

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ADUBAÇÃO NITROGENADA COM INIBIDOR DE UREASE E
NITRIFICAÇÃO EM CAPIM-TIFTON 85**

Edimar Rodrigues Soares
Engenheiro Agrônomo

2017

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ADUBAÇÃO NITROGENADA COM INIBIDOR DE UREASE E
NITRIFICAÇÃO EM CAPIM-TIFTON 85**

Edimar Rodrigues Soares

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

2017

S676a Soares, Edimar Rodrigues
Adubação nitrogenada com inibidor de urease e nitrificação em
capim-tifton 85 / Edimar Rodrigues Soares. – – Jaboticabal, 2017
xii, 68 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho

Banca examinadora: José Eduardo Corá, Itamar Andrioli, Anice
Garcia, Sérgio Bispo Ramos

Bibliografia

1. Ureia. 2. Fertilizantes estabilizados. 3. *Cynodon* spp. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.84:633.2

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
– Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

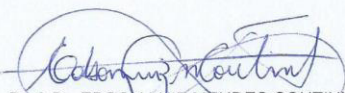
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ADUBAÇÃO NITROGENADA COM INIBIDOR DE UREASE E NITRIFICAÇÃO
EM CAPIM-TIFTON 85

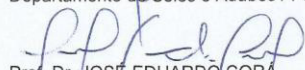
AUTOR: EDIMAR RODRIGUES SOARES

ORIENTADOR: EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

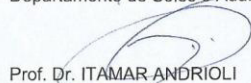
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



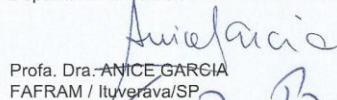
Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



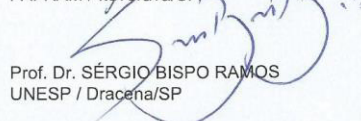
Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. ANICE GARCIA
FAFRAM / Ituverava/SP



Prof. Dr. SÉRGIO BISPO RAMOS
UNESP / Dracena/SP

Jaboticabal, 28 de abril de 2017.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

EDIMAR RODRIGUES SOARES – Nascido em Jauru, MT, em 28 de julho de 1987, filho de Élio Martins Soares e Sonia Maria Soares. Coursou o ensino médio na Escola Estadual Professor Francisco de Paula Conceição Júnior em São Paulo-SP (2002-2004), onde trabalhou como feirante até o ano de 2006. Ingressou em fevereiro de 2007 no curso de Agronomia da Faculdade da Amazônia (FAMA)/Instituto de Ensino Superior da Amazônia (IESA), tendo concluído em agosto de 2011. Concluiu em agosto de 2011, nesta mesma instituição de ensino, o curso de especialização em Agronomia (Ciência do Solo e Produção Vegetal). Iniciou em março de 2012 o curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), com conclusão em julho de 2013. Em agosto de 2013, ingressou no curso de doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) na UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, como bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), com conclusão em abril de 2017.

Enquanto “arguém” faz guerra
Trazendo fome e tristeza
Minha luta é com a terra
Pra não “fartar” pão na mesa

Joel Marques / Maracaí

A minha mãe, saudosa Prof^a Sonia Maria Soares.

Ao meu pai Élio Martins Soares

A minha saudosa tia Solange Aparecida de Souza e Silva.

Ao saudoso Prof. José Antonio Oliveira.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a saúde e a coragem necessária para trilhar meu caminho.

Aos meus pais, pela educação que me deram, sem a qual não teria chegado até aqui.

Ao meu orientador, professor Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho pela atenção e o carinho com que me recebeu em Jaboticabal e também pela amizade, conselhos e ensinamentos durante esse período de trabalho.

Ao professor José Eduardo Corá, pela disponibilização de seu laboratório, para a condução de parte do experimento.

Aos funcionários da FCAV/UNESP, em especial a Claudia Campos Dela Marta e Marcelo Scatolin.

Ao meu ex-professor da graduação que imensamente contribuiu para minha formação profissional e pessoal e que sempre me tratou como verdadeiro filho, professor e amigo Leandro Galon.

Ao meu ex-professor da graduação e hoje grande amigo, professor Márcio Dias Pereira que também contribuiu enormemente para minha formação profissional e pessoal.

A todos meus ex-professores da época da graduação, em especial a professora Iede Terezinha Zolinger, ao professor José Rodolfo de Oliveira Granha, a professora Celestina Alflen Klahold, ao professor João Carlos Sinott Balbi, a professora Ana Flávia Royer, a professora Rosangela Cipriano e ao professor Danilo Cesar de Oliveira Bastos, os quais todos tive enorme prazer em trabalhar e aprender muito.

Aos professores da pós-graduação da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista, José Carlos Barbosa, Itamar Andrioli,

Arthur Bernardes Cecílio Filho e as queridas professoras Mara Cristina Pessôa da Cruz, Durvalina Maria Mathias dos Santos e Ana Claudia Ruggieri, levo todos como inspiração, pois são exemplos de ótimos profissionais.

A querida amiga Esmeralda Ochoa Martinez e ao querido amigo Marcio Silveira da Silva por toda ajuda, compreensão, paciência, enfim, pela linda parceria que formamos nesta jornada de trabalho.

As amigas queridas Franciele Costa, Samira Furtado de Queiroz, Marilena Braga, Gislaine Raquel Santos, Suelen Nunes, Suelen Borges e Fernanda Barbosa.

Ao querido amigo Antônio João de Lima Neto, exemplo de profissional, de ser humano e grande parceiro de pesquisa.

Ao querido amigo Paulo Eduardo Carraro, parceiro de todas as horas.

A todos os meus familiares pelo apoio que têm me dado nas horas mais difíceis dessa caminhada, em especial a minha irmã Mauriceia Rodrigues Soares.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma contribuíram durante este período de pós-graduação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES).

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Experimento 1.....	23
3.2 Experimento 2.....	26
4. RESULTADOS.....	29
4.1 Experimento 1.....	29
4.2 Experimento 2.....	46
5. DISCUSSÃO.....	49
5.1 Experimento 1.....	49
5.2 Experimento 2.....	55
6. CONCLUSÃO.....	57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

ADUBAÇÃO NITROGENADA COM INIBIDOR DE UREASE E NITRIFICAÇÃO EM CAPIM-TIFTON 85

RESUMO - O nitrogênio é um nutriente altamente móvel e dinâmico no solo, passível de perdas por diferentes processos, como volatilização, lixiviação e desnitrificação. Inibidores de urease ou de nitrificação são tecnologias que podem aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, porém, a utilização destes produtos é pouco estudada em regiões tropicais. Foram realizados dois experimentos com o objetivo de avaliar (I): em condições de campo, o crescimento e a produção de capim-tifton 85 em função de doses de nitrogênio com ureia contendo inibidor de urease e de nitrificação conduzido por dois anos agrícolas (2013/14 e 2014/15), no período de novembro a março, com quatro ciclos de crescimentos em cada ano; (II): a nitrificação do nitrogênio com ureia recoberta com doses de folha ou torta de nim, utilizando o DMPP para comparação. Os tratamentos do experimento I foram constituídos por um esquema fatorial 3 x 5, com ureia; ureia + inibidor de urease (NBPT - N-butil tiamida fosfórico) e ureia + inibidor de nitrificação (DMPP - Fosfato de 3,4-dimetilpirazol) e doses de N (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, em cada crescimento). No segundo ano agrícola, foram feitas avaliações de crescimento aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos adubos. No experimento II, os tratamentos foram constituídos de um esquema fatorial 2 x 4 + 2, com o primeiro fator representado por fontes de nim (folha e torta de nim), utilizadas para recobrir a ureia e o segundo fator de doses de nim, sendo estas doses de 0, 10, 20 e 40% do total de N aplicado (200 mg kg⁻¹, utilizando como fonte de N a ureia) e dois tratamentos adicionais: testemunha (solo sem fertilizante nitrogenado) e ureia + DMPP. As doses de N aumentaram a área foliar, índice de área foliar e altura da planta, todavia não houve efeito do tipo de adubo nestas características. No décimo dia do primeiro crescimento, verificou-se que a adubação nitrogenada aumentou linearmente o perfilhamento. No 20º dia ocorreram morte de perfilhos em função das maiores doses de N aplicadas, havendo no trigésimo dia redução linear do perfilhamento em função das doses de N. A utilização de ureia + NBPT e ureia + DMPP não aumentou significativamente a produção do capim-tifton 85 nos dois anos agrícolas, comparada a ureia comum. No primeiro ano agrícola não foi observado efeito das doses de N, tão pouco do tipo de adubo na recuperação aparente de N. A utilização de ureia com inibidor de urease ou de nitrificação não interfere no crescimento e na produção do capim-tifton 85. No experimento II, o recobrimento da ureia com folha e torta de nim foi eficiente em reduzir os teores de nitrato no solo até os 15 dias de incubação. Isso resultou em maiores teores de amônio no solo até 15 dias. Todavia, o DMPP mostrou-se mais eficiente em reduzir a nitrificação, promovendo inibição até os 60 dias de incubação.

Palavras-chave: ureia, Fertilizantes estabilizados, *Cynodon* spp.

NITROGEN FERTILIZATION WITH UREASE INHIBITOR AND NITRIFICATION IN CAPIM-TIFTON 85

ABSTRACT – Nitrogen is a highly dynamic and mobile nutrient that may undergo losses through different processes, such as volatilization, leaching and denitrification. Urease or nitrification inhibitors are technologies that may improve nitrogen fertilization efficiency; however, usage of these products is little studied in tropical regions. Two experiments were conducted aiming to evaluate: (I) growth and production of tifton 85 grass on field conditions according to nitrogen doses with urea containing urease and nitrification inhibitor for two agricultural years (2013/14 and 2014/15), from November through March, each year with four cycles of growth; (II) nitrogen nitrification with urea covered with doses of powdered neem leaves or neem seed cakes, using DMPP for comparison. Treatments in experiment I were build up on a 3 x 5 factorial scheme with urea; urea + urease inhibitor [NBPT: N-(N-Butyl) thiophosphoric triamide] and urea + nitrification inhibitor (DMPP: 3,4-dimethyl pyrazole phosphate) and doses of N (0, 40, 80, 120 and 160 kg ha⁻¹, in each growth). On the second agricultural year, growth evaluations were performed on the 10th, 20th and 30th days after the application of fertilizers. In the experiment II, the treatments consisted of a 2 x 4 + 2 factorial scheme, with the first factor represented neem leaves or neem seed cakes sources, used to cover urea and the second neem dose factor, being these doses of 0, 10, 20 and 40% of the total N applied (200 mg kg⁻¹, using urea N as the source) and two additional treatments: control (soil without nitrogen fertilizer) and urea + DMPP. N doses increased leaf area, leaf area indexes and height, but there was no effect due to the type of fertilizer in this scenario. On the tenth day of the first growth, it was verified that nitrogen fertilization increased tillers linearly. On the 20th day, there was tiller death due to greater doses of N applied, with linear reduction of tiller on the 30th day. The usage of urea + NBPT and urea + DMPP did not influence the production of tifton 85 grass in the two agricultural years. On the first year, an actual effect from doses of N was not observed, neither from the type of fertilizer on the apparent N recovering. The usage of urea with urease or nitrification inhibitor does not interfere in the production and growth of tifton 85 grass. In experiment II, the covering of urea with powdered neem leaves and neem seed cakes was efficient in reducing the proportions of nitrate within the soil up to 15 days of incubation. This resulted in greater proportions of ammonium within the soil up to 15 days. However, DMPP revealed to be more efficient in reducing nitrification, promoting inhibition through the 60 days of incubation.

Keywords: nitrogen; stabilized fertilizers; *Cynodon* spp.

1. INTRODUÇÃO

Realidade constante nos últimos 50 anos, a demanda mundial de alimentos continuará a crescer nas próximas décadas, com forte aumento da procura por produtos de origem animal, principalmente em países subdesenvolvidos (BODIRSKY et al., 2015). Além do crescimento da população e da melhoria no seu poder de consumo, a produção de energia por meio de biomassa vegetal é outro fator que contribui para pressionar os sistemas de produção, exigindo destes, maior eficiência (CICERA; MASSET, 2010).

Nesse sentido, adotar estratégias que visem a utilização mais eficiente de nutrientes como o nitrogênio e a obtenção de elevadas produtividades é importante para que se consiga atender a esta demanda (TILMAN et al., 2011). O capim-tifton 85 (*Cynodon* spp.) é uma cultura que apresenta alto potencial produtivo, podendo este ser utilizado para a produção de feno, porém há necessidade de aplicação de altas doses de N. (MANDEBVU et al., 1999; EVERS; REDMON; PROVIN, 2004; MUIR et al., 2010).

A ureia é a principal forma de fertilizante nitrogenado utilizado na agricultura brasileira (ESPINDULA et al., 2013). Este fertilizante, após ser distribuído na superfície do solo, no processo de hidrólise, é passível de perdas de amônia por volatilização (MALHI et al., 2001; RAIJ, 2011).

Além disso, outros processos resultam em perdas de N para o ambiente. Após a incorporação da ureia ao solo, ocorrerá a nitrificação, transformando NH_4^+ em NO_3^- pela ação de microrganismos. Após este processo, o nitrato fica suscetível a lixiviação, podendo ocorrer ainda, perda por desnitrificação que ocorre quando o NO_3^- é transformado em N_2 ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$), podendo haver emissão de N_2O para a atmosfera (SUBBARAO et al., 2006).

Geralmente, a eficiência de recuperação do N aplicado raramente ultrapassa 50% (ABBASI; HINA; TAHIR, 2011). A perda por volatilização pode chegar a 78% do N aplicado. Este processo pode ser intensificado quando a ureia é aplicada sobre resíduos vegetais, que aumentam a atividade da urease nos solos (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997).

A utilização de inibidores de urease e de nitrificação são tecnologias que vem sendo testadas para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada. A primeira, reduz as chances de perdas de N por volatilização, por promover um retardamento na ação da enzima urease. A segunda, inibe a ação das bactérias nitrosomonas (BUNDICK et al., 2009), promovendo atraso na conversão do amônio em nitrato e, com isso, a planta pode atingir a fase de maior crescimento proporcionando a esta, maior oportunidade de absorver o nutriente, evitando maiores perdas. Entretanto, no Brasil, são escassas pesquisas com estas tecnologias, principalmente, na produção de forrageiras.

No que tange aos inibidores de nitrificação, a nitrapirina e o DCD (dicianodiamida) são os inibidores de nitrificação mais extensivamente testados no mundo e, mais recentemente o DMPP (fosfato de 3,4-dimetilpirazol) (GOOS; JOHNSON, 1999; CALDERON et al., 2005; ISLAM; CHEN, WHITE, 2007). Este último, de acordo com Malla et al. (2005), é um dos inibidores de nitrificação com maior potencial para reduzir as perdas de N no solo.

Além dos inibidores mais conhecidos, produtos derivados de sais mais comuns ou de materiais vegetais também podem ser utilizados como inibidores de nitrificação (ABBASI; HINA; TAHIR, 2011). No exterior, vários produtos à base de nim (*Azadirachta indica*) têm sido sugeridos para inibição da nitrificação, como pó de folha de nim, óleo de nim e torta de nim (AKIYAMA; YAN; YAGI, 2010). O nim pode ser cultivado pelo próprio produtor, podendo ter custo mais baixo do que os inibidores sintéticos. Além disso, o cultivo do nim pode ajudar a diversificar a fonte de renda, visto que o produtor pode comercializar o óleo de nim, que é utilizado para o combate de insetos na agricultura orgânica.

Possivelmente, a utilização de inibidor de urease ou de nitrificação aumente a eficiência da adubação nitrogenada, podendo incrementar o crescimento e a produção do capim-tifton 85. Além disso, a avaliação em cortes consecutivos pode auxiliar o diagnóstico do efeito residual desta tecnologia nos crescimentos posteriores.

Frente ao exposto, foram realizados dois experimentos com o objetivo de avaliar (I): em condições de campo, o crescimento e a produção de capim-tifton 85 em função de doses de nitrogênio com ureia contendo inibidor de uréase e de nitrificação;

(II): em condições de laboratório, a nitrificação do nitrogênio com ureia recoberta com doses de folha e torta de nim, comparado ao DMPP.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Com a intensificação da produção pecuária, tem se a necessidade de utilização de forrageiras com alta capacidade de produção, como por exemplo, cultivares dos gêneros *Pennisetum*, *Cynodon*, *Panicum*, que em geral, aliam qualidade e excelente capacidade produtiva (ALENCAR et al., 2010).

O capim-tifton 85 é um híbrido interespecífico entre Tifton 68 (*Cynodon nlemfuënsis*) e *Cynodon dactylon* (proveniente da África do Sul). Possui colmos maiores, folhas mais largas e coloração verde mais escura que outros híbridos deste mesmo gênero (BURTON et al., 1993). Este híbrido se destaca ainda pela maior eficiência de utilização de água e de fertilizantes, devido principalmente ao melhor desenvolvimento do seu sistema radicular (HANCOCK, 2012).

A adubação é uma prática essencial para que essas altas produtividades sejam alcançadas, além de contribuir para a manutenção da sustentabilidade do sistema pecuário, sendo o nitrogênio, o nutriente mais importante nesse contexto (ALENCAR et al., 2010).

A adubação nitrogenada interfere na produção e no valor nutritivo da forragem (QUEIROZ et al., 2012). O nitrogênio, além de influenciar a atividade mitótica, atua no alongamento das novas células produzidas (KAVANOVÁ; LATTANZI; SCHNYDER, 2008), contribuindo para a expressão do tamanho final da folha que é um componente direto do índice de área foliar (IAF) (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996). O N beneficia assim, a absorção da radiação fotossinteticamente ativa, pois esta depende da área foliar disponível e contribui para o crescimento da forrageira devido ao seu efeito direto no IAF (GASTAL; LEMAIRES, 2002). Oliveira et al. (2010) trabalhando com capim tifton-85, verificaram que a expansão da área foliar e a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, foram incrementadas com doses de nitrogênio de até 600 kg ha⁻¹.

Premazzi, Monteiro e Oliveira (2011) observaram que o nitrogênio incrementou a taxa de alongamento da folha, comprimento foliar e a área da lâmina foliar de capim-

tifton 85, sendo que a maior variação no crescimento das folhas em função do suprimento de nitrogênio ocorreu entre o controle (sem N) e a dose de 80 mg kg⁻¹ de solo. Cecato et al. (2001) estudaram cinco cultivares de *Cynodon* e observaram que o capim-tifton 85 foi o que apresentou a menor relação colmos/lamina foliar, ou seja, o que apresentou a maior porcentagem de massa de folhas no total de matéria seca produzida, sendo este um fator interessante em termos de alimentação animal. Neste mesmo estudo, foi verificado que a adubação nitrogenada promoveu, no geral, menores valores desta relação, que provavelmente ocorre em função do maior crescimento das folhas promovido pelo N.

Desta forma, pode-se dizer que a fertilização nitrogenada é essencial quando se trabalha com gramíneas altamente produtivas, tendo em vista que o nitrogênio presente no solo, proveniente da mineralização da matéria orgânica, é insuficiente para que estas possam expressar todo seu potencial produtivo (GUILHERME; VALE; GUEDES, 1995).

Cultivares de *Cynodon* spp., em geral, apresentam boas respostas a fertilização nitrogenada (QUARESMA et al., 2011). Esses autores relataram aumento linear até a dose de 240 kg ha⁻¹ para a altura, produção de massa seca e teor de proteína bruta de capim-tifton 85. Alvim et al. (2000) concluíram que o intervalo de corte de quatro semanas na época da chuva e de seis semanas na época da seca, com dose de 400 kg ha⁻¹, constituem o manejo mais adequado para conseguir as maiores produções anuais de matéria seca e de proteína bruta, com um trabalho realizado na Região Sudeste do Brasil com o cultivar Tifton 68.

No Brasil, a ureia é a principal forma de fertilizante nitrogenado utilizado na agricultura, contendo ao redor de 45% de nitrogênio. Esta alta concentração de N permite que o custo com transporte e aplicação seja menor, além de possuir outras características desejáveis como alta solubilidade em água, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes (ESPINDULA et al., 2013).

Salienta-se, no entanto, que o nitrogênio é um nutriente altamente móvel e dinâmico, o que torna o manejo deste, uma tarefa difícil. Após ser aplicado ao solo, sofre várias transformações podendo passar a formas gasosas: amônia (NH₃) e óxido nitroso (N₂O), e pode ser perdido para atmosfera ou ainda lixiviado na forma de NO₃⁻ (ZAMAN et al., 2009), resultando em uma baixa eficiência de utilização pelas culturas

(PASDA; HÄHNDEL; ZERULLA, 2001; MAJUMDAR, 2005). Geralmente, a eficiência de recuperação do N aplicado raramente ultrapassa 50% (ABBASI; HINA; TAHIR, 2011).

Estas perdas são ainda maiores em sistemas mais intensivos, como em sistemas de produção de feno, em que se utilizam altas doses de fertilizantes nitrogenados, podendo causar impacto ambiental negativo (LUO et al., 2010). De acordo com alguns autores (MISSELBROOK et al., 2000; ANEJA et al., 2008) em diversos países, a agricultura contribui com 20 a 80% de NH_3 emitido para atmosfera devido a utilização de fertilizantes nitrogenados e esterco animais.

Quando a ureia é aplicada ao solo, para que ocorra a sua hidrólise, é necessária a participação catalítica da enzima urease. As perdas por volatilização ocorrem devido à formação do carbonato de amônio nos processos de hidrólise da ureia, sendo este um sal instável, que se decompõe em amônia e gás carbônico. Com isso, se a ureia não for incorporada ao solo pela água da chuva, perdas de N podem ocorrer, na forma de amônia, por volatilização (RAIJ, 2011).

A conversão da ureia em amônia pode ser retardada por substâncias que são chamadas de inibidores de urease. Este inibidor ocupa o local de atuação da urease, inativando a enzima. Com isso, há um maior tempo até que se inicie a volatilização, diminuindo também a velocidade da mesma. Devido ao atraso na hidrólise da ureia, tem-se menor concentração de NH_3 na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização e permitindo a infiltração da ureia no solo (CHRISTIANSON; BYRNES; CARMONA, 1990).

A eficiência desses inibidores pode ser maior em situações em que a ureia não pode ser incorporada ao solo, como em plantio direto, palhada de cana-de-açúcar e forrageiras. A utilização de um inibidor de urease faz com que haja mais tempo para que a ureia seja incorporada ao solo por meio da água das chuvas (BUNDICK et al., 2009).

O uso desta tecnologia pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, reduzindo as perdas por volatilização (GRANT; BAILEY, 1999). Alguns autores têm testado o N-butil tiamida fosfórico (NBPT) como inibidor de urease (MALHI et al., 2001; CANTARELLA et al., 2008).

Zaman et al. (2008) trabalhando com NBPT e dose de 150 kg ha^{-1} de N em pastagem consorciada de azevém e trevo branco, verificaram que a utilização de ureia + NBPT reduziu em 45% as perdas por volatilização, 47% a lixiviação de NO_3^- e em 5% a emissão de óxido nitroso (N_2O) para atmosfera, em relação a utilização da ureia sem NBPT. A utilização do inibidor promoveu também um ganho de 10 kg na produção de matéria seca por kg de N aplicado comparado a ureia comum; a recuperação do N pelas plantas de azevém e trevo branco foi de 85,3% e 50%, respectivamente para ureia + NBPT e ureia comum.

No trabalho de Soares, Cantarella e Menegale (2012) a adição de NBPT a ureia reduziu em 7-9 dias os picos de maior perda de NH_3 em dois experimentos conduzidos em laboratório, sendo que no primeiro experimento a perda total de N foi de 28% quando se aplicou ureia e de 6% com ureia + NBPT, ou seja, uma redução de 78%. No experimento 2, as perdas foram de 37% com ureia e 17 % com ureia +NBPT, correspondendo a uma redução de 54%.

Santos et al. (2013) trabalhando com adubação nitrogenada em capim-marandu no fim do período das águas (50 kg ha^{-1} de N), verificaram que esta promoveu incremento significativo de 2457 kg ha^{-1} na produção de massa seca em relação ao controle, e com a utilização do NBPT a produção aumentou em 915 kg ha^{-1} , comparada a aplicação apenas da ureia, sendo, entretanto, essa diferença não significativa. Foi observada diferença significativa para a recuperação aparente de N quando se utilizou NBPT que foi 25% superior a ureia.

Em um trabalho com trigo, Espindula et al. (2013) testaram doses de N (30, 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1}), trabalhando com ureia com e sem NBPT. Constataram que a utilização de NBPT, no geral, promoveu maior recuperação aparente do N aplicado e maior eficiência da adubação nitrogenada. Em relação à produtividade, comparando à utilização ou não do NBPT, não ocorreu diferença significativa para as doses de 30, 60 e 150 kg ha^{-1} de N, sendo que esta ocorreu com as doses de 90 e 120 kg ha^{-1} , demonstrando que o sucesso desta tecnologia pode depender da dose de N a ser empregada. É interessante ressaltar ainda que, com apenas ureia a produtividade apresentou crescimento linear, enquanto que, com a ureia + NBPT, a máxima produtividade foi obtida com a dose de 118 kg ha^{-1} de N, o que provavelmente ocorreu devido a maior disponibilidade de N no solo quando se utilizou ureia + NBPT.

Outra tecnologia que também tem sido testada para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, é a utilização de inibidores de nitrificação. A nitrificação é um importante processo microbiano que faz parte do ciclo do nitrogênio. O nitrogênio no solo está em constante estado de fluxo e pode passar por diversas formas químicas. Durante a nitrificação, o N que está na forma amoniacal (NH_4^+) é convertido a forma nítrica (NO_3^-), por meio de oxidação biológica (SUBBARAO et al., 2006). Os inibidores de nitrificação agem inibindo a ação das bactérias nitrossomonas, atrasando a conversão em quatro até dez semanas, dependendo da temperatura do solo e do pH (BUNDICK et al., 2009). A redução da nitrificação até o momento em que a planta atinja a fase de maior crescimento poderá proporcionar a esta maior oportunidade de absorver o NO_3^- (SUBBARAO et al., 2006).

Este retardamento no processo de nitrificação é benéfico, pois o nitrato é suscetível a lixiviação, além do mais, poder ser convertido a forma gasosa pelo processo de desnitrificação (SUBBARAO et al., 2006). Desnitrificação conforme descrito por Robertson e Groffman (2007), ocorre quando o NO_3^- é transformado em N_2 : $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. Esta conversão pode ser completa, entretanto, uma pequena porção variável do N pode ser emitida a atmosfera na forma de N_2O . A desnitrificação ocorre principalmente em solos mal drenados em condições anaeróbicas. Desta forma, a perda de N por desnitrificação é maior quando o teor de umidade do solo estiver elevado (DOBBIE; SMITH, 2001). Esta perda pode ser também mais acentuada em solos argilosos, devido a drenagem da água ser mais lenta nestes do que nos solos arenosos (CAMERON; DI; MOIR, 2013).

Os inibidores de nitrificação mais conhecidos extensivamente testados são a nitrapirina e o DCD (dicianodiamida), e mais recentemente o Fosfato de 3,4-dimetilpirazol - DMPP (GOOS; JOHNSON, 1999; CALDERON et al., 2005; ISLAM; CHEN, WHITE, 2007). De acordo com Chen et al. (2008), o DMPP é um dos inibidores de nitrificação com maior potencial para reduzir as perdas de N no solo.

Todavia, igualmente ao NBPT, a eficiência dos inibidores de nitrificação é dependente das condições climáticas. No caso do DMPP, verões com altas temperaturas podem reduzir o efeito deste inibidor devido ao fato de que, nestas condições esta molécula é mais facilmente degradada (VITALE et al., 2013). Isto indica que uma maior eficiência na utilização do produto, talvez possa ser obtida com

culturas de inverno (CHEN et al, 2008). Desta forma, há a necessidade de estudos com estes produtos nas condições climáticas brasileiras, tendo em vista que o Brasil é país de clima tropical.

Para Guo et al. (2013), a utilização de inibidor de nitrificação, além de poder ser eficaz na redução da lixiviação de nitrato e na emissão de óxido nitroso para atmosfera em solos com pastagens, não causa efeitos negativos ao solo. Estes autores em um estudo de 7 anos, em três regiões da Nova Zelândia, utilizando DCD como inibidor de nitrificação em pastagem perene (azevém e trevo-branco), concluíram que, a longo prazo, o uso desta tecnologia não afetou o pH e a atividade microbiana e enzimática do solo. Da mesma forma, estudando a aplicação de DMPP a longo prazo, Dong et al. (2013) relataram que este inibidor de nitrificação teve pouco efeito sobre a comunidade bacteriana do solo.

Hu et al. (2014), analisando diversos trabalhos conduzidos na Alemanha nos últimos 15 anos, concluíram que os inibidores de nitrificação não influenciaram significativamente a produção de diversas culturas, como trigo de inverno, cevada de inverno, milho e batata. Entretanto, concluíram que a perda de N por lixiviação e as emissões de óxido nitroso, podem ser significativamente reduzidas e que, o número de aplicações de fertilizantes nitrogenados, durante o ciclo da cultura pode ser reduzido em pelo menos uma aplicação, sem que o rendimento da cultura seja comprometido.

Menéndez et al. (2012), em um experimento de laboratório, concluíram que o DMPP foi eficiente em inibir a nitrificação, reduzindo as perdas de N_2O em diversas condições de temperatura e umidade. Também constataram que a persistência desta molécula no solo não é influenciada com temperatura entre 10 e 20 °C.

Esta hipótese vai de encontro aos resultados obtidos por Pasda, Hähndel e Zerulla (2001), que avaliaram o efeito de DMPP na produção de diversas culturas em 136 experimentos conduzidos na Europa, com temperatura média anual variando entre 7,2 e 12, 2 °C, sendo que em apenas dois destes locais a temperatura anual foi de 18,3 °C. O DMPP promoveu incremento na produtividade de culturas como milho, trigo e arroz. Entretanto, o maior incremento foi de 0,29 t ha⁻¹ com a cultura do arroz, enquanto com outras culturas como batata, cenoura, couve flor, alface, cebola, rabanete o incremento foi de 1,9; 4,9; 5,2; 1,9; 0,5 e 4,6 t ha⁻¹, respectivamente.

Concluíram que o efeito do DMPP foi mais expressivo em regiões com alta precipitação ou com irrigação mais intensa, como no caso das hortaliças, e também em solo arenoso.

Abbasi, Hina, Tahir (2011) relataram que os inibidores de nitrificação têm, em geral, um alto custo. De acordo com esses autores produtos derivados de sais mais comuns ou de materiais vegetais são mais baratos e de fácil acesso e podem ser tão eficientes quanto os inibidores de nitrificação sintéticos, como por exemplo, o nim ou neem, em Inglês.

O nim (*Azadirachta indica*) tem seu centro de origem no sudeste da Ásia (PATRA et al., 2002). Pertencente à mesma família do Mogno da Amazônia, Meliaceae, o nim produz madeira de excelente qualidade. A árvore encontra-se distribuída na África tropical e subtropical, sendo encontrada também na Austrália e América. É uma árvore milenar e possui grande número de metabólitos secundários com atividade biológica, sendo de maior importância, a azadiractina (VIANA; PRATES, 2003; VILELA, 2008; BRASIL, 2013).

Devido a isso, o nim é utilizado para a produção de inseticidas, remédios e cosméticos. Esta planta também possui propriedade de inibição da nitrificação, que se deve a composição química das folhas, frutos e sementes da plantas, ou seja a presença dos componentes ativo azadirachtin, nimbin, nimbinin, nimbidin (PATRA et al., 2002; BRASIL, 2013).

Abbasi, Hina e Tahir (2011) verificaram que a torta de nim, o cloreto de cálcio e o tiosulfato de sódio aos 50 dias após a incubação, em condições de laboratório, reduziram a nitrificação em 54, 64 e 69%, respectivamente.

Mohanty, Patra e Chhonkar (2008) concluíram que o pó de sementes de nim, aplicado a 20% do total de N utilizado, foi eficaz na inibição da nitrificação, entretanto seu efeito pode variar de acordo com o tipo de solo, temperatura e condições de umidade.

Kumar et al. (2007) testaram o potencial de inibição de nitrificação de 25 amostras de óleo de nim aos 15 dias após a aplicação da ureia ao solo, entre estas, duas formulações comerciais desenvolvidas na Índia. O óleo de nim foi pulverizado sobre a ureia a uma solução de 20%. Utilizaram ureia como testemunha e a ureia +

nitrapirina como referência. A porcentagem de inibição de nitrificação variou entre 4 e 30%, com melhor resultado obtido para uma das formulações comerciais.

Trabalhando com arroz em dois tipos de solo (arenoso e franco arenoso) em um experimento de três anos, Thind et al. (2010) observaram diferença significativa apenas no solo arenoso com a utilização de ureia revestida com nim comparada a ureia comum, com um incremento na produção de 360 kg ha⁻¹.

Majumdar et al. (2002) testaram a ureia revestida com nim (pó de sementes), com nimin (óleo-produto comercial), com DCD e com tiosulfato de amônio em trigo irrigado em um experimento conduzido a campo. A maior produção de grãos foi obtida com os tratamentos ureia + nimin e ureia + DCD. A recuperação aparente de N foi de 37,6% para ureia; 38,7% para nim (pó de sementes) + ureia; 43,7% para ureia + DCD; 44,9% para ureia + nimin e 40,6% para ureia + tiosulfato de amônio.

A utilização de extrato de torta, folhas frescas ou secas de nim misturada a ureia reduziu a população de bactérias nitrificantes a partir do quinto dia de observação até os 30 dias após a aplicação comparada a ureia (controle) (SANTHI; PALANIAPPAN; PURUSHOTHAMAN, 1986).

Prakasa Rao e Prasad (1980) trabalharam com arroz irrigado e verificaram que a ureia revestida com torta de nim, juntamente com outros produtos (ureia + nitrapirina, ureia revestida com enxofre e ureia supergranulos) reduziram consideravelmente as perdas de nitrato por lixiviação e aumentaram a produtividade da cultura, promovendo também maior recuperação aparente do N aplicado.

Sharma e Prasad (1996) em um experimento de campo, num sistema rotacionado milho-trigo, conduzido por dois anos, relataram que no cultivo seguinte (cultura do trigo) a dose de 60 kg ha⁻¹ de N utilizando apenas ureia não promoveu nenhum efeito residual significativo, enquanto que, o efeito residual de ureia + torta de nim (60 kg ha⁻¹ de N) foi igual ao obtida com a aplicação de 120 kg ha⁻¹ de ureia. A resposta em produtividade obtida na cultura do trigo com a aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N com ureia + torta de nim e ureia + DCD corresponderam a aplicação de 95 e 82 kg ha⁻¹ de ureia, respectivamente.

A mistura de pó de folhas ou de sementes de nim com ureia foi eficiente em inibir a nitrificação do nitrogênio no solo em 54 e 48%, respectivamente, na primeira semana de avaliação e em 24 e 19% na quarta semana de avaliação

(GNANAVELRAJAH, 2011). Joseph e Prasad (1993) em um experimento de campo, conduzido por dois anos com a cultura do trigo, verificaram que o DCD misturado a ureia foi eficiente em inibir a nitrificação por um período de 45 dias e a ureia + torta de nim por 30 dias.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento 1

O trabalho foi realizado em pastagem implantada de capim-tifton 85, na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da UNESP - Campus de Jaboticabal – SP (21°15'22" S, 48°15'18" W e altitude de 600 m), em Latossolo Vermelho Eutrófico típico, textura argilosa, classificado de acordo com critérios da Embrapa (2013). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical mesotérmico, ou seja, verão úmido e inverno seco, com temperatura média do ar de 22°C.

Para avaliação da fertilidade do solo, foi coletada amostra na camada de 0-0,10 m e analisada conforme os métodos descritos por Raij et al. (2001) e análise granulométrica do solo (EMBRAPA, 1997). Os resultados das análises foram: pH (CaCl₂) 4,8; M.O. = 29 g dm⁻³; P (resina) = 10 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H+Al, e CTC = 4,4; 25; 14; 52; 95,4 mmol_c dm⁻³; S-SO₄ = 4 mg dm⁻³; saturação por bases (V%) = 45; B (água quente), Cu, Fe, Mn e Zn (extrator DTPA) = 0,30; 3.3; 13; 33,6 e 1,3 mg dm⁻³, respectivamente. A análise granulométrica do solo apresentou: argila, silte e areia = 579; 139 e 282 g kg⁻¹, respectivamente. Aos 40 dias antes o início do experimento foi realizada a aplicação de calcário (CaO: 45%; MgO: 20%; PRNT = 90%), buscando-se elevar a saturação por bases do solo a 60%.

Os tratamentos, em esquema fatorial 3 x 5, foram ureia; ureia + inibidor de urease (NBPT - N-butil tiamida fosfórico) e ureia + inibidor de nitrificação (DMPP - Fosfato de 3,4-dimetilpirazol) e doses de N (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de N, por crescimento). Utilizou-se delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições. Cada parcela apresentou dimensões de 3 x 3 m = 9 m².

A execução dos trabalhos se deu no período de novembro a março dos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015. Nas duas ocasiões a implantação do experimento

ocorreu no dia 15 de novembro. Antes da implantação, foi realizado um corte de uniformização, aproximadamente a 7 cm de altura. Foram realizados quatro cortes/ano. No primeiro ano agrícola a colheita foi realizada com 30, 30, 30 e 32 dias, respectivamente, 1º, 2º, 3º e 4º crescimento. E, no segundo ano agrícola, com 30, 31, 35 e 33 dias, respectivamente, 1º, 2º, 3º e 4º crescimento. Os valores diários de precipitação e temperatura média do ar, referentes ao período experimental, estão apresentados na Figura 1.

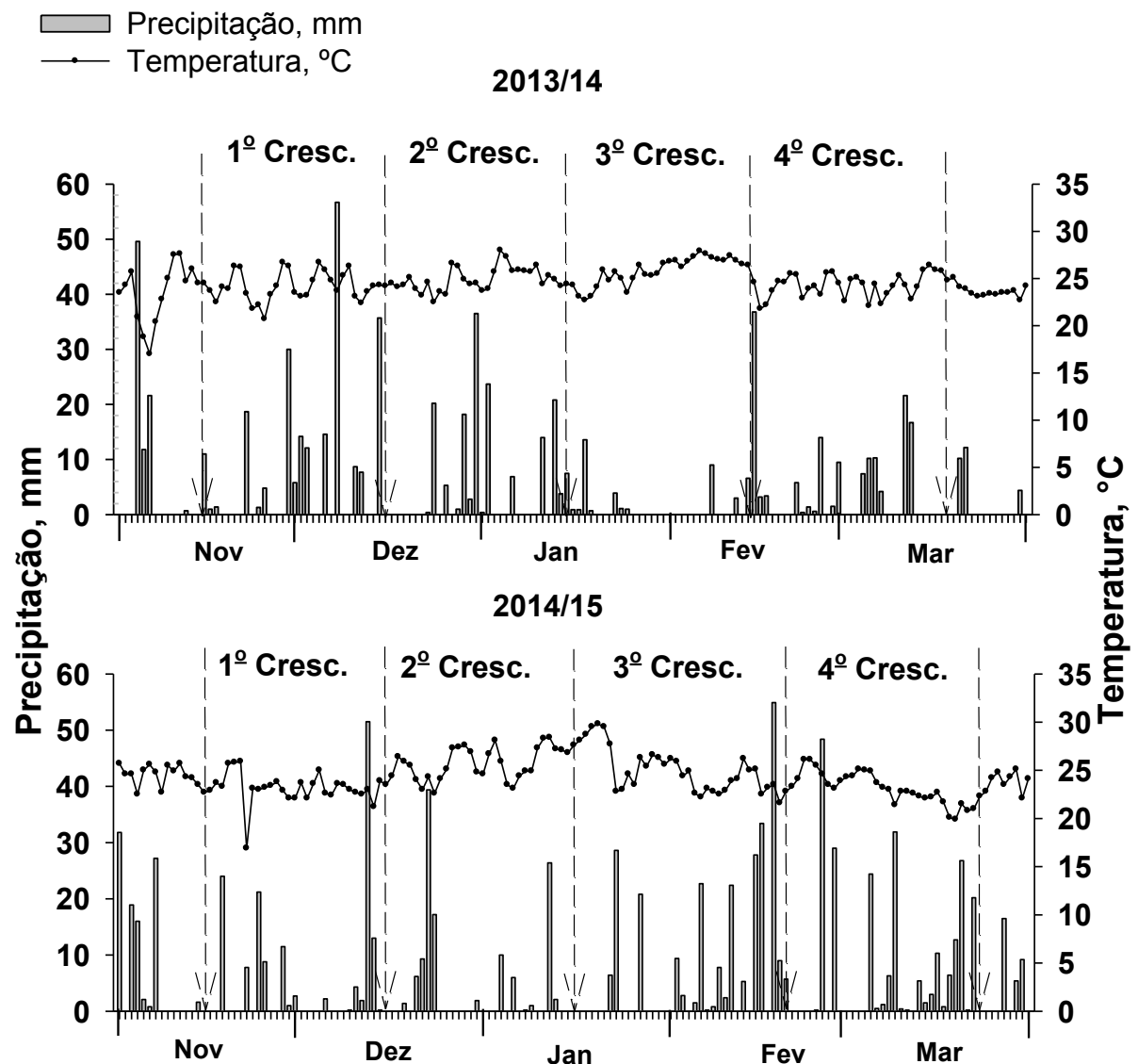


Figura 1. Precipitação e temperatura média do ar no período de novembro a março, nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15.

Após o corte de uniformização foi aplicado em todas as parcelas 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato simples). Em seguida aplicaram-se as doses de nitrogênio, sendo que, juntamente com o adubo nitrogenado, foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio).

O corte da forrageira foi feito com uma ceifadora, largura de corte 1,6 m, com altura de corte de 7 cm. Após o corte, pesou-se a massa fresca da forrageira. Em seguida, duas amostras de 500 g foram recolhidas. No laboratório, a primeira amostra foi lavada em água com detergente, passadas em água corrente, imersão em solução HCl 0,1 mol L⁻¹ e em seguida em água destilada. Em seguida, foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 65 °C, até obtenção de massa constante. As análises químicas para determinação das concentrações de N foram realizadas de acordo com os métodos descritos por Bataglia et al. (1983). A segunda amostra após ser recolhida foi imediatamente pesada e, em seguida colocada em estufa de ventilação forçada a 65 °C, até obtenção de massa constante. Após a obtenção do teor de massa seca das plantas em balança de precisão, estimou-se a produção de massa seca por hectare, com base na massa verde colhida.

Calculou-se a recuperação aparente de N (RAN), expressa em porcentagem, conforme Moll, Kamprath e Jackson (1982):

$$RAN (\%) = \frac{(ANPA - ANC)}{\text{Dose de nitrogênio}} \times 100$$

Sendo, ANPA = acúmulo de nitrogênio nas plantas adubadas; ANC = acúmulo de nitrogênio no controle.

No segundo ano agrícola foram realizadas as avaliações de crescimento das plantas aos 10, 20 e 30 dias após a aplicação dos fertilizantes nitrogenados. A avaliação do perfilhamento foi realizada contando-se o número de perfilhos numa área de 20 x 20 cm, dentro da área útil da parcela. A altura da planta foi medida, da base do caule até a última folha recém-aberta, com o uso de régua graduada, aleatoriamente cinco perfilhos por parcela. Para a determinação da área foliar foram coletados aleatoriamente dez perfilhos na área útil da parcela. Em seguida, foram levados a laboratório para a separação de folhas e colmos, sendo a área foliar obtida

com o aparelho LI-3000C (LI-COR Biosciences). Posteriormente, folhas e colmos foram colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a 65 °C para obtenção da massa seca e por meio disso calcular a relação folha/colmo. O IAF foi calculado multiplicando-se a área foliar por perfilho pelo número de perfilhos/m², em seguida, dividindo-se a área foliar desta área pela área do solo (1 m²).

A produção de massa seca relativa de 90% foi associada a concentração de N na planta, correspondendo esse valor ao nível crítico de nitrogênio. Relacionou-se também o perfilhamento, a área foliar por perfilho, o índice de área foliar e a altura da planta com a produção relativa da cultura.

Os dados foram submetidos a análise de variância para efeitos principais e de interação e análise de regressão polinomial quando verificado efeito significativo para o fator doses. Quando verificado efeito significativo para o fator adubo, procedeu-se teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram feitas utilizando-se o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015).

3.2 Experimento 2

O experimento foi conduzido no laboratório do Departamento de Solos e Adubos da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” no Câmpus de Jaboticabal-SP. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Distrófico textura média da região de Jaboticabal-SP, classificado de acordo com critérios da Embrapa (2013). A amostra de solo foi coletada na camada superficial (0-20 m de profundidade), secada ao ar e passada em peneira de 6 mm de abertura de malha. Essa amostra foi caracterizada para fins de fertilidade de acordo com métodos descritos por RAIJ et al. (2001) e análise granulométrica do solo (EMBRAPA, 1997).

Os resultados das análises foram: pH (CaCl₂) 4,1; M.O. = 23 g dm⁻³; P (resina) = 4 mg dm⁻³; K, Ca, Mg, H+Al, e CTC = 0,4; 7; 3; 58; 68,4 mmol_c dm⁻³; saturação por bases (V%) = 15; argila, silte e areia = 260, 30 e 710 g kg⁻¹, respectivamente. Foi aplicado calcário (CaO = 45%; MgO = 20%; PRNT = 90%), procurando-se elevar a saturação por bases para 60%. Após a mistura do calcário ao solo, as amostras foram incubadas em sacos de polietileno por 30 dias com umidade do solo a 80% de capacidade de retenção de água, de forma a possibilitar as reações de neutralização.

Os tratamentos foram constituídos de um esquema fatorial $2 \times 4 + 2$, com o primeiro fator representado por fontes de nim (pó de folha e torta de nim), utilizadas para recobrir a ureia e o segundo fator de doses de nim, sendo estas doses de 0, 10, 20 e 40% do total de N aplicado (200 mg kg^{-1} , utilizando como fonte de N a ureia) e dois tratamentos adicionais: testemunha (solo sem fertilizante nitrogenado) e ureia + DMPP. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso com três repetições. Em cada parcela também foram aplicados 100 mg kg^{-1} de fósforo e potássio, na forma de fosfato de Ca monobásico (p.a.) e sulfato de potássio (p.a.).

As folhas de nim foram lavadas em água com detergente, passadas em água corrente, imersão em solução HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e em seguida em água destilada. Em seguida, foram colocadas em estufa de ventilação forçada a 65°C , até adquirirem massa constante e, moídas em moinho tipo “Wiley”. A torta de nim é um resíduo da extração do óleo das sementes de nim. Este produto foi passado em peneira com abertura de malha de $0,86 \text{ mm}$, excluindo a parte mais grossa. O material peneirado foi colocado para secar em estufa de ventilação forçada a 65°C até adquirirem massa constante. As análises químicas para determinação das concentrações de N foram realizadas de acordo com metodologia descrita por Bataglia et al. (1983). As concentrações de N apresentadas pela folha e torta de nim foram $25,5$ e $18,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Para o recobrimento da ureia com as fontes de nim foi utilizado óleo vegetal (4 g kg^{-1}). Após a adição do óleo à ureia, esta foi agitada durante 15 minutos, de modo a não quebrar os grânulos. Posteriormente, adicionou-se o pó de folha e a torta de nim e os tubos foram novamente agitados cuidadosamente durante 15 minutos promovendo um revestimento uniforme dos grânulos de ureia. No tratamento com dose zero de nim não foi aplicado óleo vegetal. Um pré teste foi realizado antes da condução do experimento, por um período de 15 dias, comparando a ureia comum com a ureia revestida com esta mesma dose de óleo vegetal. Não foi verificada diferença significativa ($p < 0,05$) para os teores de amônio e nitrato neste período, demonstrando que o óleo vegetal não exerceu efeito significativo sobre o processo de nitrificação.

As unidades experimentais foram constituídas de copos de polietileno de 120 mL com tampa contendo quatro furos para permitir a oxigenação. Para cada data de

avaliação foram necessárias 30 unidades experimentais, totalizando 180 unidades. Para a instalação do experimento, pesou-se 70 g de solo e em seguida, adicionou-se os adubos fosfatados e potássicos, misturando uniformemente.

Após a adição do solo nos respectivos potes, procedeu-se a aplicação dos tratamentos na incubadora. Para a aplicação destes, 100 gramas de cada tipo de ureia recoberta foi diluída em 100 mL de água. Desta diluição, retirou-se a quantidade de água correspondente a respectiva dose de N (200 mg kg^{-1}) e aplicou-se na superfície do solo. Em seguida, foi adicionada a quantidade de água necessária para elevar a umidade do solo a 60% da capacidade de retenção de água. A capacidade de retenção foi previamente estabelecida como água retida a 60 cm de coluna d'água de tensão.

Os solos foram mantidos em ambiente sem luz a temperatura de 25°C , com variação média de $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$. A umidade do solo foi ajustada a cada dois dias, pesando-se os frascos e adicionando a quantidade necessária de água destilada quando a perda era superior a 0,05 g, tomando-se o cuidado para não promover agitação no solo.

Os teores de amônio e nitrato foram avaliados logo após a incubação (tempo 0) e no 7º, 15º, 30º, 60º e 90º dia após o início da incubação. Para tanto, retirou-se uma amostra de 5 g de solo úmido, sendo este posteriormente homogeneizado em 50 mL de KCl 1 mol L^{-1} e posterior agitação durante 60 minutos em agitador mecânico. Após a agitação, a solução permaneceu em repouso por 30 minutos, sendo então retirada uma alíquota de 25 mL do sobrenadante, na qual foi acrescentado 0,2 g de MgO para determinação do N amoniacal (N-NH_4^+) em destilador de arraste de vapor do tipo semimicro Kjeldhal. Após o resfriamento da amostra, adicionou-se 0,2 g de Liga de Devarda, para nova destilação e determinação do N nítrico ($\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$) (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001). Uma segunda amostra de solo de 5 g foi retirada para a determinação do teor de umidade do solo, sendo esta seca em estufa a 110°C , até atingir massa constante.

A inibição da nitrificação foi calculada pela formula proposta por Sahrawat (1980):

$$\text{IN (\%)} = \left(\text{NU} - \frac{\text{NUI}}{\text{NU}} \right) \times 100$$

Sendo, IN (%) = percentual de inibição da nitrificação; NU = concentração de nitrato no solo com ureia comum e NUI = concentração de nitrato no solo com ureia + inibidor de nitrificação.

Os dados foram submetidos a análise de variância para efeitos principais e de interação e análise de regressão polinomial quando verificado efeito significativo para o fator doses de N e, quando verificado efeito significativo para o fator fonte de N, procedeu-se teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas utilizando-se o programa estatístico AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015). O ajuste para teores de amônio e nitrato no solo em função do tempo foram realizados por meio de modelos de regressão. Utilizou-se o programa Sigmaplot® 10.0, adotando-se a equação com maior coeficiente de determinação (R^2) que melhor representasse o fenômeno.

4. RESULTADOS

4.1 Experimento 1

Em relação ao crescimento da planta, não foi observado, nos dois anos agrícolas, efeito significativo de fontes, tão pouco interação doses x fontes de N ($p > 0,05$) para as variáveis área foliar por perfilho, altura, índice de área foliar, perfilhamento e relação folha/colmo. Em todos os crescimentos, nas três datas de avaliação, a adubação nitrogenada aumentou significativamente ($p < 0,01$) a área foliar por perfilho (Figura 2 e 3), o índice de área foliar (Figura 4 e 5) e a altura da planta (Figura 6 e 7).

Em relação ao perfilhamento, nos primeiros dez dias, a adubação nitrogenada promoveu significativo ($p < 0,01$) aumento no perfilhamento do capim-tifton 85 (Figura 8). Aos 30 dias, o aumento das doses de nitrogênio provocaram redução linear ($p < 0,01$) do perfilhamento (Figura 8). Do segundo ciclo em diante, desde a primeira avaliação ao 10º dia de crescimento até o 30º dia, o aumento das doses de N promoveu decréscimo ($p < 0,01$) no perfilhamento da cultura (Figura 8 e 9).

A relação folha/colmo decresceu significativamente ($p < 0,01$) em função do aumento da dose de N, salvo alguns casos em que não houve a interferência ($p >$

0,05) da adubação (Figura 10 e 11). No primeiro crescimento, independentemente do tipo de adubo, a relação folha/colmo (Figura 10) decresceu até 0,74 (20º dia) e até 0,65 (30º dia). Nos crescimentos posteriores, no 20º dia, os valores de relação folha/colmo observados ficaram acima de 1,25 e, no 30º dia, acima de 1 (Figura 11).

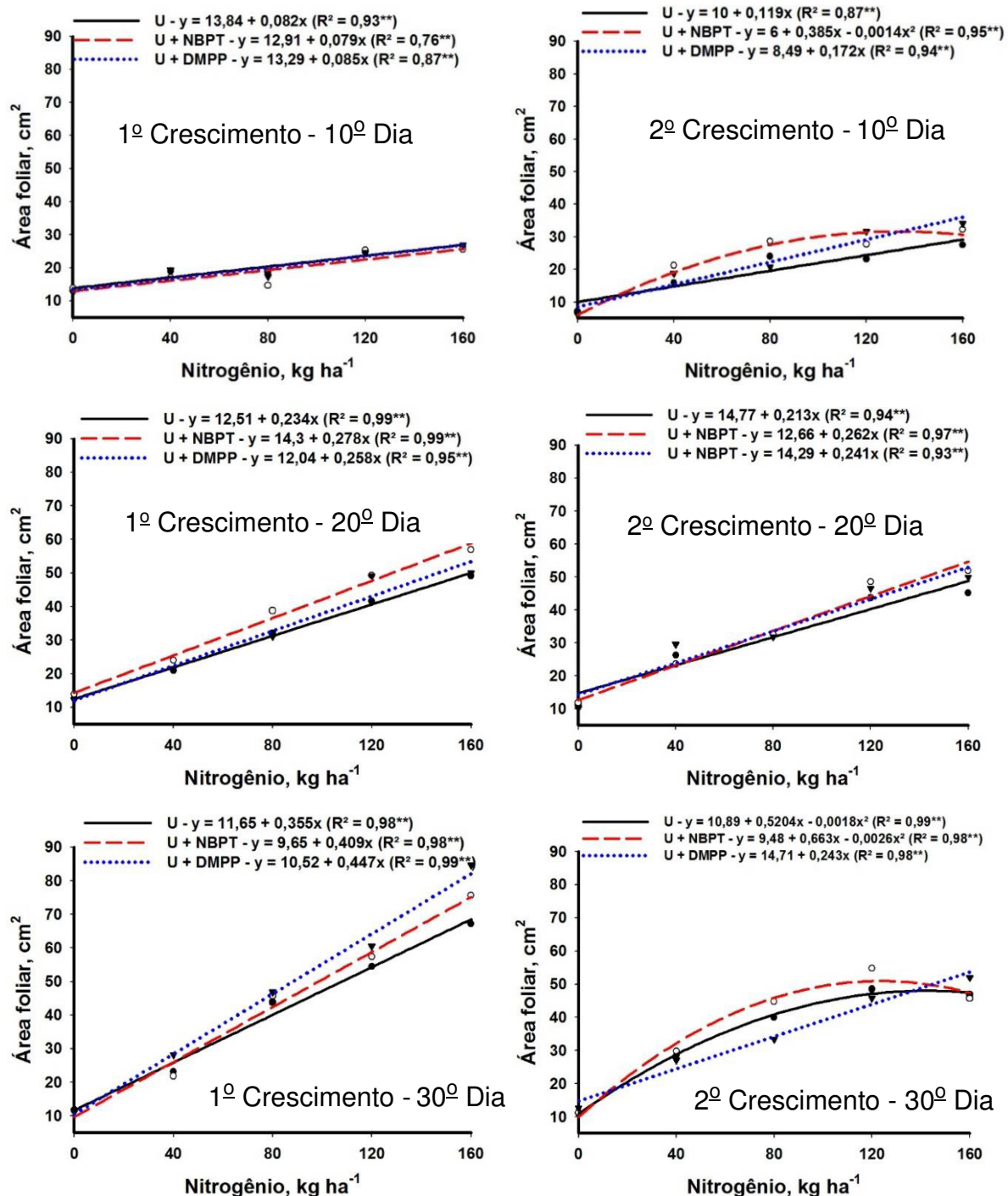


Figura 2. Área foliar por perfilho do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no primeiro e segundo crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

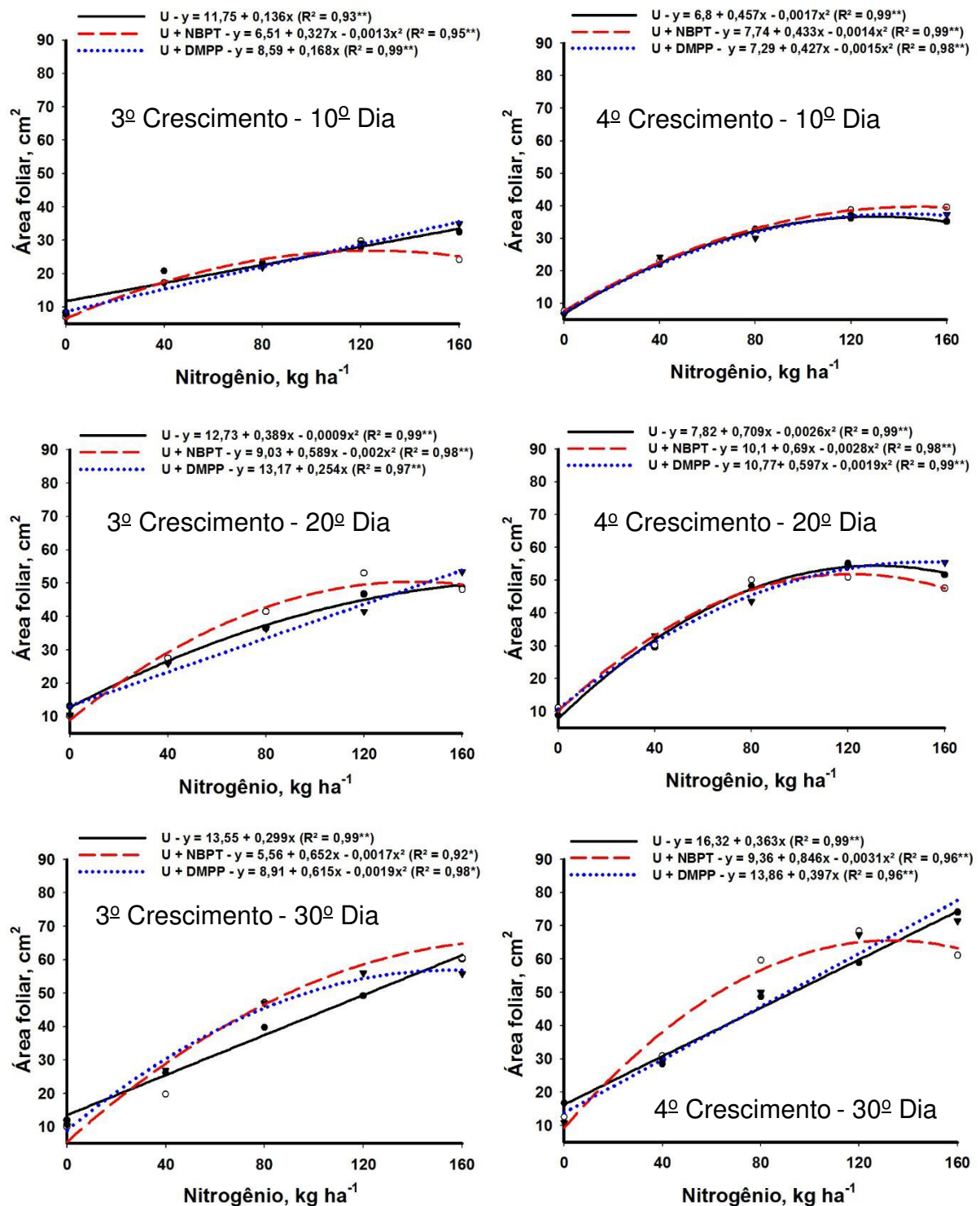


Figura 3. Área foliar por perfilho do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no terceiro e quarto crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

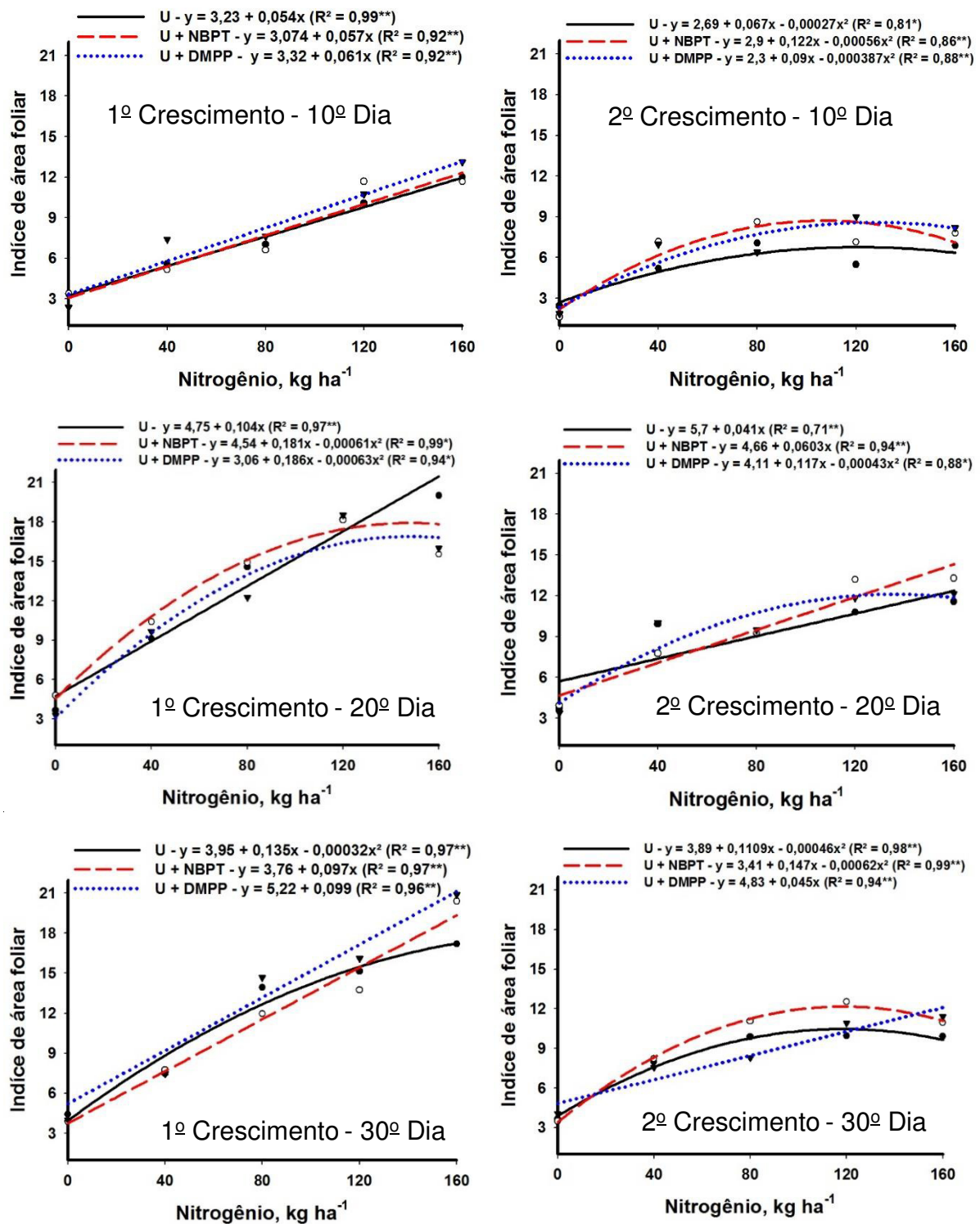


Figura 4. Índice de área foliar do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no primeiro e segundo crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

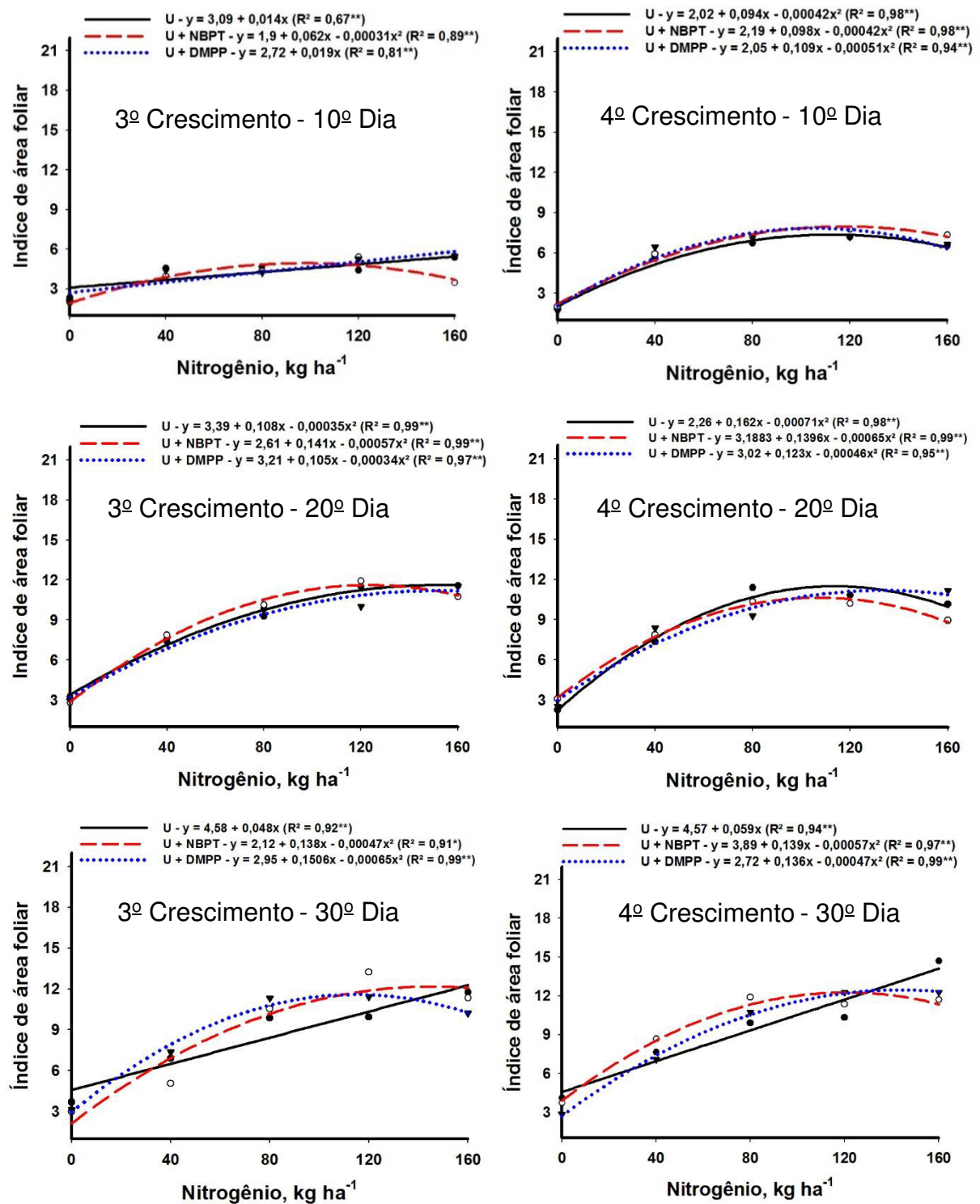


Figura 5. Índice de área foliar do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no terceiro e quarto crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

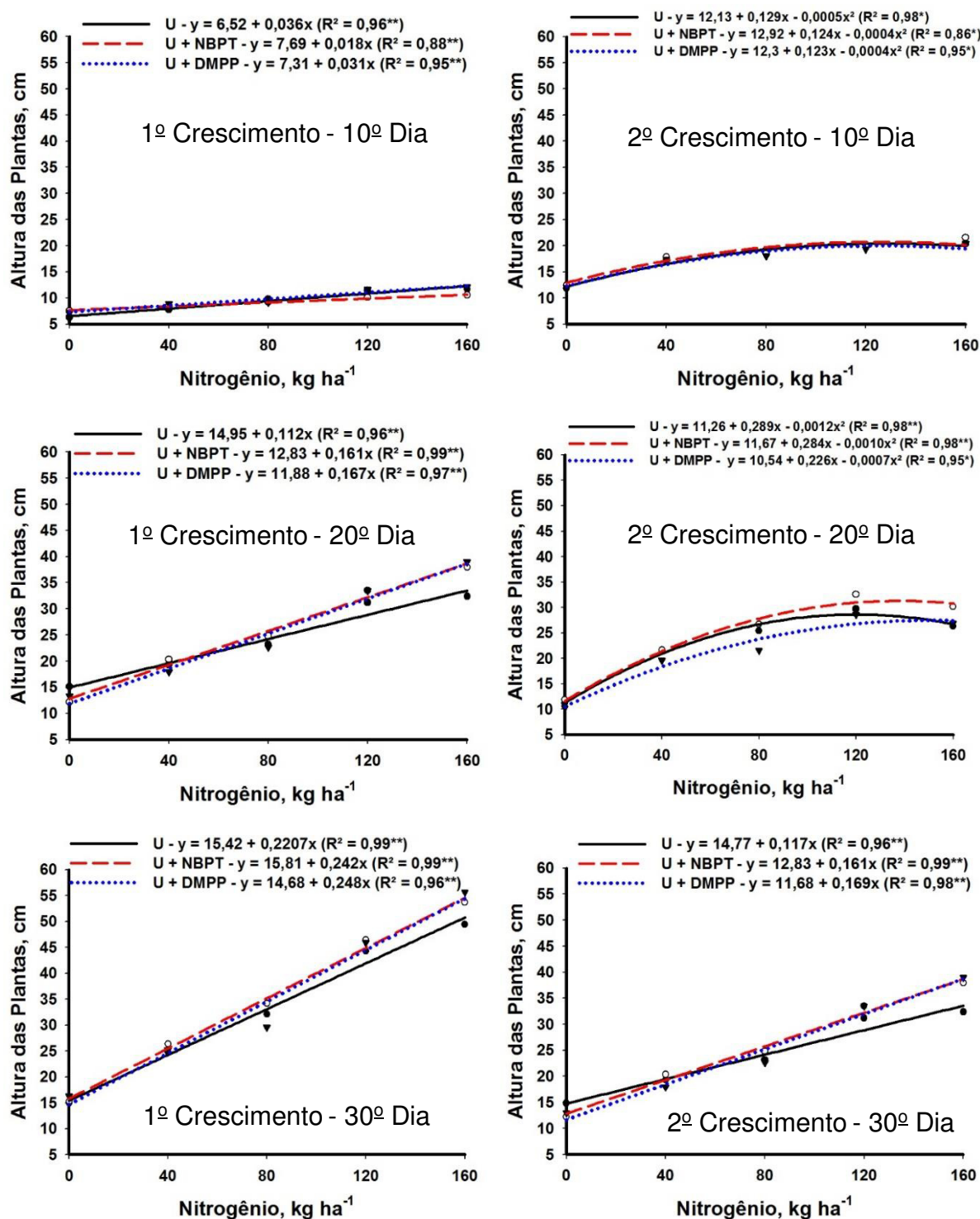


Figura 6. Altura da planta do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no primeiro e segundo crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

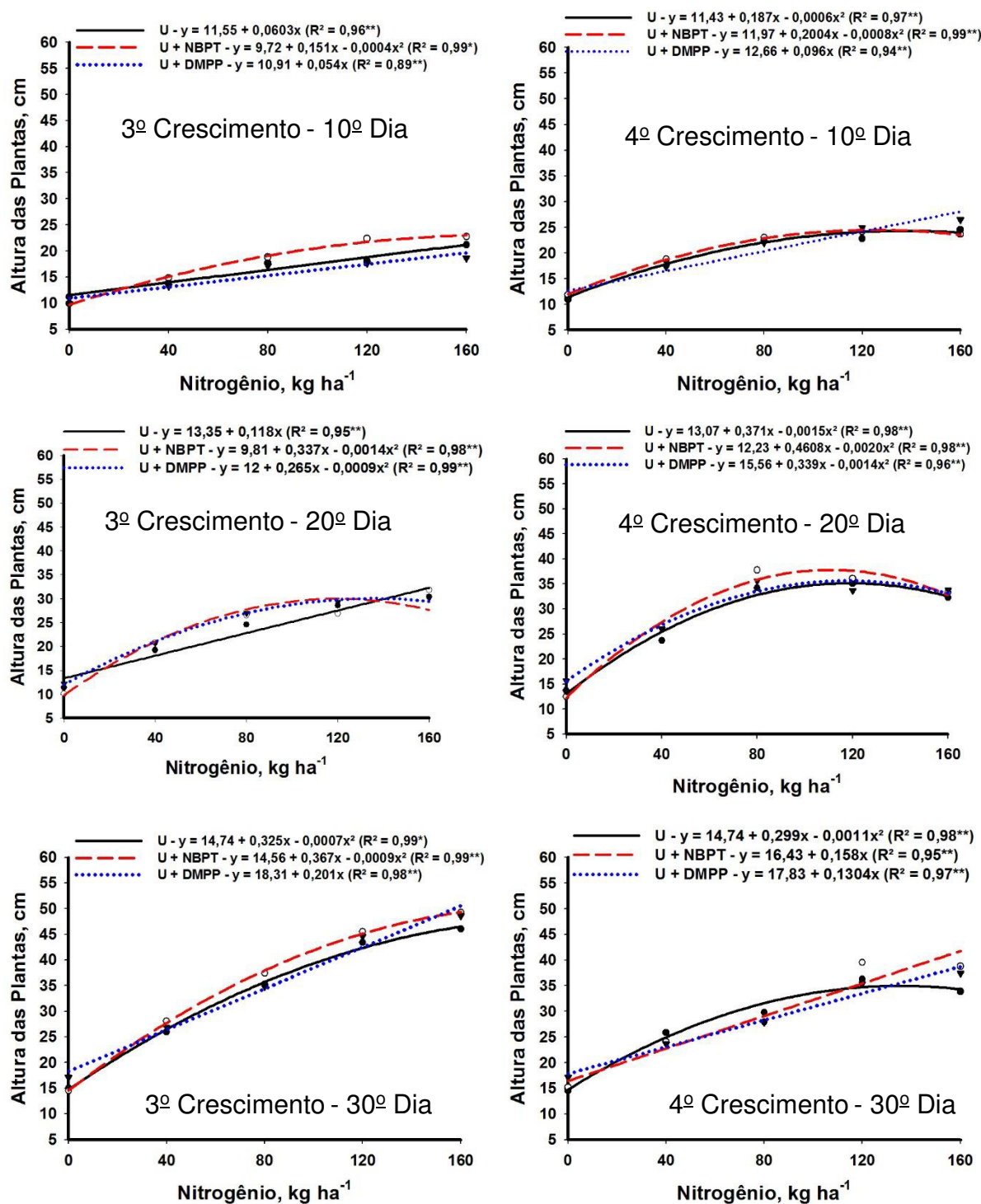


Figura 7. Altura da planta do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no terceiro e quarto crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

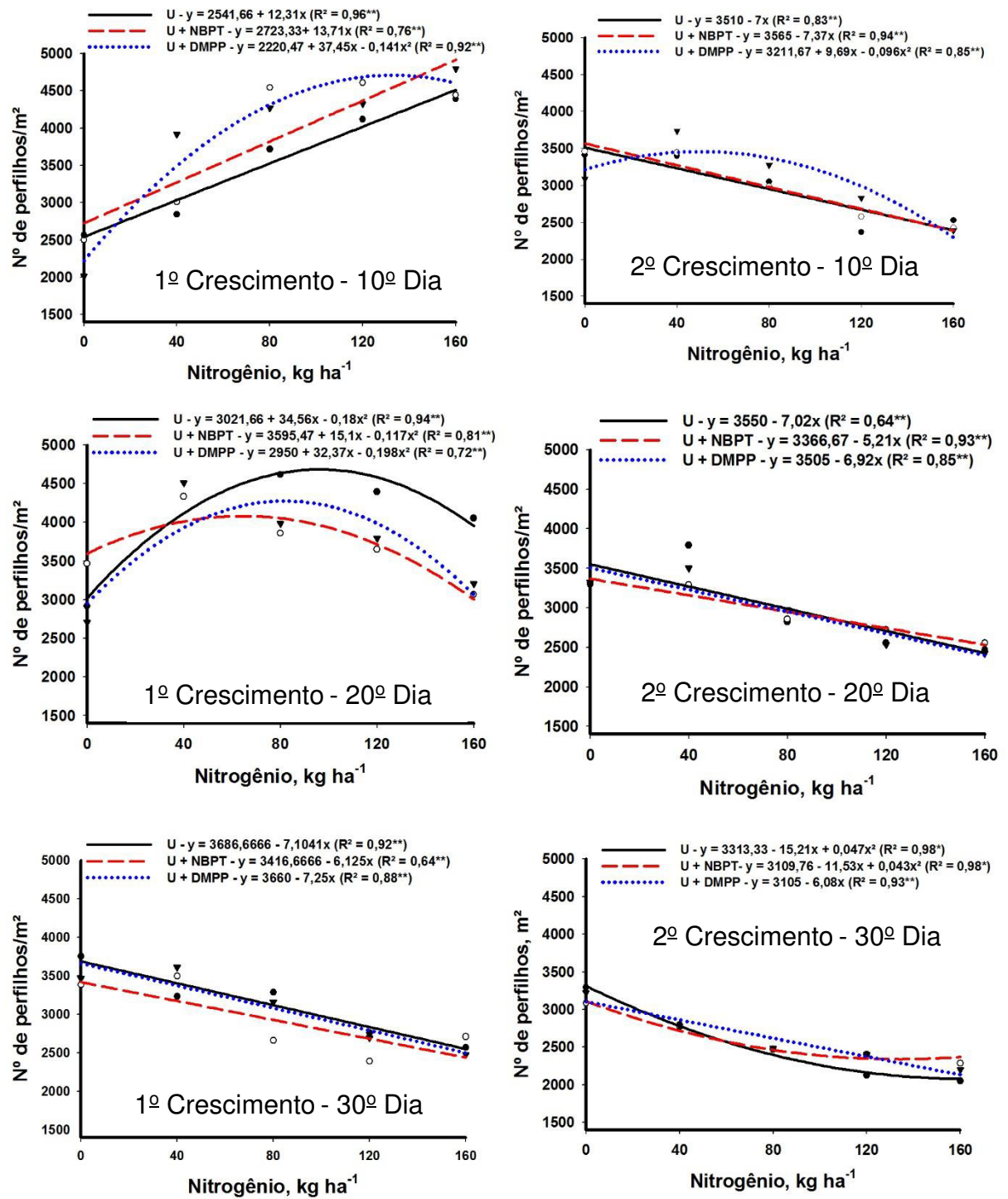


Figura 8. Perfilhamento do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no primeiro e segundo crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

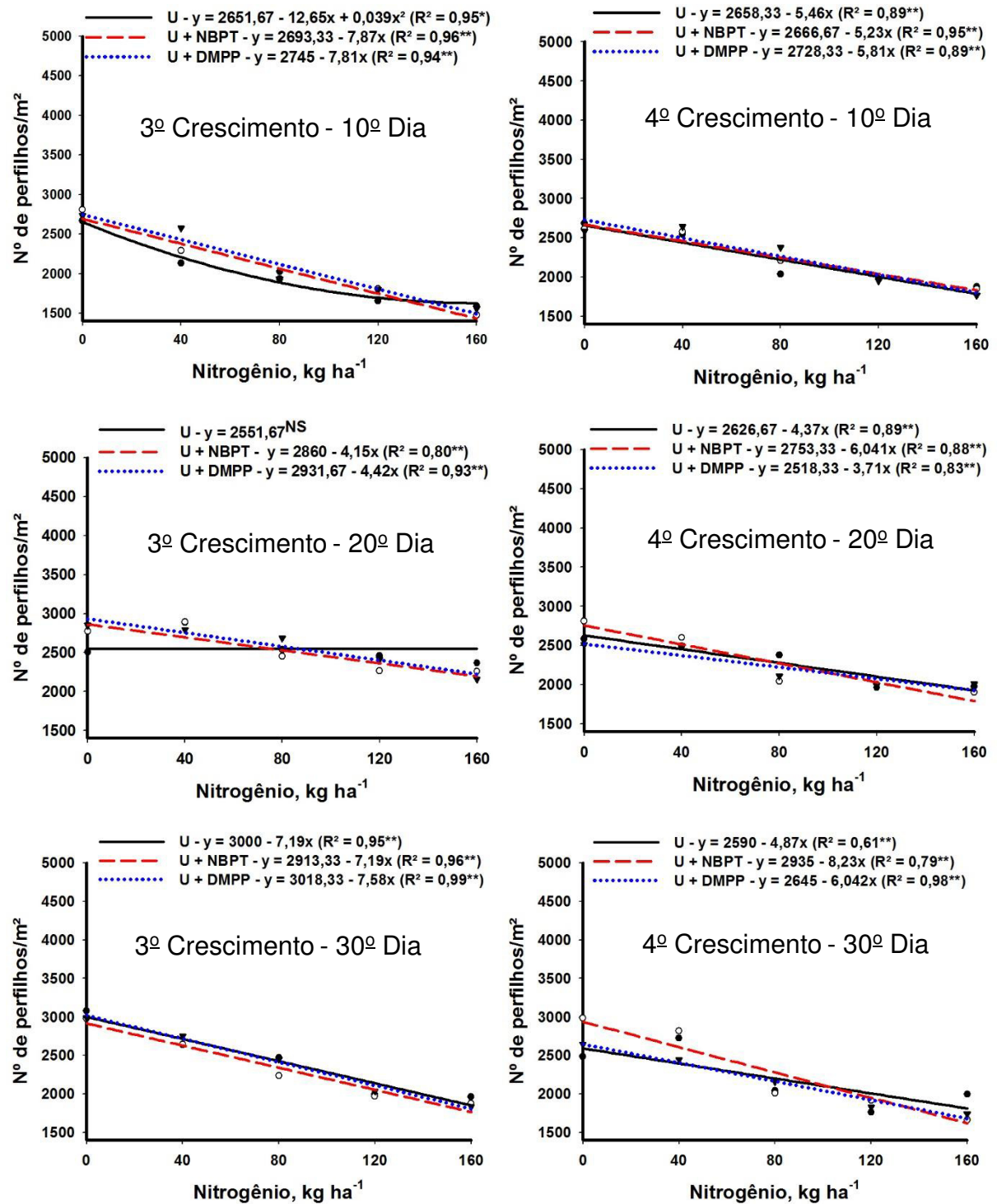


Figura 9. Perfilhamento do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no terceiro e quarto crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

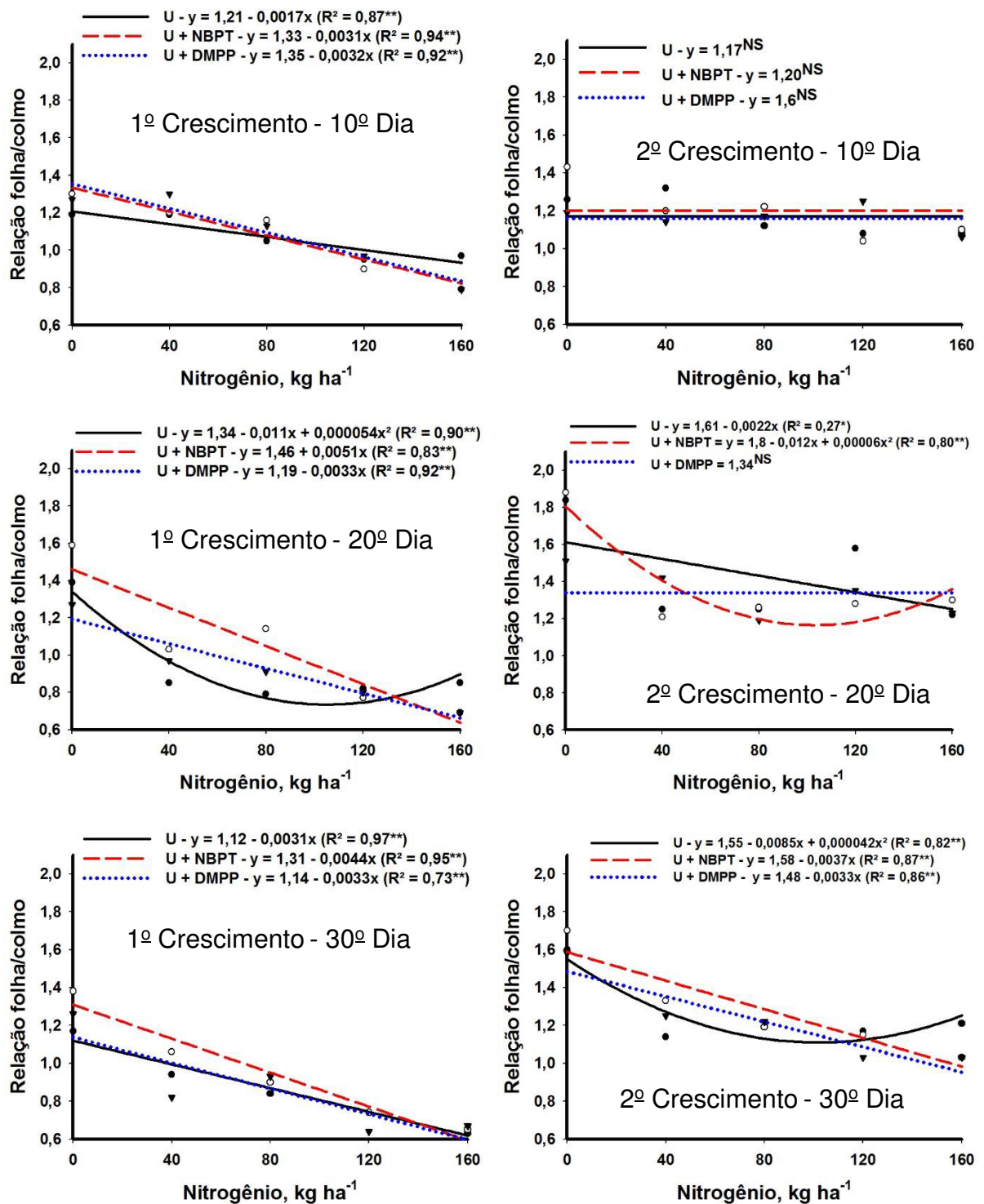


Figura 10. Relação folha/colmo do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no primeiro e segundo crescimento avaliado no 10º 20º e 30º dia. Ano agrícola 2014/15.

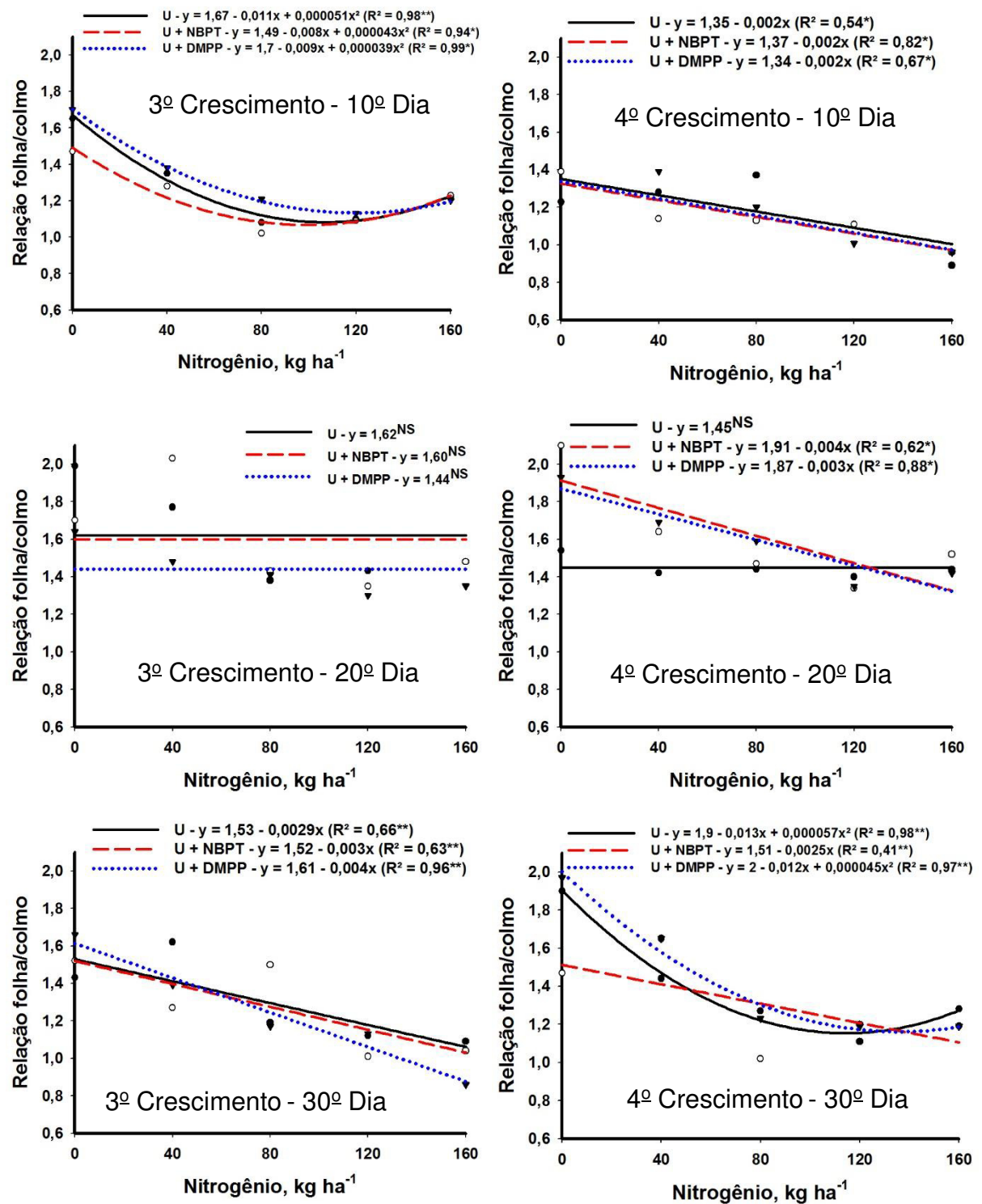


Figura 11. Relação folha/colmo do capim-tifton 85 em função de fontes e doses de N, no terceiro e quarto crescimento avaliado no 10^o 20^o e 30^o dia. Ano agrícola 2014/15.

Nos dois anos agrícolas, a adubação nitrogenada incrementou significativamente ($p < 0,01$) a produção de massa seca obtida em cada crescimento (Figura 12 e 13) e a produção total (soma dos quatro crescimentos) (Figura 14). Para a concentração de N na planta de capim-tifton 85 (Figura 15 e 16), foram observados incrementos lineares ($p < 0,01$) nos dois anos agrícolas em função das doses de nitrogênio. Apenas houve influência significativa ($p < 0,05$) do tipo de adubo no segundo e quarto crescimento do segundo ano agrícola na concentração de N na planta. Nestes casos, para o tratamento ureia + NBPT, observou-se maiores concentrações de N do que no tratamento ureia (Tabela 1). Não houve interação significativa doses x fontes de N ($p > 0,05$) para a concentração de N na planta e para a produção de massa seca.

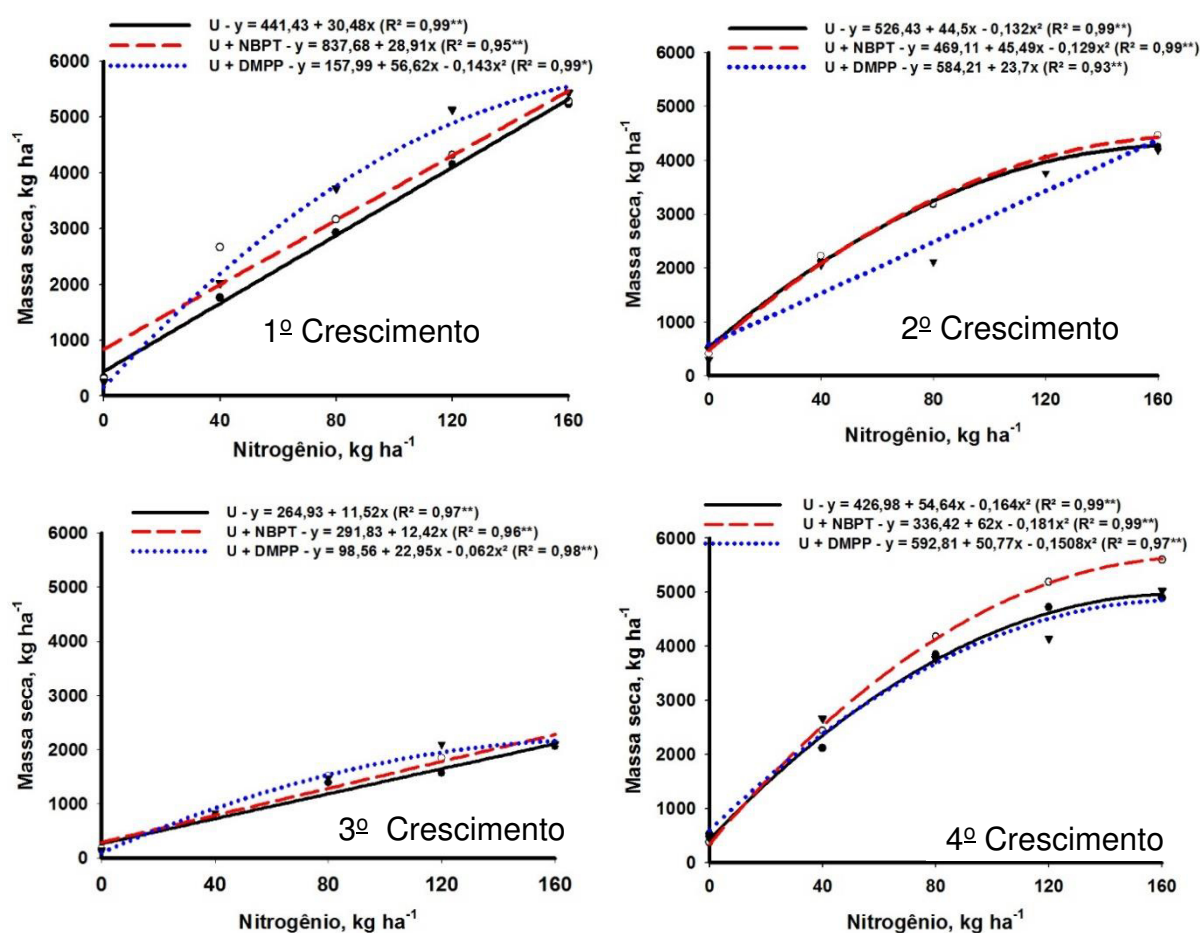


Figura 12. Produção de massa seca de capim-tifton 85 em função de doses e fontes de N, em quatro crescimentos consecutivos no ano agrícola 2013/14.

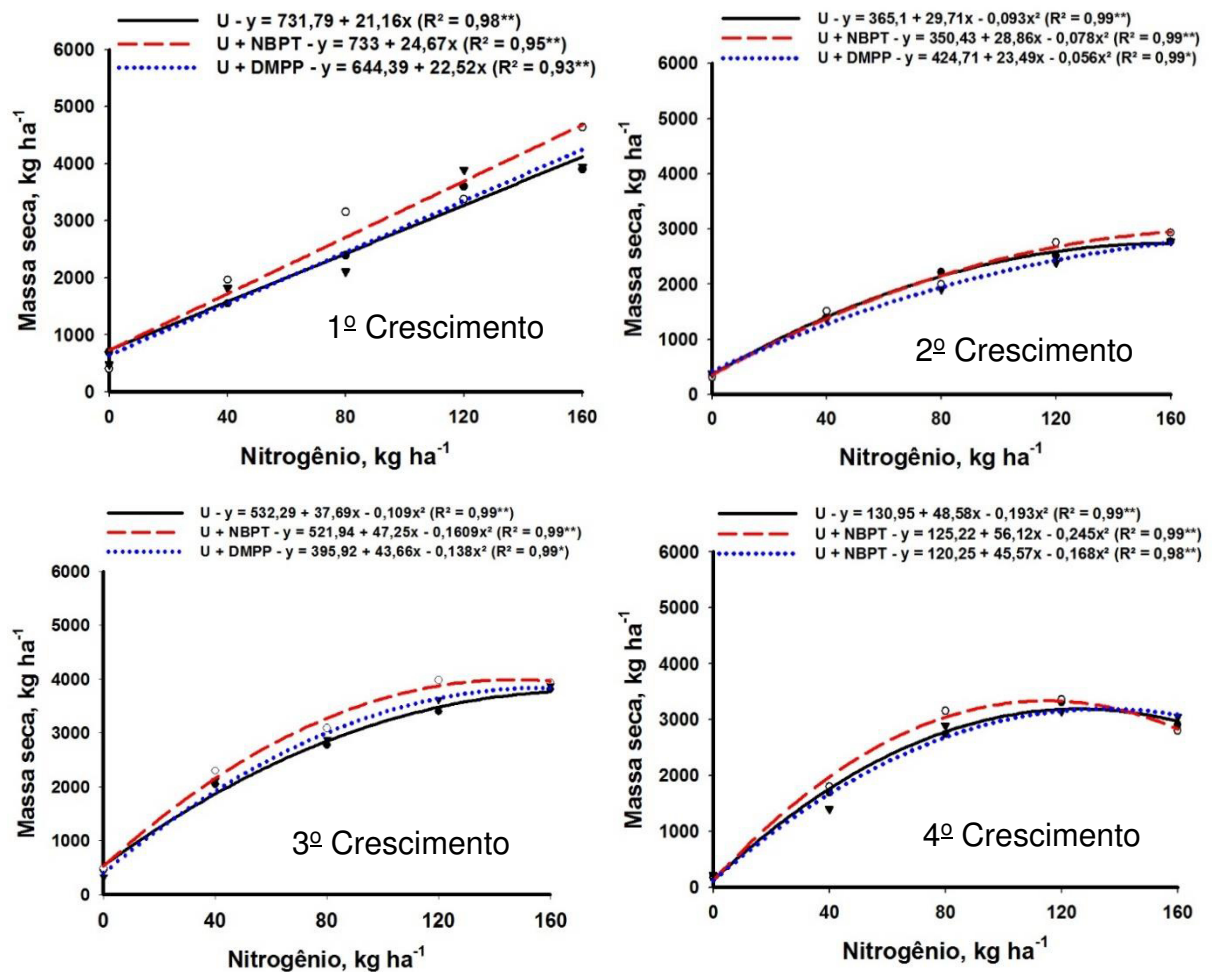


Figura 13. Produção de massa seca de capim-tifton 85 em função de doses e fontes de N, em quatro crescimentos consecutivos no ano agrícola 2014/15.

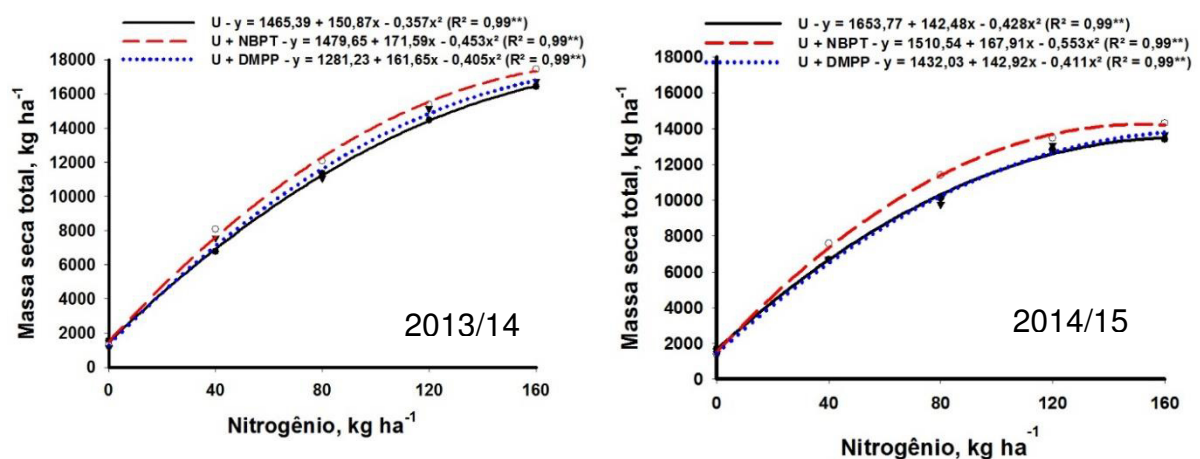


Figura 14. Produção total de massa seca de capim-tifton 85 (soma de quatro cortes) em função de doses e fontes de N nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15.

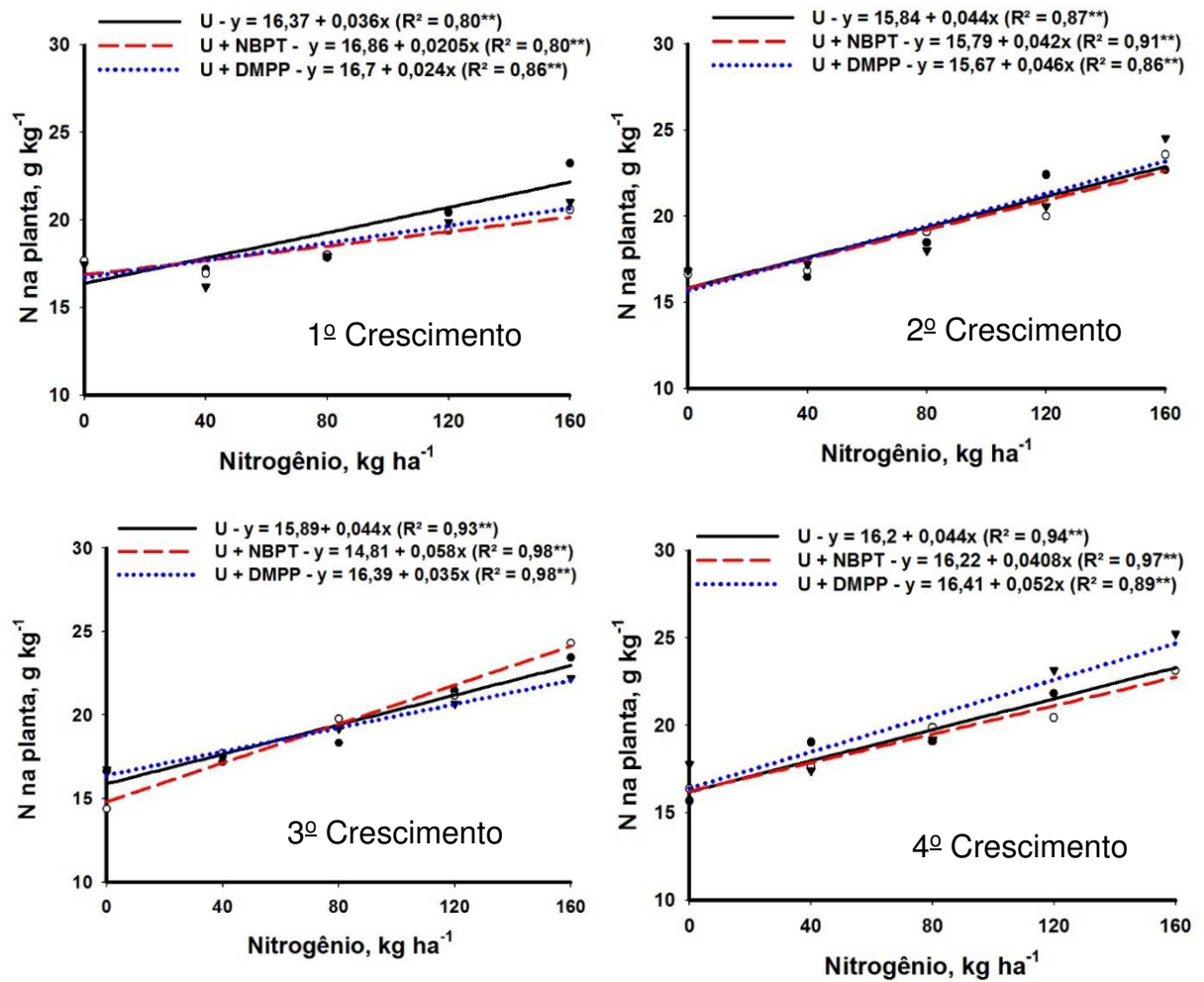


Figura 15. Concentração de N na parte aérea de capim-tifton 85 em função de doses e fontes de N, em quatro crescimentos consecutivos no ano agrícola 2013/14.

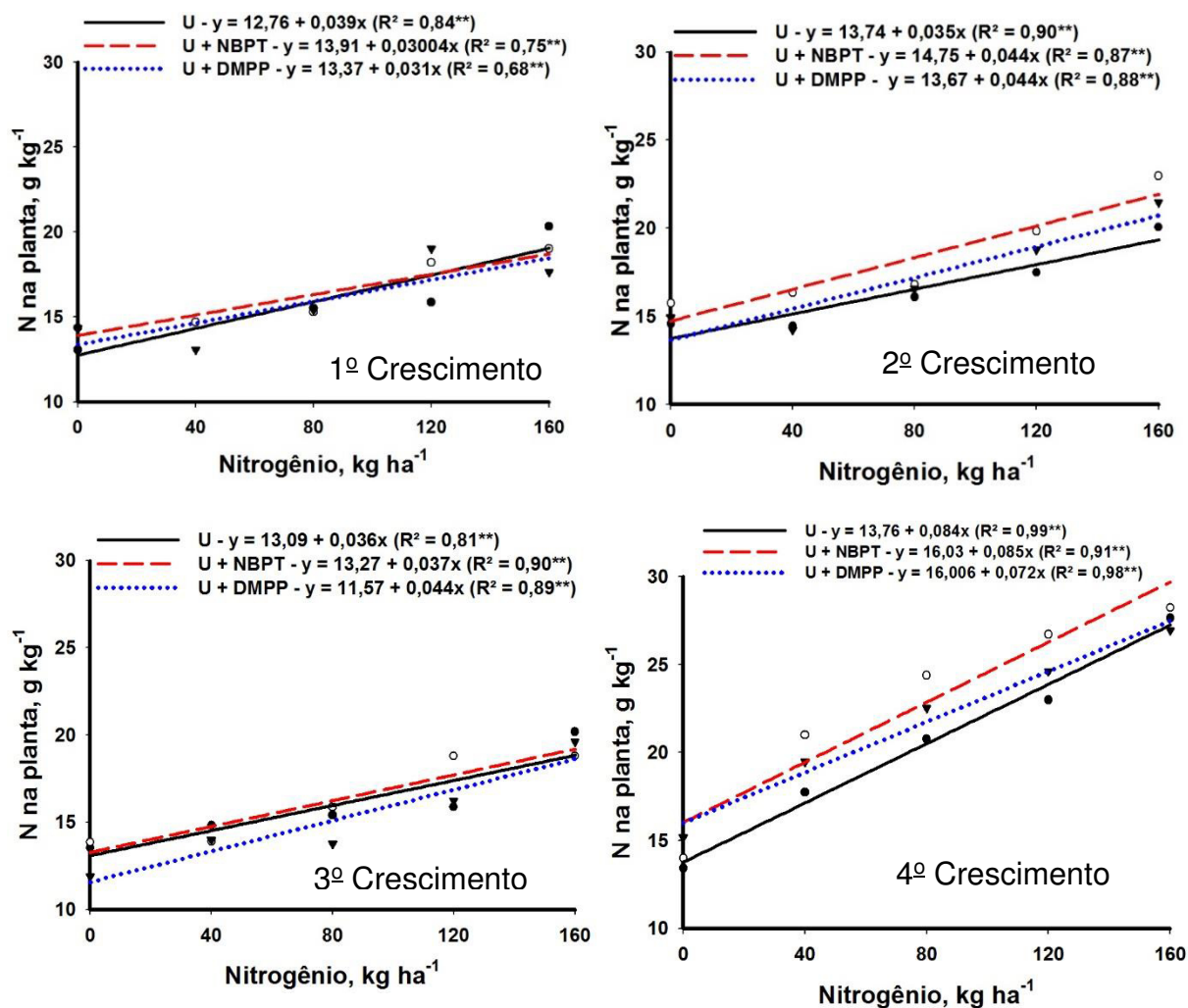


Figura 16. Concentração de N na parte aérea de capim-tifton 85 em função de doses e fontes de N, em quatro crescimentos consecutivos no ano agrícola 2014/15.

Tabela 1. Concentração de N na parte aérea e recuperação aparente de N, em função de fontes de nitrogênio, no ano agrícola 2014/15, no segundo e quarto crescimento.

	N na planta (g kg^{-1})		Recuperação aparente de N (%)	
	2º crescimento	4º crescimento	2º crescimento	4º crescimento
Ureia	16,54 b	20,51 b	35 b	62 b
Ureia + NBPT	18,34 a	22,87 a	42 a	75 a
Ureia + DMPP	17,19 ab	21,74 ab	34 b	62 b

*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto a RAN, não houve efeito significativo ($p > 0,05$) para os fatores estudados, nem de interação, em nenhum dos quatro crescimentos do ano agrícola 2013/14, sendo observadas médias gerais de 71%, 63%, 30%, 81%, respectivamente. Apenas foi verificado efeito ($p < 0,01$) do fator doses de N no terceiro e quarto

crescimento do segundo ano agrícola (Figura 17). A fonte de nitrogênio influenciou ($p < 0,01$) a RAN no segundo e quarto crescimento do segundo ano, com a fonte ureia + NBPT superando as demais (Tabela 1). Não foi verificada interação significativa doses x fontes em nenhum dos crescimentos nos dois anos agrícolas. No primeiro crescimento do segundo ano agrícola, a média geral para a recuperação aparente de nitrogênio foi de 45%.

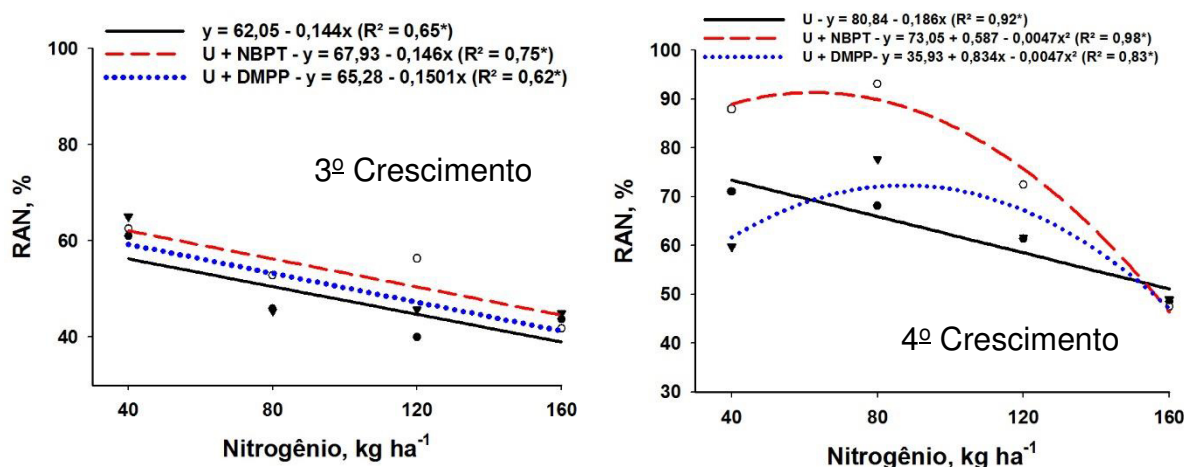


Figura 17. Recuperação aparente de nitrogênio em capim-tifton 85, em função de doses e fontes de N no 3º e 4º crescimento do segundo ano agrícola 2014/15.

O nível crítico de N na planta associado a 90% da produção relativa foi de 22,5 g kg⁻¹ (Figura 18). Pela relação entre o perfilhamento e a produção relativa, verificou-se que esta aumentou linearmente em função da redução no perfilhamento (Figura 20). Ao observar a Figura 19, nota-se que a área foliar por perfilho, o índice de área foliar e altura da planta correlacionaram-se com os rendimentos da cultura até se atingirem os seguintes valores: 48,9 cm² de área foliar por perfilho, índice de área foliar de 10,3 e altura da planta de 34,3 cm.

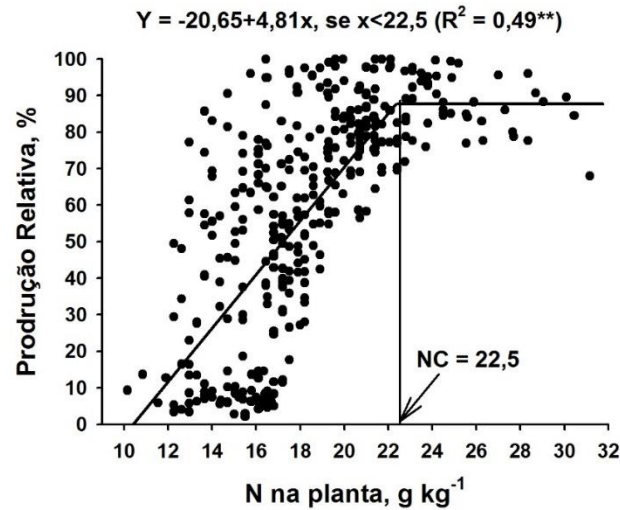


Figura 18. Relação entre a concentração de N na planta e a produção relativa do capim-tifton 85 nos anos agrícolas 2013/14 e 2014/15.

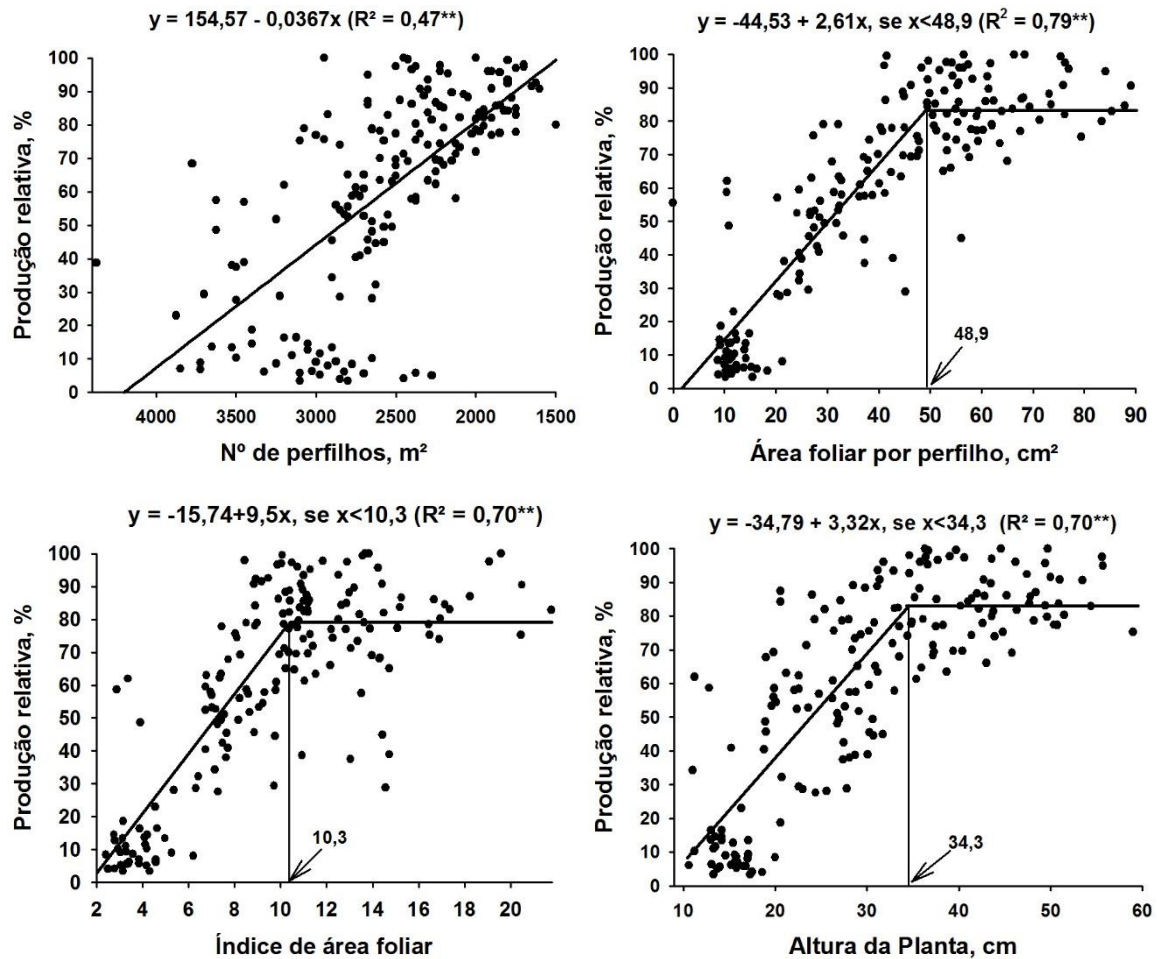


Figura 19. Relação entre a produção relativa e o perfilhamento, área foliar por perfilho, índice de área foliar e altura da planta do capim-tifton 85 no ano agrícola 2014/15.

4.2 Experimento 2

Nota-se que, para o teor de amônio no solo, apenas houve influência de fonte e dose no décimo quinto dia de incubação (Tabela 2). Para os teores de nitrato, houve efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de nim, no 7º e 15º dia de incubação (Tabela 3). Foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os tratamentos adicionais e o fatorial e também entre tratamentos adicionais, para os teores de amônio do 7º a 90º dia de incubação (Tabela 2). Também foi observado, neste mesmo período, diferença entre tratamentos adicionais e fatorial para o teor de nitrato, enquanto que para tratamentos adicionais, só houve diferença significativa no 90º dia de incubação ($p < 0,01$) (Tabela 3). Em nenhuma das datas de avaliação foi observada interação entre fontes e doses de nim para os teores de amônio e nitrato no solo (Tabela 2 e 3).

Tabela 2. Análise estatística para o teor amônio no solo durante 90 dias de incubação.

Amônio, mg kg⁻¹						
Adubo	0	7º dia	15º dia	30º dia	60º dia	90º dia
Fonte de nim (F)						
Folha	26,03	144,99	120,06	16,89	9,77	8,61
Torta	24,04	149,48	130,8	18,87	6,41	5,49
Teste F	0,43 ^{NS}	0,96 ^{NS}	6,95*	0,46 ^{NS}	1,86 ^{NS}	2,01 ^{NS}
Doses de nim (D)						
0%	24,52	143,09	115,32	24,11	7,44	7,11
10%	25,46	150,21	124,35	15,95	7,89	7,30
20%	25,34	151,77	128,59	16,89	10,12	6,8
40%	24,8	143,87	133,45	14,57	6,91	6,9
Teste F	0,02 ^{NS}	0,92 ^{NS}	3,57*	2,11 ^{NS}	0,33 ^{NS}	0,01 ^{NS}
F x D	0,25 ^{NS}	0,45 ^{NS}	1,62 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,12 ^{NS}	0,24 ^{NS}
Entre adicionais						
Controle	23,12	23,35	22,32	6,34	10,43	4,83
Ureia + DMPP	24,35	144,84	148,63	164,35	88,09	72,82
Teste F	0,04 ^{NS}	175,38**	240,08**	726,17**	248,02**	238,05**
Adicionais vs	23,73	84,09	85,47	85,34	49,26	38,82
fatorial	25,03	147,24	125,43	17,88	8,09	7,05
Teste F	0,15 ^{NS}	151,57**	76,86**	423,56**	223,07**	168,38**
CV (%)	29,99	8,35	8,5	22,29	36,99	40,26

** e * Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. ^{NS} não significativo.

Tabela 3. Análise estatística para o teor nitrato no solo durante 90 dias de incubação.

Nitrato, mg kg ⁻¹						
Adubo	0	7º dia	15º dia	30º dia	60º dia	90º dia
Fonte de nim (F)						
Folha	47,34	52,56	75,24	174,19	192,05	203,19
Torta	47,4	54,43	72,71	170,12	190,39	205,63
Teste F	0,00 ^{NS}	1,12 ^{NS}	2,41 ^{NS}	0,92 ^{NS}	0,05 ^{NS}	0,24 ^{NS}
Doses de nim (D)						
0%	46,68	58,55	81,47	171,14	188,44	201,44
10%	44,09	54,28	76,86	178,73	194,99	208,29
20%	48,95	51,40	70,28	168,18	191,03	201,17
40%	49,78	49,74	67,29	170,58	190,43	206,74
Teste F	0,32 ^{NS}	4,72 ^{**}	15,44 ^{**}	1,67 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,54 ^{NS}
F x D	0,18 ^{NS}	0,74 ^{NS}	1,51 ^{NS}	0,82 ^{NS}	0,38 ^{NS}	1,51 ^{NS}
Entre adicionais						
Controle	46,59	43,08	49,8	69,42	75,87	80,88
Ureia + DMPP	43,69	42,71	48,14	64,86	101,37	161,71
Teste F	0,10 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,26 ^{NS}	0,29 ^{NS}	3,22 ^{NS}	66,53 ^{**}
Adicionais vs fatorial						
	45,14	42,89	48,97	67,14	88,62	121,96
	47,38	53,49	73,98	172,15	191,22	204,41
Teste F	0,20 ^{NS}	28,51 ^{**}	188,68 ^{**}	492,93 ^{**}	166,89 ^{**}	225,10 ^{**}
CV (%)	23,53	8,47	5,78	6,85	10,19	6,46

^{**} e ^{*} Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. ^{NS} não significativo.

Pela Figura 20, nota-se que as concentrações de amônio no solo, aos 15 dias de incubação, aumentaram linearmente em função das doses de nim. Além disso, com a utilização da torta de nim recobrindo a ureia, resultou em maiores concentrações de amônio do que com a folha de nim.

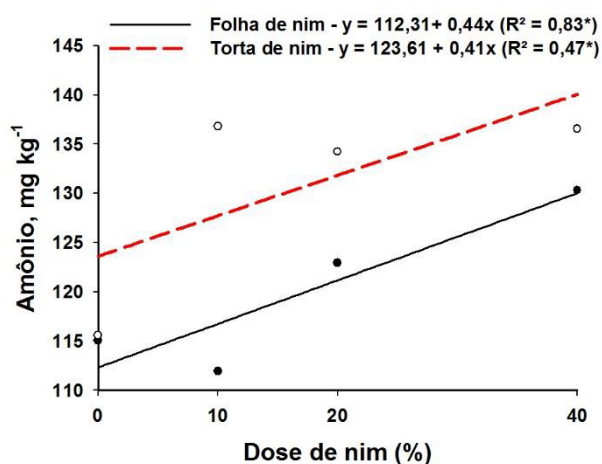


Figura 20. Concentração de amônio no solo aos 15 dias de incubação em função de fontes e doses de nim utilizadas para recobrir a ureia.

Os teores de nitrato no solo diminuíram em função da dose de nim, no sétimo e décimo quinto dia de incubação (Figura 21). No 15º, para a fonte torta de nim, observa-se que não é necessário dose maior do que 20% para recobrimento da ureia, visto que os teores de nitrato estimados com a equação (modelo quadrático) para a dose de 20 e 40% foram respectivamente 68,38 e 67,58 mg kg⁻¹ (Figura 21).

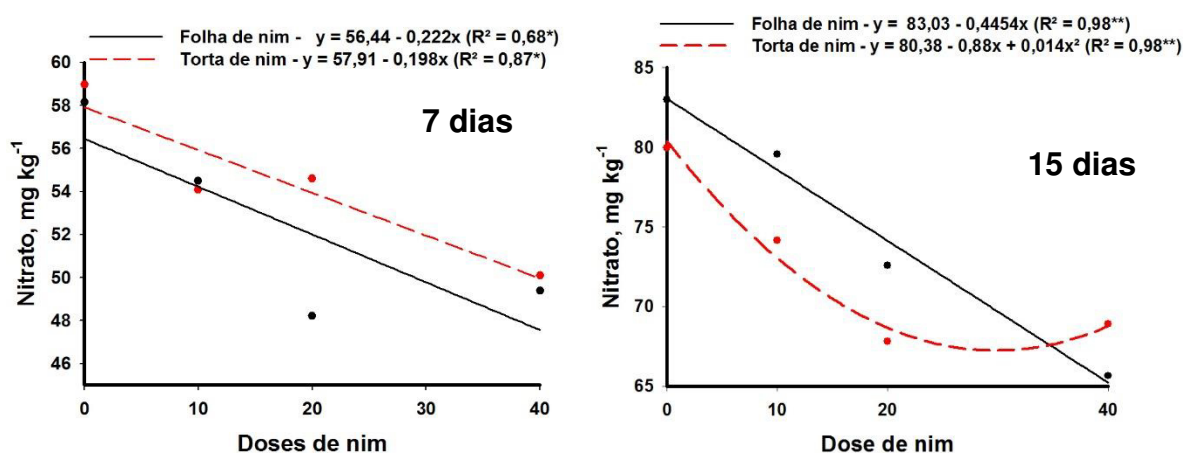


Figura 21. Concentração de nitrato no solo, em função de fontes e doses de nim, usadas para recobrir a ureia, aos 7 e 15 dias após a incubação.

Verifica-se que para todos os tratamentos que se aplicou nitrogênio, a maior parte deste, foi convertido a amônio até sétimo dia (Figura 22-A). A partir daí, enquanto para os outros tratamentos, aos 30 dias, praticamente todo nitrogênio havia passado para a forma de nitrato. Para a ureia + DMPP, o nitrogênio permaneceu na forma de amônio, chegando a maior parte na forma nítrica apenas aos 90 dias de incubação (Figura 22-A-B).

A porcentagem de inibição de nitrificação aos 7 dias de incubação para ureia recoberta com folha de nim foi de 6, 17 e 15% e para ureia recoberta com torta foi de 8, 7 e 14%, respectivamente para as doses de nim de 10, 20 e 40%. Aos 15 dias a inibição da nitrificação foi de 4, 12 e 21% para ureia recoberta com folha de nim e de 7, 15 e 14% para ureia recoberta com torta de nim, respectivamente para as doses de 10, 20 e 40%. No tratamento ureia + DMPP, a inibição da nitrificação de 26, 42, 63, 47 e 21%, aos 7, 15, 30, 60 e 90 dias de incubação, respectivamente. De fato, é nítida a maior eficiência do DMPP em inibir a nitrificação, comparado ao nim, mantendo a maior parte do N na forma amoniacal até 60º dias de incubação (Tabela 2 e 3, Figura 22-A, B).

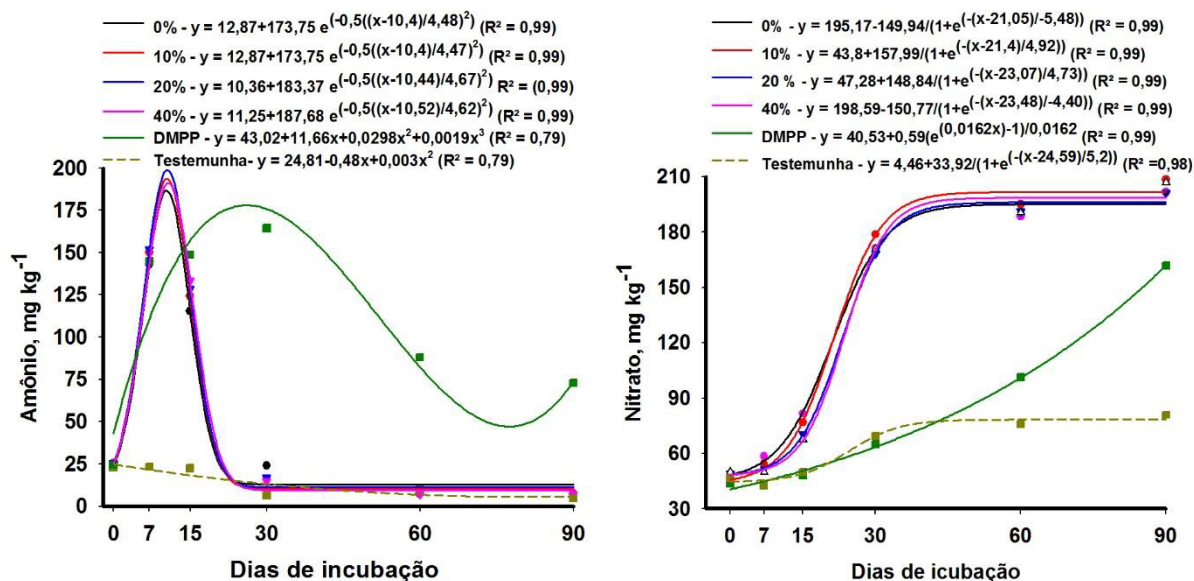


Figura 23. Concentração de amônio e nitrato no solo, em função de fontes e doses de nim, usadas para recobrir a ureia, durante 90 dias de incubação.

5. DISCUSSÃO

5.1 Experimento 1

Em relação ao crescimento das plantas, os incrementos observados na área foliar, índice de área foliar e altura da planta em função do nitrogênio (Figura 3-8), podem ser explicados devido a importância deste elemento nos processos metabólicos da planta. Este nutriente é um componente importante de todas as proteínas, principalmente as enzimas, que são responsáveis por todos os processos metabólicos, além de outros componentes nitrogenados importantes como os ácidos nucleicos e clorofila (BRADY; WEIL, 2013). Grande parte do nitrogênio é acumulado nas folhas verdes, mais especificamente, nos cloroplastos, influenciando diretamente a capacidade fotossintética (EVANS, 1989).

Além disso, o nitrogênio influencia a atividade mitótica, atuando no alongamento das novas células produzidas (KAVANOVÁ LATTANZI; SCHNYDER, 2008), contribuindo para a expressão do tamanho final da folha que é um componente direto do índice de área foliar. O Nitrogênio beneficia assim, a absorção da radiação

fotossinteticamente ativa, pois, esta depende da área foliar disponível e contribui para o crescimento da pastagem (GASTAL; LEMAIRE, 2002).

O comportamento do perfilhamento observado no primeiro crescimento (Figura 9), pode ser explicado pela teoria de auto-desbaste dos perfilhos (MATTHEW et al. 1995; SBRISSIA; DA Silva, 2008) também chamada de compensação entre tamanho e número de perfilhos (HERNANDEZ GARAY; MATTHEW; HODGSON, 1999).

Esse fenômeno ocorre porque a competição entre os perfilhos promove o sombreamento de outros. Com isso, a primeira consequência é a redução na taxa de assimilação de carbono (LEMAIRE, 2001). De fato, a utilização de CO₂ é determinada pelo nível de interceptação de luz, uma vez que no processo de fotossíntese, as enzimas que regulam o ciclo de Calvin onde o CO₂ é reduzido a carboidrato, são dependentes da luz. A energia obtida neste processo é utilizada para a manutenção e ativação de diversas funções metabólicas que determinam em grande parte a capacidade de absorção de N e a redução e assimilação do nitrato na planta, processos estes que demandam alto gasto energético (LEMAIRE, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com isso, quanto mais as plantas dominantes se sobressaem, maior a dificuldade das plantas sombreadas em absorver o N, devido ao menor fornecimento de energia as suas raízes (LEMAIRE; MILLARD, 1999). Com o tempo, com a escassez de carbono e conseqüentemente de nitrogênio, a planta morrerá (SACKVILLE-HAMILTON; MATTHEW; LEMAIRE, 1995).

A teoria de auto-desbaste ajuda a elucidar também a dinâmica de crescimento apresentada pela forrageira após o primeiro ciclo (Figuras 3-10). Ocorre que, a competição enfrentada no período anterior é um fator importante a interferir na rebrota da forrageira no próximo ciclo, uma vez que, as plantas sombreadas anteriormente, começam em desvantagem em relação as que se sobressaíram, pois aquelas acumularam menos N em suas raízes. Como consequência desta baixa reserva de N, o crescimento inicial destas plantas é muito lento, conforme, também evidenciado por Avice et al. (1996). Por outro lado, as plantas consideradas dominantes e que conseguiram acumular uma reserva de nitrogênio, rapidamente reciclam este N, utilizando-o para expansão de uma nova folha, até que o fornecimento de C seja restabelecido, com conseqüente retorno da capacidade de absorção de N pela planta.

Alguns autores relataram em seus trabalhos (MILLARD; THOMAS; BUCKLAND, 1990; OURRY; BOUCARD; SALETTE, 1990), que após desfolhas severas, a forrageira tende a apresentar na rebrota, folhas maiores e menor densidade de perfilhos. Gosse et al. (1988) observaram a redução na densidade de perfilhos em alfafa, quando submetida a cortes sucessivos. A plasticidade fenotípica das gramíneas, na maioria das vezes é resultante da compensação entre tamanho e densidade de perfilhos. Em função disso, em regime de pastejo contínuo com desfolhas frequentes, em geral, se observa maior densidade de perfilhos, com tamanho menor. Em sistemas de corte, têm-se menor densidade de perfilhos, porém mais vigorosos (GASTAL; LEMAIRE, 2015).

Neste trabalho, por exemplo, aos dez dias, independentemente da fonte de nitrogênio, com a dose de 160 kg ha⁻¹ de N, tem-se um aumento percentual da área foliar em relação a testemunha de 421%, 296% e 432%, para o segundo, terceiro e quarto crescimento, respectivamente. Enquanto que, no primeiro crescimento, o percentual de aumento foi de 101%. Vê-se, portanto, que a menor densidade de perfilhos é compensada pelo incremento na área foliar da planta.

É necessário lembrar porém que, deve-se ter cuidado, caso o período de cortes seja muito prolongado, promovendo uma diminuição do perfilhamento a ponto de comprometer o rendimento da forrageira. Entretanto, em sistemas como o do presente trabalho, com quatro cortes ao ano, isso não parece ser um problema, uma vez que a forrageira passará por um longo período de repouso, havendo a renovação do processo no período seguinte.

Logicamente, não se deve generalizar e interpretar que a adubação nitrogenada, em qualquer circunstância, diminua o perfilhamento. Compreende-se que o ocorrido no presente trabalho, é um caso específico de um manejo empregado a uma gramínea perene, em que o aumento da dose de N associado ao corte severo, removendo praticamente toda a parte aérea da forrageira, interfere no comportamento da mesma, nos ciclos posteriores. Em trabalhos conduzidos em outras condições, foram observados incrementos no perfilhamento de capim-tifton 85 em função da adubação nitrogenada, em sistema de pastejo contínuo, mantido a 10 e 15 cm de altura, respectivamente, Fagundes et al. (2011) e Moreira et al. (2015). Da mesma

forma Silva (2007), verificaram aumento no perfilhamento com a aplicação de N, em experimento conduzido em vasos, em casa de vegetação.

No trabalho de Sbrissia et al. (2003), foram relatados para o Tifton-85, valores de índice de área foliar variando de 3,63 a 4,16, em um sistema de pastejo contínuo, mantido a 20 cm de altura e com doses inferiores as aplicadas neste estudo. Levando-se estes fatos em consideração e ao observar as alturas alcançadas por esta gramínea no presente trabalho, justifica-se os altos valores obtidos para o índice de área foliar. No trabalho de Alderman, Boote e Sollenberger (2011), foram observados valores entre 6 e 7 de IAF com a dose de 135 kg ha⁻¹ de N. Marcelino et al. (2003), observaram com a dose de 90 kg ha⁻¹ de N, IAF de 9,64.

No que diz respeito a relação folha/colmo, a maior intensidade na redução desta relação em função da adubação nitrogenada no primeiro ciclo (Figuras 11 e 12), pode ser explicado pelo maior investimento no crescimento de colmos impulsionado pela competição por luz, pois quanto maior a proporção de colmos, menor esta relação. Da Silva, Sbrissia e Pereira (2015), relatam que as pesquisas realizadas até a atualidade, indicam que há uma correlação entre a competição por luz e altas taxas de alongamento de colmos em plantas C₄. Deve-se destacar que os índices de relação folha/colmo acima de 1, observados no 20º e 30º dia de crescimento, no 2º, 3º, e 4º crescimento, são vantajosos em termo de produção de forragem, pois nestas condições, há maior proporção de folhas do que de colmo, o que implica em maior qualidade do produto colhido, contribuindo para o ganho de peso ou produção de leite dos animais, conforme relatado por Silva et al. (2013).

A menor produção observada no terceiro crescimento do primeiro ano agrícola (Figura 13) se deve a baixa precipitação (76 mm) ocorrida. Do oitavo ao 28º dia, choveu apenas 14,1 mm, com o agravante de que dentro deste período, passaram-se 13 dias sem ocorrer nenhuma precipitação.

No ano agrícola de 2014/15, no segundo crescimento, a estiagem também prejudicou a produtividade da cultura. Ao observar a Figura 13, nota-se que a precipitação (110,2 mm) no quarto ciclo do primeiro ano agrícola foi semelhante a do segundo crescimento (121,1 mm) do ano agrícola 2014/15. Entretanto, neste ciclo, foi observada alta produtividade (Figura 14). Ocorre que, houve neste período melhor distribuição da precipitação, enquanto que, no segundo ciclo do período de 2014-

2015, a maior parte das chuvas ocorreu nos primeiros dias de crescimento, tendo sido observado do nono ao 27º dia, apenas 19,1 mm.

É preciso ressaltar a capacidade desta gramínea em recuperar o nitrogênio aplicado, pois esta é uma vantagem em termos de eficiência energética. Primavesi et al. (2004), enfatizam a importância do conhecimento sobre a extração de nutrientes pelas forrageiras, especialmente em sistemas intensivos que utilizam elevadas doses de fertilizantes. Neste trabalho, verifica-se que na maioria das vezes, independente da dose, a forrageira respondeu de igual forma na recuperação do N aplicado.

De acordo com Terman (1979), quando a ureia é aplicada na superfície do solo, 10 a 20 mm de chuva são suficientes para reduzir drasticamente as perdas de NH_3 por volatilização. As perdas de N por volatilização podem chegar até 78% do total aplicado (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA et al., 1997) No primeiro ano agrícola, nos três primeiros dias do primeiro crescimento choveu um total de 13,4 mm e no quarto crescimento, 6,6 mm nos dois primeiros dias. Estas precipitações parecem ter sido suficiente para incorporar a ureia ao solo, sem grandes perdas de N, tendo em vista que a RAN no primeiro e quarto crescimento, foi de 71 e 81%, respectivamente. Porém, no 2º crescimento, apenas ocorreu uma precipitação relevante no sétimo dia após a aplicação, o que provavelmente resultou em menor recuperação aparente de N (63%).

No trabalho de Soares et al. (2012) as maiores perdas de amônia por volatilização ocorreram até o sexto dia após a aplicação da ureia. Em condição de campo, Dominghetti et al. (2016) e Chagas et al. (2016), verificaram que as perdas de amônia por volatilização foram concentradas nos primeiros sete dias após a aplicação da ureia. No período de 2014/15, no segundo e quarto ciclo de crescimento, só ocorreram precipitações no sexto dia após a aplicação do adubo. Desta forma, provavelmente a ação do inibidor de urease, resultou em menores perdas de N e consequentemente, na maior concentração de N e maior RAN observados no tratamento ureia + NBPT (Tabela 1).

Da mesma forma que no presente trabalho, Fontoura e Bayer (2010) e Mota et al. (2015) também não observaram incremento significativo na produção com a utilização de ureia + NBPT, comparada a ureia comum.

O capim-tifton 85 se destaca de outras gramíneas não só pela qualidade de forragem produzida e pelo alto rendimento, mas também pelo bom desenvolvimento e conseqüentemente, maior eficiência de seu sistema radicular (HANCOCK, 2012). Em cultivares híbridos do gênero *Cynodon*, as raízes podem chegar até de 2,43 m de profundidade (ACUÑA et al. (2014). Desta forma, pode ocorrer menor lixiviação de nitrato no perfil do solo (HANCOCK, 2012). Levando isto em consideração, pode-se compreender melhor a alta recuperação aparente de N observada neste trabalho, bem como o porquê a utilização de ureia + DMPP não ter resultado em maiores produtividades, comparada a ureia comum, pois mesmo supondo que com a ureia comum tenha ocorrido maior lixiviação de nitrato, a alta eficiência do sistema radicular permitiu a absorção deste em profundidades maiores.

Segundo HU et al. (2014), quando as plantas conseguem aproveitar melhor o nutriente aplicado, pode não ocorrer diferenças significativas entre as produções obtidas com e sem a utilização de inibidores. Estes autores analisaram diversos trabalhos conduzidos na Alemanha nos últimos 15 anos e concluíram que os inibidores de nitrificação não influenciaram significativamente a produção de diversas culturas, como trigo de inverno, cevada de inverno, milho e batata.

Avaliando trabalhos conduzidos a campo, Gilsanz et al. (2016) e Yang et al. (2016) demonstraram que o DMPP não aumentou significativamente a produtividade das culturas.

A recomendação de adubação nitrogenada para gramíneas, em sistemas de produção de feno, para o estado de São Paulo (WERNER et al., 1997), baseia-se na extração de N pela massa seca da planta, sendo esta definida em 20 kg de N/t de massa seca produzida. No entanto, os autores não apresentam a quantidade extraída pelo capim-tifton 85, apresentando apenas a quantidade de N extraída para outro capim do gênero *Cynodon* (coast-croos), de 16 kg de N/t de massa seca.

Neste trabalho, considerando as concentrações que equivalem a 90% da produção relativa, pode-se inferir que o capim-tifton 85 extraiu 22,5 kg de N por tonelada de massa seca produzida. Todavia, deve-se salientar que a eficiência de recuperação do N aplicado, ou a recuperação aparente de N não é 100%. Por exemplo, a média (total de oito crescimentos) para a recuperação aparente de N no presente estudo foi de 55%. Levando em conta, este potencial de perda de N, seria

necessário aplicar 16,5 kg de N a mais que a quantidade extraída pela planta, resultando em 39 kg de N/t de massa seca produzida. Diante disso, pode-se inferir que a dose adequada para o capim-tifton 85 seja de 40 kg de N por tonelada de massa seca produzida.

Borges (2016), trabalhando com capim-tifton 85, também com um total de oito crescimentos, obteve nível crítico de N de 23,7 g kg⁻¹, valor este próximo ao obtido neste trabalho.

Entre as características de crescimento da planta relacionadas com a produção relativa, a altura da planta é a de mais fácil obtenção. Desta forma, pode-se inferir que a altura da planta em torno de 35 cm pode ser utilizada para determinar o momento ideal de colheita do capim-tifton 85.

5.2 Experimento 2

O fato de os teores de amônio no solo terem aumentado em função do aumento da dose de nim para recobrir a ureia (15 dias de incubação, Figura 21), se deve a inibição da nitrificação, provocada pelo produto, ou seja, como o processo de nitrificação foi retardado, manteve-se maiores concentrações de amônio no solo.

Kumar et al. (2007), verificaram que o a inibição da nitrificação variou de 4 a 30,9%, utilizando óleo de nim para recobrir a ureia. Os autores relataram que houve influência direta do teor de meliacina no óleo e o percentual de nitrificação. A azadiractina é um tipo de meliacina e é o principal composto derivado do nim, podendo estar presente em todos os tecidos da planta. (NAKATANI et al., 1995; SIMÕES et al., 2000).

No trabalho de Gnanavelrajah (2011), a utilização de pó de folhas ou de sementes de nim para recobrir a ureia foi eficiente em inibir a nitrificação do nitrogênio no solo em 54 e 48%, respectivamente, na primeira semana de avaliação e em 24 e 19% na quarta semana de avaliação.

No presente trabalho, houve inibição da nitrificação até 15 dias após a incubação, sendo esta maior em função do aumento das doses de nim. No trabalho de Gopal et al. (2007), a azadiractina exerceu efeito supressor na comunidade microbiana do solo, também até os 15 dias após a incubação.

Da mesma forma que o observado para as fontes pó de folha e torta de nim neste experimento, comparadas ao DMPP, Kumar et al. (2007) trabalhando com óleo de nim obtiveram resultados positivos, porém inferiores a outra molécula mais conhecida, a nitrapirina. Por outro lado, no trabalho de Abbasi, Hina e Tahir (2011), com a utilização da torta de nim, foram observadas maior eficiência na inibição da nitrificação (54%) que neste trabalho, até 50 dias de incubação.

Salienta-se que apesar da eficiência observada do DMPP em inibir a nitrificação neste experimento de laboratório, não foi observado no campo diferença no crescimento e produtividade do capim-tifton 85 nos tratamentos com DMPP, comparada a ureia comum, conforme já relatado no experimento 1.

Barth, Von Tucher, Schmidhalter (2001), observaram que a eficiência do DMPP é dependente da textura do solo. Os autores verificaram forte correlação entre o teor de argila do solo e a adsorção do DMPP, da mesma forma que quanto maior adsorção, maior a formação de nitrito (primeiro processo na conversão do amônio a nitrato), ou seja, quanto maior o teor de argila, maior a adsorção do DMPP e, por estar este adsorvido, menor a sua eficiência. No experimento de laboratório trabalhou-se com um solo de textura média, enquanto no experimento de campo, tratava-se de um solo argiloso. Isso pode ter influenciado na eficiência do produto em condições de laboratório. Nalin de Paulo (2012) observou maior eficiência do DMPP em inibir a nitrificação num Neossolo Quartzarênico do que em Latossolo Vermelho Amarelo e Latossolo Vermelho.

Além disso, em regiões tropicais a temperatura é outro fator que pode contribuir para a ineficiência dos inibidores de nitrificação. De acordo com Pasda; Hähndel; Zerulla (2001), o aumento da temperatura acelera a degradação do produto, comprometendo a eficácia do DMPP.

6. CONCLUSÃO

A utilização do inibidor de urease (NBPT) ou de nitrificação (DMPP) não melhora a eficiência da ureia no crescimento e na produção do capim-tifton 85.

A dose adequada de nitrogênio para o capim-tifton 85, em sistema de produção de feno é de 40 kg por tonelada de massa seca produzida em cada ciclo de crescimento.

A utilização de folha ou torta de nim para recobrir a ureia promove inibição da nitrificação até 15 dias após a aplicação do adubo.

O DMPP é mais eficiente em inibição da nitrificação do que o nim (folha ou torta).

7. REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. K.; HINA, M.; TAHIR, M. M. Effect of *Azadirachta indica* (neem), sodium thiosulphate and calcium chloride on changes in nitrogen transformations and inhibition of nitrification in soil incubated under laboratory conditions. **Chemosphere**, Kidlington, v. 82, n. 11, p. 1629–1635, 2011.
- ACUÑA, T. C.; FISHER, T.; GONSALEZ, P.; HATCHER, A.; SHOOTER, M.; SPEARMAN, B.; STILLWELL, L.; WELLS, D.; WOOD, D. **Bermudagrass Production in North Carolina**. North Carolina Cooperative Extension Service, p. 1-16, 2014. Acesso em: 10 mar. 2017. Disponível em: <<https://duplin.ces.ncsu.edu/wp-content/uploads/2014/05/AgBermudagrassAG-493.pdf?fwd=no>>.
- AKIYAMA, H.; YAN, X. A.; YAGI, K. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O emissions from agricultural soils: meta-analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 1837–1846, 2010.
- ALDERMAN, P. D.; BOOTE, K. J.; SOLLENBERGER, L. E. Regrowth Dynamics of 'Tifton 85' Bermudagrass as Affected by Nitrogen Fertilization. **Crop Science**, Madison, v. 51, p. 1716-1726. 2011.
- ALENCAR, C. A. B.; COSER, A. C.; MARTINS, C. E.; OLIVEIRA, R. A.; FRANÇA, F. C.; FIGUEIREDO, J. L. A. Altura de capins e cobertura do solo sob adubação nitrogenada, irrigação e pastejo nas estações do ano. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 21-27, 2010.
- ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F.; VERNEQUE, R. S.; BOTREL, M. A. Resposta do Tifton 68 a doses de nitrogênio e a intervalo de cortes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 9, p.1875–1882, 2000.
- ANEJA, V. P.; BLUNDEN, J.; JAMES, K.; SCHLESINGER, W. H.; KNIGHTON, R.; GILLIAM, W.; JENNINGS, G.; NIYOGI, D.; COLE, S. Ammonia assessment from agriculture: U.S. status and needs. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.37, n. 2, p. 515-520, 2008.
- AVICE, J. C.; OURRY, A.; LEMAIRE, C.; BOUCAUD, J. Nitrogen and carbon flows estimated by 15N and 13C pulse-chase labeling during regrowth of alfalfa. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 112, n. 1, p. 281-290, 1996.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat - Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**, Versão 2.0. 2015. Jaboticabal: FCAV, 2015.
- BARTH, G.; VON TUCHER, S.; SCHMIDHALTER, U. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. **Biology and Fertility Soils**, Heidelberg, v. 34, n. 2, p. 98–102, 2001.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983.

BODIRSKY, B. L.; ROLINSKI, S.; BIEWALD, A.; WEINDL, I.; POPP, A.; LOTZE-CAMPEN, H. Global food demand scenarios for the 21st century. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n.11, p. 1-27, 2015.

BORGES, B. M. M. N. **Efficiency of nitrogen sources and rates on growth and dry matter yield of Tifton 85**. 2016. 48 f. Tese (Doutorado em Agronomia –Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2016.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL, R. B. **Aspectos botânicos, usos tradicionais e potencialidades de *Azadirachta indica* (neem)**. Enciclopédia biosfera, Goiânia, v.9, n.17, p. 3252-3269, 2013.

BUNDICK, H.; BRUULSEMA, T.; HUNTER, M.; LAWRENCE, J.; CZYMMEK, K.; KETTERINGS, Q. **Enhanced-efficiency nitrogen sources**. Ithaca: College of Agriculture and Life Sciences, 2009. (Agronomy Fact Sheet Series, 45). Disponível em: <<http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet45.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2016.

BURTON, G. W. Tifton 85 bermudagrass – early history of its creation, selection, and evaluation. **Crop Science**, Madison, v.41, n. 1, p. 5–6, 2001.

CALDERON, F. J.; REEVES, J. B.; MCCARTY, G. W. Nitrapyrin delays denitrification on manured soils. **Soil Science**, Philadelphia, v. 170, n. 5, p. 350-359, 2005.

CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 162, n. 2, p. 145-173, 2013.

CANTARELLA, H.; TREVELIN, P. C. O.; CONTIN, T. L. M.; DIAS, F. L. F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R. B.; QUAJIO, J. A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, 2008.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. p. 270-276.

CECATO, U.; SANTOS, G. T. dos; MACHADO, M. de A.; GOMES, L. H.; DAMACENO, J. C. JOBIM, C. C.; RIBAS, N. P.; MIRA, R. T.; CANO, C. C. P. Avaliação de cultivares

do gênero *Cynodon* com e sem nitrogênio. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 4, p. 781-788, 2001.

CHAGAS, W. F. T.; GUELFI, D. R.; CAPUTO, A. L. C.; SOUZA, T. L. de; ANDRADE, A. B.; FAQUIN, V. Ammonia volatilization from blends with stabilized and controlled-released urea in the coffee system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.40, n.5, Lavras, 2016.

CHEN, D.; SUTER, H.; ISLAM, A.; EDIS, R. FRENEY, J. R.; WALKER, C. N. Prospects of improving efficiency of fertiliser nitrogen in Australian agriculture: a review of enhanced efficiency fertilisers. **Soil Research**, Roma, v. 46, n. 4, p. 289–301, 2008.

CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 26, p. 21-27, 1990.

CICERA, X.; MASSET, E. Income distribution trends and future food demand. **Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Sciences**, London, v. 365, n. 1554, p. 2821–2834, 2010.

DA SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Ecophysiology of C₄ forage grasse understanding plant growth for optimising their use and management. **Agriculture**, Basileia, v. 5, n. 3. p. 598-625, 2015.

DOBBIE, K. E.; SMITH, K. A. The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 52, n. 4, p. 667–673, 2001.

DOMINGHETTI, A. W.; GUELFI, D. R.; GUIMARÃES, R. J.; CAPUTO, A. L. C.; SPEHAR, K. R.; FAQUIN, V. Nitrogen loss by volatilization of nitrogen fertilizers applied to coffee orchard. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n.2, Lavras, 2016.

DONG, X. X; ZHANG, L. L; WU, Z. J; LI, D. P; SHANG, Z. C; GONG, P. Effects of the nitrification inhibitor DMPP on soil bacterial community in a Cambisol in northeast China. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 13, n. 3, p. 580-591, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, M. A.; CAMPANHARO, M.; PAULA, G. S. Rates of urea with or without urease inhibitor for topdressing wheat. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 73, n. 2, p. 160-167, 2013.

EVANS, J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. **Oecologia**, Berlin, v. 78, n.1, p. 9–19, 1989.

EVERS, G. W.; REDMON, L. A.; PROVIN, T. L. Comparison of bermudagrass, bahiagrass, and kikuyugrass as a standing hay crop. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 4, p. 1370-1378, 2004.

FAGUNDES, J. L.; MOREIRA, A. L.; FREITAS, A. W. de P.; ZONTA, A.; HENRICHES, R. ROCHA, F. C.; BACKES, A. A. e VIEIRA, J. S. Capacidade de suporte de pastagens de capim-tifton 85 adubado com nitrogênio manejadas em lotação contínua com ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 12, p. 2651-2657, 2011.

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. 5, 1677-1684, 2010.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. **Agriculture**, Basileia, v. 5, n.4, p.1146-1171, 2015.

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 20, n. 370, p. 789-799, 2002.

GILSANZ, C.; BÁEZ, D.; MISSELBROOK, T. H.; DHANOA, M. S.; CÁRDENAS, L. M. Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 216, n.1, p. 1–8, 2016.

GNANAVELRAJAH, N. Blending urea with organic materials possessing antimicrobial property on nitrification and ammonia volatilization in a tropical soil. **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 7, n. 6, p. 705-709, 2011.

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**, v. 79, n. 4, p. 491–496, 1999.

GOOS, R. J.; JOHNSON, B. E. Performance of two nitrification inhibitors over a winter with exceptionally heavy snowfall. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, n. 6, p. 1046–1049, 1999.

GOPAL, M.; GUPTA, A.; ARUNACHALAM, V.; MAGU, S. P. Impact of azadirachtin, an insecticidal allelochemical from neem on soil microflora, enzyme and respiratory activities. **Bioresource and Technology**, v. 98, n. 16, p. 3154–3158, 2007.

GOSSE, G.; LEMAIRE, G.; CHARTIER, M.; BALFOURIER, F. Structure of a lucerne population (*Medicago sativa* L.) and dynamics of stem competition for light during regrowth. **The Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 609-617, 1988.

GUILHERME, L. R. G.; VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do solo**: dinâmica e disponibilidade de nutrientes. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1995. 171p.

GUO, Y. J.; DI, H. J.; CAMERON, K. C.; LI, B.; PODOLYAN, A.; MIOR, J. L.; MONAGHAN, R. M.; SMITH, L. C.; O'CALLAGHAN, M.; BOWATTE, S.; WAUGH, M.; HE, JI-ZHENG. Effect of 7-year application of a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD), on soil microbial biomass, protease and deaminase activities, and the abundance of bacteria and archaea in pasture soils. **Journal of Soils and Sediments**, Heidelberg, v. 13, n. 4, p. 753-759, 2013.

HANCOCK, D. **Media distortions about Tifton 85**. The University of Georgia, 2012. Acesso em: 04 mar. 2017. Disponível em: <http://georgiaforages.caes.uga.edu/Ga_Cat_Arc/2012/AFGC1208.pdf>.

HERNANDEZ-GARAY, A.; MATTHEW, C.; HODGSON. Tiller size/density compensation in perennial ryegrass miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 54, n.4, p. 347-356, 1999.

HU, Y.; SCHRAML, M.; TUCHER, S. von; LI, F.; SCHMIDHALTER, U. Influence of nitrification inhibitors on yields of arable crops: a meta-analysis of recent studies in Germany. **International Journal of Plant Production**, Gorgan, v. 8, n. 1, p. 33-50, 2014.

ISLAM, A.; CHEN, D.; WHITE, R. E. Heterotrophic and autotrophic nitrification in two acid pasture soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington, v. 39, n. 4, p. 972-975, 2007.

JOSEPH, P. A.; PRASAD, R. The effect of dicyandiamide and neem cake on the nitrification of urea-derived ammonium under field conditions. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 15, n. 2, p. 149-152, 1993.

KAVANOVÁ, M.; LATTANZI, F.A.; SCHNYDER, H. Nitrogen deficiency inhibits leaf blade growth in *Lolium perenne* by increasing cell cycle duration and decreasing mitotic and post-mitotic growth rates. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 31, n. 6, p. 727-737, 2008.

KUMAR, R.; DEVAKUMAR, C.; SHARMA, V.; KAKKAR, G.; KUMAR, D.; PANNEERSELVAM, P. Influence of physicochemical parameters of neem (*Azadirachta indica* A Juss) oils on nitrification inhibition in Soil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, n. 4, p. 1389-1393, 2007.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n.3, p. 489-496, 1997.

LEMAIRE, G. **Ecophysiology of grassland**: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. Proceedings of the XIX International Grassland Congress, Brazil 01, p. 29–37, 2001.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. F. Tissue fillows in grazed plant communities. In: **The ecology and mangement of grazing sistems**. Oxon: CAB International, 1996. p. 3-36.

LEMAIRE, G.; MILLARD, P. An ecophysiological approach to modelling resource fluxes in competing plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 330, p. 15-28, 1999.

LUO, J.; KLEIN, C. A. M. de; LEDGARD, S. F.; SAGGAR, S. Management options to reduce nitrous oxide emissions from intensively grazed pastures: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 136, n. 3-4, p. 282–291, 2010.

MAJUMDAR, D. Crop yield and soil nitrogen dynamics in an intermittently flooded rice field aff ected by nitrification inhibitors. **Archives of Agronomy and Soil Science**, Abingdon, v. 51, n. 6, p. 645–653, 2005.

MAJUMDAR, D.; PATHAK, H.; KUMAR, S.; JAIN, M. C. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam v. 91, n. 1-3, p. 283–293, 2002.

MALHI, S. S.; GRANT, C. A; JOHNSTON, A. M.; GILL. K. S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 3-4, p. 101-122, 2001.

MALLA, G.; BHATIA, A.; PATHAK, H.; PRASAD, S.; JAIN, N.; SINGH, J. Mitigating nitrous oxide and methane emissions from soil in rice–wheat system of the Indo-Gangetic plain with nitrification and urease inhibitors. **Chemosphere**, Kidlington, v. 58, n. 2, p. 141-147, 2005.

MANDEBVU, P.; WEST, J. W.; HILL, G. M.; GATES, R. N.; HATÑELD, R. D.; MUUINIX, B. G.; PARKS, A. H.; CAUDLE, A. B. Comparison of Tifton 85 and Coastal bermudagrasses for yield, nutrient traits, intake, and digestion by growing beef steers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, n. 6, 1572-1586. 1999.

MARCELINO, K. R. A.; VILELA, L.; LEITE, L. G.; GUERRA, A. F.; Da SILVA-DIOGO, J. M. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de

matéria seca e índice de área foliar de Tifton 85 cultivado no Cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, p. 268-275, 2003.

MATTHEW, C.; LEMAIRE G.; SACKVILLE-HAMILTON N. R.; HERNANDEZ-GARAY A. A. Modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. **Annals of Botany**, London, v., 76, n. 6, p. 579-587, 1995.

MENÉNDEZ, S.; BARRENA, I.; SETIEN, I.; GONZÁLEZ-MURUA, C.; ESTAVILLO, J. M. Efficiency of nitrification inhibitor DMPP to reduce nitrous oxide emissions under different temperature and moisture conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington, v. 53, n. 1, p. 82-89, 2012.

MILLARD, P.; THOMAS, R. J.; BUCKLAND, S. T. Nitrogen supply affects the remobilization of nitrogen for the regrowth of defoliated *Lolium perenne* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 41, n. 8, 941-947, 1990.

MISSELBROOK, T. H.; VAN DER WEERDEN, T. J.; PAIN, B. F.; JARVIS, S. C.; CHAMBERS, B. J.; SMITH, K. A.; PHILLIPS, V. R.; DEMMERS, T. G. M. Ammonia emission factors for UK agriculture. **Atmospheric Environment**, New York, v. 34, n. 6, p. 871-880, 2000.

MOHANTY, S.; PATRA, A. K.; CHHONKAR, P. K.; Neem (*Azadirachta indica*) seed kernel powder retards urease and nitrification activities in different soils at contrasting moisture and temperature regimes. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 99, n. 4, p. 894–899, 2008.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors wich contribute to efficiency to nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 3, p. 562-564, 1982.

MOREIRA, A. L.; FAGUNDES, J. L.; YOSHIHARA, E.; BACKES, A. A.; BARBOSA, L. T.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, L. F. G.; SANTOS, G. F. de A.; SANTOS, M. A. de S. Acúmulo de forragem em pastos de Tifton 85 adubados com nitrogênio e manejados sob lotação contínua. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 6, n.3, suplemento 1, p. 2275-2286, 2015.

MOTA, M. R.; SNAGOI, L.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; DALL'IGNA, L. Fontes estabilizadas de nitrogênio como alternativa para aumentar o rendimento de grãos e a eficiência de uso do nitrogênio pelo milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 512-522, 2015.

MUIR, J. P.; LAMBERT, B. D.; GREENWOOD, A.; LEE, A.; ROJAS, A. Comparing repeated forage bermudagrass harvest data to single, accumulated bioenergy feedstock harvests. **Bioresource technology**, New York, v. 101, n.1, p. 200-206, 2010.

NAKATANI, M.; HUANG, R. C.; OKAMURA, H.; IWAGAWA, T.; TADERA, K. Salannal, a new limonoid from *Melia azedarach* Linn. **Chemistry Letters**, Tokyo, v. 24, n. 1, p. 995-996, 1995.

NALIN DE PAULO, E. **Avaliação do inibidor de nitrificação fosfato 3,4-dimetilpirazol (DMPP) em três solos com gradiente textural, absorção e uso do nitrogênio, em plantas de algodão**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado em Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

OLIVEIRA, A. P. P.; ROSSIELLO, R. O. P.; GALZERANO, L.; COSTA JÚNIOR, J. B. G.; SILVA, R. P. e MORENZ, M. J. F. Respostas do capim-tifton 85 à aplicação de nitrogênio: cobertura do solo, índice de área foliar e interceptação da radiação solar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 62, n. 2, p. 429-438, 2010.

OURRY, A.; BOUCARD, J.; SALETTE J. Partitioning and remobilization of nitrogen during regrowth in nitrogen-deficient ryegrass. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 6, p. 1251-1254, 1990.

PASDA, G; HÄHNDEL, R.; ZERULLA, W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3, 4-dimethylpyrazole phosphate; ENTEC) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. **Biology and Fertility Soils**, Heidelberg, v. 34, n. 2, p. 85-97, 2001.

PATRA, D. D.; ANWAR, M.; CHAND, S.; KIRAN, U.; RAJPUT, D.K. E KUMAR, S. Nimin and *Menthaspicata* oil as nitrification inhibitors for optimum yield of Japanese mint. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, n. 3, p. 451-460, 2002.

PRAKASA RAO, E. V. S.; PRASAD, R. Nitrogen leaching losses from conventional and new nitrogenous fertilizers in low-land rice culture. **Plant and Soil**, The Hague, v. 57, n. 2-3, p. 383-392, 1980.

PREMAZZI, L. M.; MONTEIRO, F. A.; OLIVEIRA, R. F. de. Crescimento de folhas do capim-bermuda Tifton 85 submetido à adubação nitrogenada após o corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 518-526, 2011.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; DA SILVA, A. G.; DE FREITAS, A. R.; VIVALDI, L. J. Adubação nitrogenada em capim-coastcross: efeitos na extração de nutrientes e recuperação aparente do nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.

QUARESMA, J. P. S.; ALMEIDA, R. G.; ABREU, J.G.; OLIVEIRA, M. A.; CARVALHO, D. M. Produção e composição bromatológica do campim-tifton 85 (*Cynodon spp.*) submetido a doses de nitrogênio. **Acta Scientiarum Animal Science**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 145-150, 2011.

QUEIROZ, D. S.; MENEZES, M. A. C.; OLIVEIRA, R. A.; VIANA, M. C. M.; SILVA, E. A.; RUAS, J. R. M. Nitrogen fertilization strategies for xaraes and tifton 85 grasses irrigated in the dry season. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 41, n. 8, p. 1832-1839. 2012.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

ROBERTSON, G. P.; GROFFMAN, P. M. Nitrogen transformation. In: PAUL, E. A. (Ed.). **Soil microbiology, bio-chemistry and ecology**. New York: Springer, 2007. p. 241-364.

SACKVILLE-HAMILTON, N. R.; MATTHEW, C.; LEMAIRE G. Self-thinning: a re-evaluation of concepts and status. **Annals of Botany**, London, v.76, n. 6, 1995, p. 569-577.

SAHRAWAT, K. L. On the criteria for comparing the ability of compounds for retardation of nitrification in soil. **Plant and Soil**, v. 55, n. 3, p. 487-490, 1980.

SANTHI, S. R.; PALANIAPPAN, S. P.; PURUSHOTHAMAN, D. Influence of neem leaf on nitrification in a lowland rice soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 93, n. 1, p. 133-135, 1986.

SANTOS, K. M. **Emissão de óxido nitroso e volatilização de amônia em pastagem de capim-marandu**. 2013. 62 f. Dissertação (Mestrado – Produção Animal Sustentável) – Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, 2013.

SBRISSIA, A. F.; Da SILVA, S. C.; MATTHEW, C.; DE CARVALHO, C. A. B.; CARNEVALLI, R. A.; PINTO, L. F. DE M.; FAGUNDES, J. L.; PEDREIRA, C. G. S. Tiller size/density compensation in grazed Tifton 85 bermudagrass swards. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1459-1468, 2003.

SBRISSIA, A. F.; DA SILVA, S. C. Compensação tamanho/densidade populacional de perfilhos em pastos de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 35-47, 2008.

SHARMA, S. N.; PRASAD, R. Use of nitrification inhibitors (neem and DCD) to increase N efficiency in maize-wheat cropping system. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 44, n. 3, p 169-175, 1996.

SILVA, A. R. da. **Resposta do capim-tifton 85 a doses de N associadas doses e fontes de boro**. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Jaboticabal, 2007.

SILVA, D. R. G.; COSTA, C. A. de P.; FAQUIM, V.; OLIVEIRA, I. P. de; BERNARDES, T. F. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n.1, 184-191, 2013.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P. de; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia, da planta ao medicamento**. 2 ed. Florianópolis: UFSC. 2000.

SOARES, J. R.; CANTARELLA, H.; MENEGALE, M. L de C. Ammonia volatilization losses from surface-applied urea with urease and nitrification inhibitors. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 52, n. 1, p. 82-89, 2012.

SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; SAHRAWAT, K. L.; BERRY, W. L.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M.; RAO, I. M. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems - challenges and opportunities. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v. 25, n. 4, p. 303-335, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954p.

TERMAN, G. L., Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 31, n. 1, p. 189-223, 1979.

THIND, H. S.; SINGH, B.; PANNU, R. P. S.; SINGH, Y.; SINGH, V.; GUPTA, R. K.; VASHISTHA, M.; SINGH, J.; KUMAR, A. Relative performance of neem (*Azadirachta indica*) coated urea vis-à-vis ordinary urea applied to rice on the basis of soil test or following need based nitrogen management using leaf colour chart. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 87, n. 1, p. 1-8, 2010.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, n.50, p. 20260–20264, 2011.

VIANA, P. A.; PRATES, H. T. Desenvolvimento e mortalidade larval de *Spodoptera frugiperda* em folhas de milho tratadas com extrato aquoso de folhas de *Azadirachta indica*. **Bragantia**, Campinas, vol. 62, n. 1, p. 69-74, 2003.

VILELA, J. A. R. **Efeito da utilização de Óleo de nim (*Azadirachta indica*) por via Dérmica e da Moxidectina por via Subcutânea na Prevenção de Infestação por *Dermatobia hominis* (LINNAEUS JR., 1781) (DIPTERA; CUTEREBRIDAE) em Bovinos**. 2008. 53f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Universidade Federal rural do Rio de Janeiro.

VITALE, L.; OTTAIANO, L.; POLIMENO, F.; MAGLIONE, G.; AMATO, U.; ARENA, C.; TOMMASI, P. Di.; MORI, M.; MAGLIULO, L. Effects of 3,4-dimethylpyrazole phosphate-added nitrogen fertilizers on crop growth and N₂O emissions in Southern Italy. **Plant Soil and Environment**, Praga, v. 59, n. 11, p. 517–523, 2013.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; ANDRADE, N. de O. Forrageiras. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem par ao estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. p. 265.

YANG, M.; FANG, Y.; SOL, D.; SHI, Y. Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis. **Scientific Reports**, v. 6, 22075, 2016.

ZAMAN, M.; NGUYEN, M. L.; BLENNERHASSETT, J. D.; QUIN, B. F. Reducing NH₃, N₂O and NO₃⁻ N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 44, n. 5, p., 693-705, 2008.

ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J. D.; SINGH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington, v. 41, n. 6, p. 1270–1280, 2009.