,7 B
40+0	11,3 aB	10,6 aA	12,1 aA	11,3 A	13,5 abA	14,5 aA	12,2 bB	13,4 B
40+40	9,7 abC	8,1 bB	10,9 aA	9,6 C	11,6 aB	12,5 aB	11,3 aB	11,8 C
80+0	12,5 aA	7,8 bB	11,5 aA	10,6 B	11,5 aB	13,6 aB	12,6 aB	12,6 C
0+80	12,9 aA	8,5 cB	10,5 bA	10,6 B	15,10 aA	15,7 aA	13,5 aB	14,8 A
40+80	7,9 bC	11,4 aA	11,3 aA	10,2 B	12,5 abB	11,8 bB	14,2 aA	12,8 C
80+40	8,2 bC	11,1 aA	12,7 aA	10,7 B	14,8 aA	16,7 aA	15,6 aA	15,7 A
80+80	10,5 aB	7,7 bB	10,4 aA	9,5 C	15,1 abA	13,1 bB	17,0 aA	15,1 A
Média	10,41 b	9,55 c	11,07 a		13,42 a	14,13 a	14,07 a	
CV%		11,11				10,00		
	<i>20-40 cm</i>							
0+0	10,8 aA	10,7 aA	11,2 aA	10,9 A	14,3 aC	14,1 aB	14,4 aB	14,3 B
0+40	12,6 aA	11,2 aA	8,2 bB	10,7 A	12,8 aC	13,2 aB	14,6 aB	13,5 B
40+0	12 aA	10,5 aA	12,2 aA	11,58 A	11,3 aC	13,2 aB	12,5 aC	12,4 B
40+40	8,1 aB	10,5 aA	9 aB	9,2 B	13,2 aC	13,6 aB	13,4 aC	13,4 B
80+0	12,6 aA	10,1 abA	8,8 bB	10,5 A	12,7 aC	14 aB	13,3 aC	13,3 B
0+80	11,4 aA	9,4 aA	9,9 aB	10,2 A	14,2 bC	18,0 aA	14,9 bB	15,7 A
40+80	8,8 aB	8,8 aA	8,5 aB	8,7 B	12,5 aC	14,5 aB	14,5 aB	13,8 B
80+40	11,4aA	9,6 aA	12,0 aA	11,0 A	18,2 aA	16,5 abA	15,6 bB	16,6 A
80+80	11 aA	11,6 aA	9,4 aB	10,7 A	15,5 abB	14,1 bB	17,8 aA	15,8 A
Média	10,97 a	10,26 ab	9,93 b		13,86 a	14,56 a	14,55 a	
CV%		16,29				10,02		

*Letras minúsculas comparam nas linhas para fontes pelo teste de Tukey e maiúsculas na coluna comparam as doses dentro de cada profundidade pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade

Nas três profundidades o comportamento do NH_4^+ foi similar, a exceção da profundidade 10-20 cm, tendo bom desenvolvimento da cultura nesta safra, com produtividades superiores a safra 2012, também, superando às médias municipais e estaduais. Os teores de NO_3^- , nas médias por camadas, foram maiores do que os de NH_4^+ , diferenciando dos resultados do ano de 2012, provavelmente devido às vantagens do cultivo da soja como antecessora. Siqueira Neto et al., (2010) estudaram a mineralização e desnitrificação sob SPD consolidado e, comparando as sucessões soja/trigo e milho/trigo, verificaram que os resíduos de soja aumentaram os níveis de N-NO_3^- no solo, corroborando com os resultados encontrado no presente trabalho.

Na profundidade 20-40 cm, não foram observadas diferenças tão pontuais, principalmente nos teores de NH_4^+ entre os manejos da adubação N, como visto nas camadas mais superficiais, sendo que o manejo $80+80 \text{ kg ha}^{-1}$ de N foi agrupado com a testemunha, apenas os manejos de $40+40$ e $40+80 \text{ kg ha}^{-1}$ de N é que apresentaram teores inferiores. Para o NO_3^- , somente $80+40$ e $80+80 \text{ kg ha}^{-1}$ de N foram superiores à testemunha, mostrando que somente com grandes doses de N foram possíveis para manter diferenças entre manejos em profundidades além dos 20 cm.

Os tratamentos com comportamentos mais constantes estiveram relacionados a manejos equilibrados de N entre os momentos de semeadura e cobertura, ou seja, $40+40$ e $80+80 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. Cánovas e Trindade (2003) citam que uma série de diferenças fitotécnicas encontradas, mas seus resultados são regulados pelos fatores compensatórios, que resultam em ausência de efeitos em termos de produtividade, assim, parece ocorrer com os teores de NO_3^- e NH_4^+ do solo sob efeito dos manejos da adubação-N, que pode fornecer diferentes disponibilidades de N nos diferentes estádios fenológicos das plantas, resultando em diferenças pontuais nos atributos estudados, mas com efeitos pouco insignificantes nos resultados de produtividade.

4.6. CONCLUSÕES

A fonte ureia + NBPT em grande parte dos manejos da adubação-N teve os menores valores de pH em relação à ureia, e os manejos utilizando 40+40 e 0+80 kg ha⁻¹ na média das fontes tiveram os menores efeitos acidificantes do solo.

Os tratamentos com a fonte ureia + NBPT proporcionaram maiores teores de NO₃⁻ em relação a NH₄⁺ no solo, em comparação com a ureia.

Os teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ do solo foram influenciados pelas condições climáticas ocorridas na safra, sendo que o solo possui grande capacidade de fornecimento de N às plantas, entretanto há necessidade de adubação mineral, principalmente para maiores ganhos em produtividade, principalmente em condições propensas a déficit hídrico.

Os maiores teores de NH₄⁺ e NO₃⁻ do solo normalmente foram encontrados nos manejos com as maiores doses de N, sendo que os teores de NO₃⁻ normalmente possuem maior relação com a quantidade de N adicionado via adubação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. J.; ZOTARELLI, L.; FERNANDES, F. M.; HECKLER, J. C.; MACEDO, R. A. T.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41, n.3, p.449-456, 2006.

AOAC. **INTERNATIONAL OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS**. 16^a ed., 3^a rev. Gaitherburg: AOAC International, 1997. v.2, cap. 32, p.1-43.

BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. 1^o ed. Guarapuava: Midiograf, 2006. 218p .

BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. **Mapa de Solos do Estado do Paraná**. Legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Florestas: Embrapa Solos: Instituto Agronômico do Paraná, 2008. 74p.

BOSCHINI, A. P. M.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S.; OLIVEIRA JUNIOR, M. P.; MIRANDA, M. Z.; MARCELO, F. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 5, p. 450-457, 2011.

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER, H. J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. **Journal of Plant Physiology**, v.159, n. 6, p. 567–584, 2002.

CÁNOVAS, A. D.; TRINDADE, M. G. **Densidade de semeadura de trigo: uma questão de economia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 54).

CANTARELLA, H. **Nitrogênio: Fertilizantes estabilizados**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). Fertilidade do Solo. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C.E.O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p. 45-72. (Boletim Técnico, 100).

CBPTT. **COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE**. Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2013. Londrina: Instituto Agrônomo Do Paraná, 2012. 220 p.

CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M.; KAMMANN, C.; MÜLLER, C. A Review of biochar and soil nitrogen dynamics. **Agronomy**, Switzerland-Suíça, v. 3, n. 2, p. 275-293, 2013.

CONAB. **Levantamento de Safra 2013/2014**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_11_11_08_54_13_boletim_portugues_novembro_2013_-ok.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2013.

CRUZ, P.J.; CARVALHO, F.I.F.; CAETANO, V.R.; SILVA, A.S.; ANDREOMAR, J.K.; BARBIERI, R.L. Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo comum. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 563-568, 2001.

EMBRAPA. Boletim de Pesquisa e desenvolvimento 06, 2002. **Características fisiológicas associadas ao avanço no potencial de rendimento de grãos de trigo**. L. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_bp06.htm>. Acesso em: 02 fev. 2014.

EMBRAPA. Sistemas de produção 9. **Informações técnicas para trigo e triticale safra - 2012**. Dourados – MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2011. 225 p.

EMBRAPA Milho e Sorgo, 2011. **Sistema de Produção 1**. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_7_ed/referencias.htm>. Acesso em: 7 maio de 2012.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 370p.

EMBRAPA - Sistemas de Produção 10 - **Tecnologias de Produção de Soja - Paraná 2007**. Londrina – PR: Embrapa Soja, 2006. 217p.

ESPINDULA, M. C.. **Inibidor de urease (NBPT) e a eficiência da ureia na fertilização do trigo irrigado**. 2010. 70 f. Tese (Doutorado em fitotecnia) Universidade Federal de Viçosa – MG, 2010.

FAO. **FAOSTAT** – Resources – Fertilizers. 2013. Disponível em:<<http://faostat.fao.org/site/575/DesktopDefault.aspx?PageID=575#ancor>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C. Ammonia volatilization in no-till system in the South-Central region of the state of Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, n. p. 1677-1684, 2010.

GEZGIN, S.; BAYAKLI, F. Controlling ammonia volatilization from urea surface applied to sugar beet on a calcareous soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. Turkey, v. 27, n. 9-10, p. 2443-2451. 2008.

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L. V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v.36, n.2, p.129-135, 2002.

GRANT, C.A.; BAILEY, L.D. Effect of seed-placed urea fertilizer and N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) on emergence and grain yield of barley. **Canadian Journal of Plant Science**, Nopean – Canadá, v. 79, n. 4, p. 491-496, 1999.

HEINRICHS, R.; GAVA, G. J.; CORAZZA, E. J.; DUETE, R. R. C.; VILLANUEVA, F. C. A.; MURAOKA, T. Forma preferencial de absorção de nitrogênio ($^{15}\text{NH}_4^+$ ou $^{15}\text{NO}_3^-$) pelas culturas de soja, feijão, arroz e milho. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 25-30, 2006.

HIRAKURI, M.H. **Avaliação econômica da produção de trigo no Estado do Paraná, para a safra de 2013**. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 11 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 96).

HOLZSCHUH, M. J.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I.; PIZZOLATO, T. M.; Campos CARMONA, F. C.; CARLOS, F. S. Absorção de nutrientes e crescimento do arroz com suprimento combinado de amônio e nitrato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1357-1366, 2011.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas Climáticas do Estado do Paraná**. Curitiba, 2000. Disponível em: <http://200.201.27.14/Site/Sma/Cartas_Climaticas/CartasClimaticas.htm>. Acesso em: set. 2013.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. - Londrina: IAPAR, 2003. 30 p. (IAPAR. Circular Técnica nº 128).

IBGE. **SIDRA 2013**, Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=99&z=p&o=26>>. Acesso em: 08 dez. 2013.

IFA - **International Fertilizer Industry Association** - STATISTICS. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org/ifa/ifadata/results>>. Acesso em: 28 de maio 2012.

LANGE, A.; CARVALHO. J.L.N.; DAMIN, V.; CRUZ, J.C.; MARQUES, J.J. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 2, p. 460-467, 2006.

LARGE, E.C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes scale. **Plant Pathology**, v.3, n. 4, p.128-129, 1954.

MAGRO, B. A. **Perda de solo, água e nutrientes em três sistemas de preparo de solo florestal**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 2012.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Química Agrícola adubos e adubação**. 3 ed. São Paulo : Ceres, 1981. 594 p.

MARCHESAN, E.; GROHS, M.; WALTER, M.; SILVA, L. S.; FORMENTINI, T. C. Agronomic performance of rice to the use of urease inhibitor in two cropping systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 594-603, 2013.

MARIANO, E. **Mineralização e disponibilidade de nitrogênio em solos cultivados com cana-de-açúcar**. 2010. 92 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. In. Functions of Mineral Nutrients: Macronutrients. Academic Press, 1995. 889 p.

MEGDA , M. M.; BUZETT, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. M. C.; VIEIRA, M. X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes de e épocas e aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 1055-1060. 2009.

MESQUITA, L.A.V. Nitrato de Amônio. **Informações Agronômicas**, n.120, p.6-7, 2007.

OR. **OR Sementes**. Cultivares – Mirante. Disponível em: <<http://www.orsementes.com.br/?cultivares=mirante>>. Acesso em: 10 jul. 2013.

OWEN, A.G. & JONES, D.L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology Biochemistry**, gwynedd - UK, v. 33, n. 4/5, p. 651-657, 2001.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 473-479, 2009.

POLETTO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um Argissolo Vermelho Distrófico Típico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1619-1626, 2008.

POLETTO, N.; MUNDSTOCK, C. M.; GROHS, D. S.; MAZURANA, M.; Padrão de afilamento em arroz afetado pela presença dos íons amônio e nitrato. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 96-103, 2011.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; BASSOI, M. C.; OLIVEIRA, F. A. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônômico de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012.

PRANDO, A. M.; ZUCARELI, C.; FRONZA, V.; OLIVEIRA, F. A. OLIVEIRA JÚNIOR, A. Características produtivas do trigo em função de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 43, n. 1, p. 34-41. 2013.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 247-253, 2005.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2º ed. Piracicaba: IPNI, 2011. 420 p.

RAWLUK, C. D. L.; GRANT, C. A.; RACZ, G. J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, Nopean - Canadá, v. 81, n. 2, p. 239-246, 2001.

ROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria v. 33, n. 5, p. 799-804, 2003.

TEIXEIRA, M. C. C.; RODRIGUES, O. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003. 16 p.

SFREDO, G.J. **Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 148 p. (Documentos, Embrapa Soja, n. 305).

SILVA, D.R.G.; LOPES, A.S. **Princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes**. Lavras: Editora UFLA, 2011. 46p. (Boletim Técnico, 89).

SILVA, S. F.; ARF, O.; BUZETTI, S.; SILVA, M. G. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo em sistema plantio direto no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. Esp. p. 2717-2722, 2008.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; VENZKE FILHO, S. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 923-936, 2010.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALE, M. L. C. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology e Biochemistry**. Oxford - Reino Unido, v. 52, p. 82-89, 2012.

SOFTWARE ASSISTAT: **Assistência Estatística**. Versão 7.6 beta. Campina Grande: UAEG-CTRN-UFCG, 2012.

SOUZA, J. A. **Lixiviação de nitrato e volatilização de amônia em um latossolo cultivado com café sob diferentes fontes de nitrogênio**. 2012. 85 f. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de plantas) Universidade Federal de Viçosa- Minas Gerais, 2012.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SYLVESTER-BRADLEY, R., SCOTT, R.K., WRIGHT, C.E. **Physiology in the production and improvement of cereals**. London: HCGA, 1990.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 493-502, 2011.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p.797-804. 2010.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M. **Doses, fontes e épocas de aplicação do nitrogênio em cultivares de trigo sob plantio direto no cerrado**. 2008. 80 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira – SP. 2008.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. (4. ed.). New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. K.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. (5 ed.) New York: MacMillan, 1993. 634p.

VALÉRIO, I. P.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; BENIN, G.; MAIA, L. C.; SILVA, J. G. S.; SCHMIDT, D. M.; SILVEIRA, G. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 1207-1218, 2009.

VIERO, F. **Volatilização de amônia de fertilizantes nitrogenados aplicados nas culturas do trigo e do milho em sistema de plantio direto no sul do Brasil**. 2011. 61 f. Dissertação

(Mestrado em Ciência do Solo) Faculdade de Agronomia-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J.L.F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. 135-185 p.

WAGNER, M. W.; JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; SUCHORONCZEK, A.; SCABENI, C. **J. Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. Guarapuava, v. 2, n. 3, p.41-49, 2009.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 429-437, 2009.

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2005.