

APROVEITAMENTO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO DE PELA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA UTILIZANDO-SE TÉCNICA DE DILUIÇÃO ISOTÓPICA DE ^{15}N

N. F. da Silva¹, F. N. Cunha², M. B. Teixeira³, F. A. L. Soares⁴, E. C. da Silva⁵,
T. Muraoka⁶

RESUMO: A partir da hipótese de que a fonte e a dose de adubação nitrogenada influencia o aproveitamento de nitrogênio no sistema solo-cana-de-açúcar irrigada, objetivou-se com este estudo avaliar o aproveitamento de nitrogênio de diferentes doses de nitrato de amônio e de ureia pela cana-de-açúcar irrigada, no ciclo de cana-planta, utilizando-se técnica de diluição isotópica de ^{15}N , em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, fase Cerrado. O experimento foi conduzido na Usina Raízen, localizada no município de Jataí-GO, Brasil. Utilizou-se a variedade IACSP95-5000, em um delineamento experimental de blocos ao acaso, analisado em fatorial 4 x 2, com três repetições. Os Tratamentos foram quatro doses de N (30, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); duas fontes de fertilizante marcadas com isótopo ^{15}N (ureia e nitrato de amônio). Os fertilizantes marcados com isótopo ^{15}N foram aplicados em uma microparcela de 1,0 m dentro das parcelas, que continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as duas linhas centrais. A irrigação foi por aspersão, realizada por um pivô central. Foi avaliada a variável aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral, em %. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F ($p < 0,05$), análise de regressão para doses de N e comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para fontes de N. O aproveitamento do nitrogênio foi de 62,39% (133,90 kg ha⁻¹) para a fonte nitrato de amônio e de 42,74% (110,18 kg ha⁻¹) para a ureia.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum spp.*, adubação nitrogenada, recuperação do N, Latossolo.

USE OF SOURCES AND NITROGEN DOSES BY IRRIGATED SUGARCANE, USING A ^{15}N ISOTOPIC DILUTION TECHNIC

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, Laboratório de Hidráulica e Irrigação do IF Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde - GO. Email: nelmiciofurtado@gmail.com

² Eng. Agrônomo, Doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde - GO. Email: fernandonobrecunha@hotmail.com

³ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, IF Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde – GO. Email: marconibt@gmail.com

⁴ Eng. Agrônomo, Prof. Dr. em Agronomia, IF Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde – GO. Email: fredalsoares@hotmail.com

⁵ Pós-doutorando em Ciências Agrárias - Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde - GO. Email: edsoncabralsilva@gmail.com

⁶ USP/CENA, Piracicaba - SP. Email: muraoka@cena.usp.br

ABSTRACT: From the hypothesis that the source and the dose of nitrogen fertilization influence the nitrogen utilization in the irrigated soil-sugarcane system, this study aimed to evaluate the nitrogen utilization of different doses of ammonium nitrate and urea by irrigated sugarcane in the cane-plant cycle, using a ^{15}N isotopic dilution technic in a clayey dystrophic Red Latosol, Cerrado phase. The experiment was conducted at the Raízen Mill, located in the municipality of Jataí-GO, Brazil. The variety IACSP95-5000 was used in a randomized block design, analyzed in a 4 x 2 factorial, with three replicates. Treatments were four doses of N (30, 60, 120 and 180 kg ha⁻¹); Two fertilizer sources marked with ^{15}N isotope (urea and ammonium nitrate). Fertilizers labeled with ^{15}N isotope were applied in a 1.0 m microparticle within the plots, containing 6.0 rows of 5.0 m, whose useful area were the two central lines. The irrigation was by sprinkling, performed by a central pivot. Was evaluated the variable nitrogen utilization of the mineral fertilizer, in %. The results were submitted to analysis of variance by the F test ($p < 0.05$), regression analysis for N doses and Tukey test comparison ($p < 0.05$) for N sources. Nitrogen was 62.39% (133.90 kg ha⁻¹) for the ammonium nitrate source and 42.74% (110.18 kg ha⁻¹) for urea.

KEYWORDS: *Saccharum* spp., Nitrogen fertilization, N recovery, Latosol.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é cultivada no Brasil com aplicação de doses de N-fertilizante muito inferiores às de outros países produtores de cana-de-açúcar (CANTARELLA et al., 2007). A adubação nitrogenada pode promover aumento da produtividade em cana-planta (FORTES et al., 2013; FRANCO et al., 2010). No entanto, em geral a resposta é pequena e ocorre em doses baixas, principalmente em virtude da incorporação de resíduos culturais e melhorias nas condições de fertilidade do solo com a reforma e replantio do canavial (CANTARELLA et al., 2007; FRANCO et al., 2007; VITTI et al., 2007).

Estudos com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ^{15}N , desenvolvidos em várias partes do mundo, evidenciaram que o aproveitamento do N de fertilizantes aplicados ao solo pela cultura da cana-de-açúcar poderia variar entre 10 e 50%, dependendo das condições de solo, clima e de manejo da cultura (TAKAHASHI, 1967; RUSCHEL et al., 1978; BITTENCOURT et al., 1986).

A recuperação, eficiência de utilização ou aproveitamento do N pelas plantas, pode ser determinada pelo método da diferença ou indireto ou pelo método isotópico ou direto, com o

uso do isótopo estável ^{15}N . A grande vantagem da técnica isotópica é a exclusiva possibilidade de separar nas várias partes da planta a fração de um nutriente proveniente do fertilizante, daquele do solo, permitindo avaliar com maior precisão os efeitos dos tratamentos sobre a planta. Na maioria dos trabalhos com uso de fertilizantes minerais nitrogenados marcados com ^{15}N , a recuperação do nutriente pela cana-de-açúcar situa-se em torno de 40% (COURTAILLAC et al., 1998). Com isso, a realização do balanço de nitrogênio, com uso de fertilizantes marcados com ^{15}N tem sido de muita valia em estudos das transformações do N no sistema solo-cana-de-açúcar, bem como para a recomendação manejos mais adequados (dose, fonte e época de aplicação) de fertilizantes.

Os isótopos estáveis podem ser usados nas avaliações de fertilidade e nutrição de plantas possibilitando o seguimento do nutriente em estudo nas várias partes das plantas. E assim, apresentam vantagem sobre os métodos convencionais, permitindo determinações de quantidades inferiores aos limites de detecção dos métodos tradicionais.

A técnica tem como objetivo fornecer um produto com composição isotópica diferente da que ocorre naturalmente do elemento em estudo. Considerando o princípio de que elementos existentes na natureza que possuam N em sua composição terão 0,3663% átomos de ^{15}N , sendo composto em sua maior parte por ^{14}N . Desta forma, se consegue determinar qual a contribuição de uma determinada fonte se ela for enriquecida artificialmente com ^{15}N (ALVES et al., 2005).

A partir da hipótese de que a fonte e a dose de adubação nitrogenada influencia o aproveitamento de nitrogênio no sistema solo-cana-de-açúcar irrigada, objetivou-se com este estudo avaliar o aproveitamento de nitrogênio de diferentes doses de nitrato de amônio e de ureia pela cana-de-açúcar irrigada, no ciclo de cana-planta, utilizando-se técnica de diluição isotópica de ^{15}N , em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, fase Cerrado.

MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, em área da Fazenda Rio Paraíso II, pertencente à Usina Raízen, no município de Jataí, GO. As coordenadas geográficas do local são $17^{\circ}44'2.62''\text{S}$ e $51^{\circ}39'6.06''\text{O}$, com altitude média de 907 metros. Segundo a classificação de Köppen & Geiger (1928), o clima do local é do tipo Aw, tropical, com chuva nos meses de outubro a abril, e seca nos meses de maio a setembro. A temperatura máxima oscila de 35° a 37°C , e a mínima de 12° a 15°C (no inverno há ocorrências de até 5° graus). A

precipitação anual chega a 1.800 mm aproximadamente, porém mal distribuídas ao longo do ano, conforme os dados climáticos dispostos na Figura 1.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, muito argiloso, fase cerrado (EMBRAPA, 2013). As características químicas, físico-hídricas, granulométricas e classificação textural estão descritas na Tabela 1.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, analisado em fatorial 4 x 2, com três repetições. Os tratamentos foram quatro doses de fertilizante marcado com isótopo ^{15}N (30, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹); duas fontes de fertilizante marcado com isótopo ^{15}N (ureia e nitrato de amônio).

A adubação nitrogenada foi de acordo com os tratamentos, aos 60 dias após o plantio. Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo P₂O₅ (100 kg ha⁻¹) na forma de superfosfato triplo, potássio K₂O (80 kg ha⁻¹) na forma de cloreto de potássio, e micronutrientes, conforme resultados das análises de solo e recomendação de Sousa & Lobato (2004).

Os fertilizantes ureia e nitrato de amônio foram enriquecidos, respectivamente, com 1,91 e 1,18% de isótopo ^{15}N e aplicados a lanço em uma microparcela de 1,0 m localizada centralizada na segunda linha dentro das parcelas que continham 6,0 linhas de 5,0 m, cuja área útil foram as 2,0 linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 1,5 m em cada extremidade.

O preparo do solo foi realizado pelo sistema convencional, por meio de aração e gradagem, seguido de abertura dos sulcos de plantio mecanizado dos toletes. A variedade escolhida para ser implantada no experimento foi a IACSP95-5000, nas condições de cana-planta, plantada em 05/08/2014.

Os tratos culturais referentes ao uso de herbicidas, inseticidas, fungicidas e demais produtos relacionados com o controle de plantas invasoras, pragas e doenças foram utilizados conforme a necessidade e avaliação de infestação, e de acordo com a experiência da Usina Raízen.

A irrigação foi realizada por um Pivô central marca ZIMMATIC, modelo PC 08-64/03-647/01-646/L4 + AC, em aço galvanizado, baixa pressão, com 12 torres de sustentação, com uma área total irrigada de 139,31 ha, velocidade de 268 m h⁻¹ na última torre, aplica uma lâmina bruta mínima para uma volta a 100% de 1,35 mm. A tubulação adutora possui 800 m de comprimento, com diâmetro de 162,2 mm feito em PVC de 150/60. Pressurizado por uma bomba simples IMBIL modelo ITA 100-400, com vazão prevista de 128,99 m³ h⁻¹, e pressão prevista de 63,90 mca, rotação de 1750 rpm e potência do motor de 47,49 CV.

O monitoramento da lâmina de irrigação foi realizado de acordo com a experiência da Usina Raízen. Durante o ciclo da cultura, diariamente foram coletados os dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima (°C), umidade relativa máxima e mínima (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar (kJ m^2) e precipitação diária (mm), obtidos através da estação da meteorológica da Usina Raízen.

A partir da coleta destes dados, foi gerado o balanço hídrico e o balanço de água no solo com o auxílio de um software de gerenciamento de irrigação (IRRIGER®). No software, o monitoramento climático é utilizado para estimar o consumo hídrico diário da cana-de-açúcar, gerando o balanço hídrico diário e calculando a lâmina de irrigação a ser aplicada, permitindo o controle do momento adequado para irrigar. O software utiliza o método de Penman-Monteith (Padrão FAO, 1991), adaptado por Allen et al. (1989) para a estimativa da evapotranspiração em escala diária, com os dados micrometeorológicos de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Foi realizado o monitoramento do °Brix da cana-de-açúcar em campo, nas quatro últimas semanas antes da colheita. Para a determinação racional do ponto de colheita da cana-de-açúcar, utilizou-se o parâmetro conhecido como Índice de Maturação (IM) determinado em campo, utilizando-se um refratômetro portátil. Os valores de IM são: (a) menor que 0,60 para cana verde; (b) entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação; (c) entre 0,85 e 1 para cana madura; e (d) maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose (ROSSETO, 2012).

A colheita foi realizada em 25/08/2015, a produtividade de colmo e ponteiro foi determinada através da pesagem total dos colmos presentes nas respectivas parcelas, quantificado o peso dos colmos e ponteiros em 2 m das duas linhas centrais, cujo valor foi extrapolado para t ha^{-1} . Para tanto, realizou-se o corte o mais rente possível do solo. Os colmos foram então despalhados e tiveram o ponteiro destacado. Em seguida, foram pesados em balança digital tipo gancho, marca Soil Control (precisão = 0,02 kg), com capacidade de 50 kg. Foi determinado o número de perfilhos industrializáveis médio por metro linear através da contagem do número de plantas em 5 m das duas linhas centrais das parcelas.

Foram coletadas as plantas centrais de cada linha das microparcelsas, na época da colheita dos colmos. As plantas foram pesadas e colocadas para secar e coletadas amostras de colmos e ponteiros, que foram utilizados para determinar a concentração de ^{15}N na cana-de-açúcar. As amostras foram fragmentadas, misturadas e retiradas. A seguir, foram secas a 65°C por 72 horas, depois finamente moídas em peneira de 40 mesh, pesadas em balança de precisão (cinco casas decimais) e determinados do teor N total e da abundância de ^{15}N . As

determinações do N-total e da abundância em ^{15}N no material vegetal no Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, em espectrômetro de massa (IRMS), acoplado a analisador automático 20-20 ANCA-SL, da Europa Scientific, Crewe, conforme metodologia descrita em Barrie & Prosser (1996).

A recuperação do N do fertilizante foi calculada considerando-se a quantidade e o respectivo enriquecimento (% de átomos de ^{15}N) das fontes de N aplicadas (ureia e nitrato de amônio), descontados da abundância natural do isótopo estável de ^{15}N , que é de 0,3663% conforme as equações a seguir:

Aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral

$$AP = \frac{Q_{ppf}}{QNA} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

Q_{Nppf} = quantidade de nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (kg ha^{-1});

QNA = quantidade de nitrogênio aplicado sob a forma de fertilizante marcado (kg ha^{-1}).

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, e em casos de significância, foi realizada análise de regressão para os níveis de adubação nitrogenada e teste de média Tukey a 5% de probabilidade para o fator fonte de nitrogênio, utilizando-se o software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância, observa-se que houve interação significativa entre os fatores fonte e dose para variável aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral, o que evidencia que o efeito da fonte de adubação nitrogenada foi dependente da dose de N aplicada à cana-de-açúcar (Tabela 2).

No desdobramento do fator dose para cada fonte de adubação nitrogenada para a variável aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) pelo colmo, observa-se aumentos de 16,02 e 7,72%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 5A). Já no ponteiro, observa-se aumentos de 8,58 e 7,71%, respectivamente, para nitrato de amônio e ureia (Figura 5B). Esses resultados mostram que houve um maior favorecimento do colmo e que a menor parte do nitrogênio na planta é oriunda do fertilizante, sendo que a fonte nitrato de amônio contribuiu para maior porcentagem de aproveitamento de nitrogênio pela planta. Resultados encontrados por Franco et al. (2008) mostram que a distribuição do N proveniente

do fertilizante nas diversas partes da planta não variou com a dose de N, sendo em média de 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes. A recuperação média do fertilizante foi de 21%, sem diferenças significativas entre variedades. Essa recuperação foi menor que os 55% obtidos por Vitti et al. (2007); 31% por Fortes et al. (2011) e cerca de 30% por Franco (2008), e ficou dentro da variação de 15 a 42% observada por Oliveira et al. (2011), em diferentes variedades. O maior aproveitamento do N pode ser explicado pela maior umidade do solo no sistema irrigado que, possivelmente, permitiu uma diminuição das perdas de N por volatilização de amônia, além da maior quantidade de fertilizante aplicada, uma vez que, a menor recuperação pode ser resultado de diversos fatores, como a pouca umidade nos primeiros meses de cultivo, a pequena quantidade de fertilizante aplicada nas parcelas imobilização do N (BASANTA et al., 2003) e perdas por volatilização de NH_3 , que pode atingir até 46% (VITTI et al., 2007) ou por lixiviação depois de iniciadas as chuvas (FRANCO et al., 2008).

O uso da técnica do traçador isotópico ^{15}N para mensurar a absorção do N-fertilizante pela planta tem relatado baixa recuperação do N pela cana-de-açúcar derivado dos fertilizantes minerais. De acordo com Franco et al. (2011), durante as fases iniciais da cana-de-açúcar, o N-fertilizante é a principal fonte do nutriente à cultura, o que representa mais de 70% do N extraído pelas plantas. No entanto, a cana-de-açúcar é uma cultura semiperene, permanecendo no campo por pelo menos 12 meses. A recuperação do N fertilizante diminui ao longo do ciclo e, no momento da colheita, atinge valores que variam de 5% a 42% (VITTI et al., 2007; FRANCO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2011). No entanto, para Otto et al. (2013) e Vieira-Megda et al. (2015) na colheita da cana-de-açúcar, a participação do N fertilizante no N total da planta se reduz significativamente e em muitos estudos não apresenta resposta à adubação com as doses de N.

No desdobramento do fator fonte para cada dose de adubação nitrogenada para a variável aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) pelo colmo, observa-se que houve aproveitamento do N do nitrato de amônio nas doses de 60, 120 e 180 kg ha^{-1} de N, correspondendo a aproveitamentos de até 7,55, 5,04 e 11,05% em relação a ureia. Já pelo ponteiro, observa-se que houve um maior aproveitamento de N do nitrato de amônia nas doses de 30, 120 e 180 kg ha^{-1} de N, correspondendo a aproveitamentos de 3,11, 4,56 e 7,15% em relação à ureia (Tabela 3). Esses resultados mostram que o aproveitamento do N oriundo da fonte nitrato de amônio foi maior tanto no colmo como no ponteiro. Resultados encontrados por Franco et al. (2008) mostram que a recuperação de ^{15}N -ureia pela cana-planta (planta toda) foi na média dos experimentos de 30, 30 e 21%, respectivamente, para as doses e 40, 80

e 120 kg ha⁻¹ de N e a menor recuperação do N-ureia nas maiores doses, na de 120 kg ha⁻¹, deveu-se às perdas de N do sistema solo-planta. Vitii et al. (2007) no balanço do ¹⁵N-fertilizante, obtiveram recuperação no sistema solo-planta do N sulfato de amônio e da ureia, em média, 74 e 55%, respectivamente. A distribuição das raízes, o teor de umidade, a taxa de desenvolvimento das plantas, os conteúdos de NH₄⁺ e NO₃⁻ em solução no solo, são os fatores que influenciam no aproveitamento do N-mineral pelas plantas (RICHARDSON et al., 2009).

CONCLUSÕES

O aproveitamento do nitrogênio foi de 62,39% (133,90 kg ha⁻¹) para a fonte nitrato de amônio e de 42,74% (110,18 kg ha⁻¹) para a ureia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); a Usina Raízen unidade Jataí, GO; ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) ESALQ/USP e ao IF Goiano – Campus Rio Verde, GO, pelo apoio financeiro e estrutural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRIE, A.; PROSSER, S.J. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometry. In: BOUTTON, T.W.; YAMASAKI, S. (Ed.). Mass Spectrometry of soils. New York: Marcel Dekker, 1996, p.1-46.

BASANTA, M. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA T. T.; CORRECHEL, V.; CASSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. Geoderma, v.116, n.12, p.235-248, 2003.

BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.5, n.1, p.26-33, 1986.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p.355-412.

COURTAILLAC, N.; BARAN, R.; OLIVER, R.; CASABIANCA, H. & GANRY, F. Efficiency of nitrogen fertilizer in sugarcane-vertical system in Guadeloupe according to growth and ratoon age of the cane. *Nut. Cycl. Agroecosys.*, 52:9-17, 1998.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. 353 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.46, n.3, p.287-293, 2011.

FORTES, C.; OCHEUZE TRIVELIN, P. C.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; JUNQUEIRA FRANCO, H. C.; FARONI, C. E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v. 48, n. 1, p. 88-96, 2013.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Stalk yield and technological attributes of planted cane as related to nitrogen fertilization. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 5, p. 579–590, 2010.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p. 2763-2770, 2008.

FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Estoque de Nutrientes em Resíduos Culturais Incorporados ao Solo na Reforma de Áreas com Cana-de-Açúcar. *STAB-Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 25, n. 6, p. 32–36, 2007.

FRANCO, H.C.J.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, E.C.A.; TRIVELIN, P.C.O. Nitrogen in sugarcane derived from fertilizer under Brazilian field conditions. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 121, p. 29-41, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A. DE; FREIRE, OLIVEIRA, F. J.; R. I. DE; OLIVEIRA, A. C. DE; FREIRE, M. B. G. DOS S. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza. Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar. vol.42 nº.3, 2011.

OTTO, R.; MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; TRIVELIN, P.C.O. Quantifying soil mineralization to improve fertilizer nitrogen management of sugarcane. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 49, p. 893-904, 2013.

RICHARDSON, A.E.; BAREA, J.M.; MCNEILL, A.M.; PRIGENT-COMBARET, C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, The Hague, v. 321, p. 305–339, 2009.

RUSCHEL, A.P.; MATSUI, E.; ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. Closed system nitrogen balance studies in sugarcane utilizing ¹⁵N-ammonium sulfate. In: *International society of sugar cane technologists congress*, 16., São Paulo, 1977. *Proceedings...* São Paulo: ISSCT, 1978. p.1539-1547.

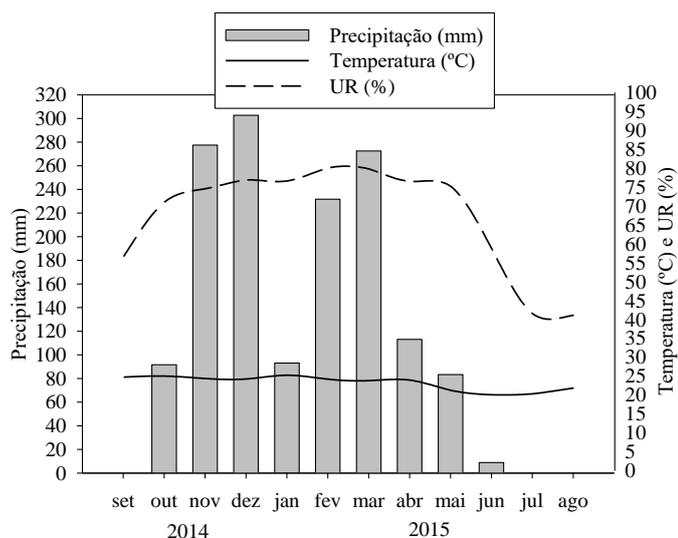
TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of ¹⁵N. I. Summer and fall plant and a ratoon crops on the Hamakua coast of Hawaii. *Hawaiian Planter's Record*, v.57, n.3, p.237-266, 1967.

VIEIRA-MEGDA, M.X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; MEGDA, M.M.; KHAN, S.A.; MULVANEY, R.L.; TRIVELIN, P.C.O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v. 101, p. 241-257, 2015.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.2, p.249-256, 2007.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.2, p.249-256, 2007.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; FRANCO, H.C.J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, n.2, p.249-256, 2007.



Fonte: Estação Normal INMET – Jataí - GO.

Figura 1. Dados mensais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar no período decorrente do experimento, Jataí – GO, 2015.

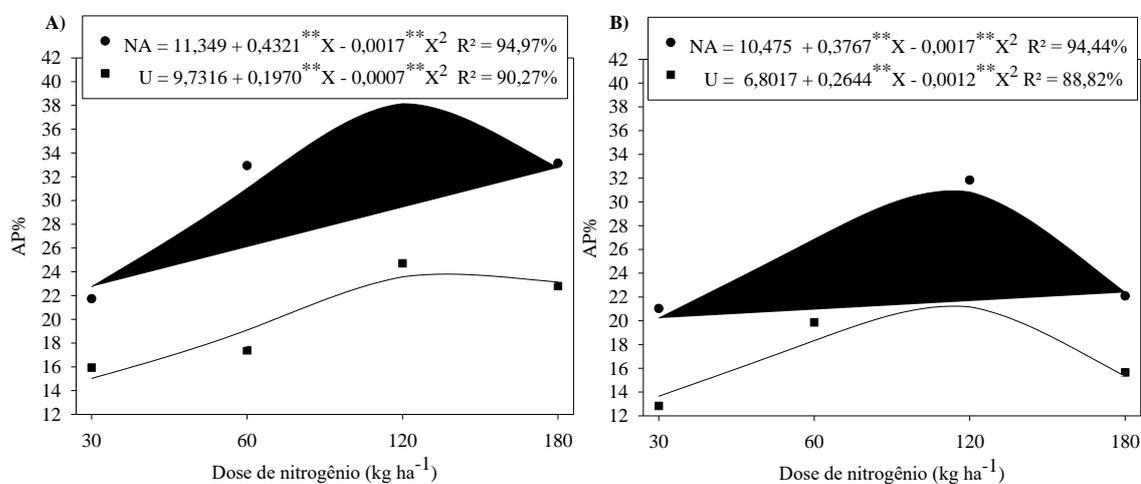
Tabela 1. Características químicas, físico-hídricas, granulométricas e classificação textural do solo da área experimental, nas camadas de 0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,40 m de profundidade

| Camada (m) | pH CaCl ₂ | M.O. (g kg ⁻¹) | P -- (mg dm ⁻³) | S -- (mg dm ⁻³) | K | Ca | Mg | Al | H+Al | CTC | V (%) |
|------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|------------------------|----|-----|------|-------|-------|
| 0–0,10 | 5,9 | 7,2 | 45 | 9,9 | 53 | 22 | <1 | 22 | 13 | 106,9 | 79 |
| 0,10–0,20 | 5,6 | 4,6 | 13 | 12,1 | 31 | 12 | <1 | 28 | 26 | 83,1 | 66 |
| 0,20–0,40 | 5,2 | 4,1 | 8 | 8,9 | 15 | 6 | <1 | 31 | 91 | 60,9 | 49 |
| Camada (m) | B | | Cu | | Fe | Mn | | Zn | | | |
| | ----- mg dm ⁻³ ----- | | | | | | | | | | |
| 0–0,10 | 0,28 | | 1,2 | | 39 | 3,4 | | 2,1 | | | |
| 0,10–0,20 | 0,17 | | 1,6 | | 36 | 1,6 | | 1,0 | | | |
| 0,20–0,40 | 0,12 | | 1,4 | | 25 | 0,7 | | 0,3 | | | |
| Camada (m) | Granulometria (g kg ⁻¹) | | | CC | PMP | Classificação textural | | | | | |
| | Areia | Silte | Argila | ----- % ----- | | | | | | | |
| 0–0,10 | 96 | 82 | 822 | 46,3 | 22,6 | Muito argiloso | | | | | |
| 0,10–0,20 | 97 | 82 | 822 | 45,8 | 22,6 | Muito argiloso | | | | | |
| 0,20–0,40 | 85 | 71 | 845 | 45,8 | 22,6 | Muito argiloso | | | | | |

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis aproveitamento do nitrogênio (AP%) do fertilizante mineral em função da fonte e dose de adubação nitrogenada, Jataí – GO, safra 2014/15

| FV | GL | AP% | |
|-----------------|----|--------------------|----------------------|
| | | Colmo | Ponteiro |
| | | Quadrados médios | |
| Fonte (F) | 1 | 222,34** | 57,29** |
| Dose (D) | 3 | 171,30** | 65,59** |
| Interação F x D | 3 | 28,41** | 24,82** |
| Bloco | 2 | 6,21 ^{ns} | 0,2048 ^{ns} |
| Resíduo | 14 | 5,56 | 2,9012 |
| CV (%) | | 8,39 | 9,12 |

^{ns} não significativo; **, * significativo respectivamente a 1% e 5% de significância segundo teste F. FV – Fontes de variação; GL – Grau de Liberdade e CV – Coeficiente de Variação.



** significativo respectivamente a 1% de probabilidade segundo teste F.

Figura 5. Aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) em função da dose de adubação nitrogenada (A) Colmo e (B) Ponteiro, Jataí – GO, safra 2014/15.

Tabela 3. Médias de aproveitamento do nitrogênio do fertilizante mineral (AP%) nas diferentes fontes de nitrogênio, Jataí – GO, safra 2014/15

| Fonte | AP% | | | |
|-------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30 kg ha ⁻¹ | 60 kg ha ⁻¹ | 120 kg ha ⁻¹ | 180 kg ha ⁻¹ |
| | Colmo | | | |
| Ureia | 21,02 | 25,37 b | 31,83 b | 22,08 b |
| Nitrato de amônio | 21,72 | 32,92 a | 36,87 a | 33,13 a |
| | Ponteiro | | | |
| Ureia | 12,83 b | 17,39 | 20,15 b | 15,65 b |
| Nitrato de amônio | 15,94 a | 19,86 | 24,71 a | 22,80 a |

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo teste Tukey a 5% de probabilidade.