

Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular

André Cesar Vitti⁽¹⁾, Paulo Cesar Ocheuze Trivelin⁽¹⁾, Glauber José Castro Gava⁽²⁾, Claudimir Pedro Penatti⁽³⁾,
Isabela Rodrigues Bologna⁽¹⁾, Carlos Eduardo Faroni⁽¹⁾ e Henrique Coutinho Junqueira Franco⁽¹⁾

⁽¹⁾Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Av. Centenário, nº 303, Caixa Postal 96, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. E-mail: acvitti@cena.usp.br, pcotrive@cena.usp.br, irbologn@carpa.ciagri.usp.br, cfaroni@cena.usp.br, hjfranco@cena.usp.br ⁽²⁾APTA Regional, Pólo Regional de Desenvolvimento do Centro Oeste Paulista, Caixa Postal 96, CEP 17340-000 Jaú, SP. E-mail: ggava@apta regional.sp.gov.br ⁽³⁾Centro de Tecnologia Canavieira, Faz. Santo Antônio, Bairro Santo Antônio, Caixa Postal 0162, CEP 13400-970 Piracicaba, SP. E-mail: claudimir@ctc.com.br

Resumo – O trabalho foi desenvolvido, durante duas safras agrícolas, com colheita da cana-de-açúcar sem queima, a fim de avaliar o efeito residual da adubação nitrogenada da 2ª soca (safra 1999/2000), e o efeito do N e S do sistema radicular da cultura na produtividade do ciclo agrícola subsequente (3ª soca – safra 2000/2001). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos da safra 1999/2000 foram 0, 35, 70, 105, 140 e 175 kg ha⁻¹ de N com a fonte nitrato de amônio, aplicada sobre a palha. Na 3ª soca aplicaram-se 100 kg ha⁻¹ de N em todos os tratamentos da safra anterior (2ª soca). Nas parcelas, no primeiro ano, foram inseridas microparcelas que receberam o fertilizante nitrato de amônio marcado em ¹⁵N na fração amônio. As doses de N proporcionam efeito linear altamente significativo na produtividade de colmos da 2ª soca e esse efeito mantém-se na 3ª soca, mesmo sendo aplicada uma única dose de N; a adubação nitrogenada e o conteúdo de N e S do sistema radicular correlacionam-se positivamente com a produtividade da cana-de-açúcar na safra seguinte.

Termos para indexação: *Saccharum*, isótopo ¹⁵N, nitrato de amônio, enxofre, soqueira.

Sugar cane yield related to the residual nitrogen from fertilization and the root system

Abstract – The work was carried out between two harvesting seasons, without burn, to evaluate the residual effect of the nitrogen fertilization on the 2nd ratoon crop of sugar cane (harvest 1999/2000), and the effect of N and S content in the root system on the following productivity of the next cycle (3rd ratoon crop – harvest 2000/2001). The experiment design was in randomized blocks with six treatments and four replications. The harvest 1999/2000 treatments were 0, 35, 70, 105, 140 and 175 kg ha⁻¹ of N as ammonium nitrate, which was applied over the stove. In the 3rd ratoon crop 100 kg ha⁻¹ of N were applied in all the treatments of the previous harvest season. The first year plots contained microplots, which received the ammonium nitrate labeled with ¹⁵N in the ammonium fraction. N doses showed high significant linear effect in the cane production of the 2nd ratoon crop as well as on the next harvest season (3rd ratoon crop) even applied in a unique N dose; nitrogen fertilization and N and S content of the root system were positively related with the sugar cane productivity in the next harvest season.

Index terms: *Saccharum*, isotope ¹⁵N, ammonium nitrate, sulfur, ratoon crop.

Introdução

A cana-de-açúcar é uma cultura semiperene por possibilitar várias colheitas ou cortes depois de cada reforma realizada no canavial. Sob este aspecto, deve-se examinar os benefícios que as adubações e a palha deixada na superfície do solo, após as colheitas sem queima, poderão proporcionar com o passar do tempo.

Na maioria dos estudos de resposta à adubação com nitrogênio em cana-de-açúcar, tanto em cana-planta quanto em soqueiras, as fertilizações foram avaliadas pela produção apenas no ciclo agrícola ou ano-safra em que a adubação foi realizada. A cana-de-açúcar vem sendo considerada uma cultura anual, com raros trabalhos como o de Orlando Filho et al. (1999), que mantiveram as parcelas experimentais por quatro anos

consecutivos no campo. Nesse trabalho foi avaliado o efeito cumulativo de adubações com doses crescentes de N, 0, 60 e 120 kg ha⁻¹, com uréia, URAN e nitrato de amônio, na produtividade da cana-planta e três socas consecutivas, obtendo-se aumento de 20 e 30% para doses de 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, em relação à testemunha. Malavolta (1994) menciona resultados não publicados, nos quais verificou o efeito indireto da adubação nitrogenada no plantio da cana-de-açúcar na produtividade das rebrotas.

Os técnicos que trabalham em usinas produtoras de cana sabem que se não for feita a adubação dos canaviais (soqueiras) com N em determinado ano, a produtividade naquela safra não será afetada de forma marcante, mas o efeito ocorrerá nos anos seguintes, com reflexo na longevidade da soqueira. Orlando Filho et al. (1999) constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana-planta ao N se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com adubação e sem adubação nitrogenada. O manejo inadequado de um canavial, especialmente da adubação nitrogenada, pode resultar tanto em redução da produtividade da cultura quanto na sua longevidade, reduzindo, por conseguinte, o número de colheitas ou cortes entre as reformas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o conteúdo de N e S do sistema radicular de uma soqueira de cana-de-açúcar em canavial sem queima, e o efeito residual da adubação nitrogenada (safra 1999/2000) na produtividade da cultura no ciclo subsequente (safra 2000/2001).

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em campo nos anos agrícolas 1999/2000 e 2000/2001. A implantação foi realizada em uma área comercial de cana-de-açúcar de terceiro corte (2ª soca – safra 1999/2000), colhida mecanicamente e sem a prévia despalha a fogo. A área de produção pertence à Usina São Luiz (Grupo Dedini/S.A.), situada no Município de Pirassununga, SP, a 21°55'54"S e 47°10'54"W.

A cultivar de cana-de-açúcar utilizada foi SP 81-3250, com aceitação por suas características agrônômicas, de bom desenvolvimento em ambiente de produção de média a baixa fertilidade do solo, alto teor de açúcar e produtividade.

O solo do ensaio foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 1999) (composição granulométrica de 861 e 139 g kg⁻¹, respectivamente, de areia e argila) cujas características químicas de amostras obtidas na camada de 0–20 cm e nas entrelinhas da cultura foram: pH (CaCl₂) 5,2; 7,0 mg dm⁻³ de P (resina); 8,0 mg dm⁻³ de S-SO₄⁻²; 0,5 mmol_c dm⁻³ de K; 14,0 mmol_c dm⁻³ de Ca; 4,0 mmol_c dm⁻³ de Mg; 37,5 mmol_c dm⁻³ de CTC e 50% de V. Nas camadas do solo de 40–60 cm e de 60–80 cm, os teores de S na forma de SO₄⁻² (S-SO₄⁻²) foram, respectivamente, de 25 e 50 mg dm⁻³. Antes da instalação do experimento, o solo apresentava cobertura de palha de 14 t ha⁻¹ de matéria seca, contendo 62 kg de N.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. O primeiro ano do experimento (2ª soca – safra 1999/2000) consistiu de cinco doses de N: 35, 70, 105, 140 e 175 kg ha⁻¹, com a fonte nitrato de amônio (NA) aplicada em faixa, nos dois lados da linha de cana-de-açúcar, e sobre a palha. Incluiu-se um tratamento testemunha sem fertilização com N mineral. No primeiro ano, dentro de cada parcela, foram instaladas microparcels, que receberam os fertilizantes marcados em ¹⁵N. Na safra seguinte (3ª soca – safra 2000/2001), o experimento foi reinstalado no mesmo local, preservando-se as localizações das parcelas do ano anterior, mas aplicando dose única de N (100 kg ha⁻¹) com a fonte URAN, adubo líquido com 50% em ambas as formas de uréia e de nitrato de amônio, mesmo nas microparcels que receberam fertilizante marcado com ¹⁵N.

A área de cada parcela foi de 225 m², constituída de dez segmentos de linhas de soqueira, com 15 m de comprimento e espaçadas em 1,5 m. As microparcels apresentaram dimensões de 2 m de comprimento e 1,5 m de largura, totalizando 3 m². A fonte NA teve sua marcação com ¹⁵N apenas no amônio (3,50% em átomos). As microparcels foram cobertas com tela de náilon, com cerca de 3 cm de diâmetro, a fim de evitar o revolvimento da palha pelo vento, bem como a entrada de outro material externo à área delimitada. Em todas as parcelas, foram aplicados 150 kg ha⁻¹ de K, com as fontes de N.

A fim de avaliar a produção de colmos de cana-de-açúcar por hectare (TCH), nas colheitas realizadas em agosto de 2000 e 2001, foram colhidas as plantas de três fileiras paralelas de dois metros cada, e os valores foram expressos em t ha⁻¹. As análises tecnológicas de colmos foram desenvolvidas no Centro de Tecnologia

Canavieira, em Piracicaba, SP (Caldas, 1998). A quantidade de açúcares totais, ou a pol da cana (PC em t ha⁻¹), foi obtida pelo produto entre a pol da cana (%) e a produtividade de colmos (t ha⁻¹), sendo o valor do produto dividido por 100.

No metro central das microparcelsas e na mesma posição nas fileiras adjacentes, realizou-se colheita manual da parte aérea da cana-de-açúcar, conforme método definido por Trivelin et al. (1994), separando-se a planta em folhas secas, ponteiros, colmos e sistema radicular (raízes e rizomas). Colheu-se também toda a palha remanescente da superfície, com pedaços menores de palha misturados ao solo. Esse material foi separado por peneira de malha de 1 mm, quantificando-se, assim, a massa total residual. Depois de homogeneizado, retirou-se uma subamostra, que foi moída para determinações do N total e abundância de ¹⁵N, por espectrometria de massa (átomos %) (Barrie & Prosser, 1996), quantificando-se o ¹⁵N presente na palha residual. Sua presença na palha residual pode ser decorrente da imobilização do fertilizante pelos microrganismos do solo ou da presença de raízes da cana-de-açúcar marcadas em ¹⁵N, que se desenvolveram junto à palha (composição isotópica natural 0,366% de átomos de ¹⁵N), respectivamente, resultando em seu enriquecimento.

A cada 20 cm e até a camada de 40–60 cm, todo o solo foi peneirado na separação do sistema radicular, homogeneizado e amostrado. Nas demais profundidades (60–80 cm e 80–110 cm), foram feitas tradagens em seis pontos ao acaso (três em cada lado da linha) na parte central da subparcela, de modo que os procedimentos de coleta fossem sistemáticos em todas as microparcelsas. As amostras de solo, depois de secadas ao ar, foram homogeneizadas e moídas finamente em moinhos de bola para posteriores determinações químicas e isotópicas (N total e abundância de ¹⁵N em porcentagem de átomos). Simultaneamente determinou-se a umidade do solo. A estratificação do solo em diferentes profundidades teve como objetivo avaliar o efeito residual do fertilizante marcado em ¹⁵N, nessas camadas. Colheu-se todo o sistema radicular (colmo subterrâneo-rizomas e raízes) localizado no centro da subparcela com ¹⁵N, em trincheira de 1 m de comprimento por 1,5 m de largura e 0,6 m de profundidade.

Depois da colheita, determinou-se a massa úmida de todo o material vegetal: colmo, ponteiro, folha seca e sistema radicular, sendo este anteriormente lavado e

secado ao sol. A seguir, cada amostra foi moída em moinho tipo forrageira, e retirada uma subamostra, que foi secada em estufa, 72 horas a 65°C, determinando-se a umidade desse material. O material seco foi moído em moinho Wiley e nele foram realizadas as determinações químicas de N total e de abundância de ¹⁵N (porcentagem em átomos de ¹⁵N) no espectrômetro de massa ANCA/SL, modelo 20/20, no Cena, USP. As determinações de S total em raízes e rizomas foram feitas no Centro de Tecnologia Canavieira, em Piracicaba, SP (Malavolta et al., 1989).

Considerou-se efeito residual para a produtividade da safra seguinte todo o N do amônio da fonte NA que ficou no sistema solo, imobilizado na palha e no sistema radicular, bem como o conteúdo de N e S do sistema radicular.

As variáveis de respostas – produtividade de colmo e de açúcares totais e recuperação do N do fertilizante – foram submetidas à análise de variância, utilizando o teste F, a 95% de confiança e sem a transformação de dados. Posteriormente, para as causas de variação significativas, procederam-se análises de regressão para verificar o efeito de doses de N da fonte nitrato de amônio. As correlações estabelecidas entre a produção de colmos da safra seguinte e o efeito residual do N do fertilizante no solo, e também o conteúdo de N e S do sistema radicular, nas diferentes doses de N, foram efetuadas por ajustes de regressão linear. A significância do valor de R foi obtida pelo teste F.

Resultados e Discussão

Houve resposta linear altamente significativa às doses de N na produção de colmos na 2ª soca (safra 1999/2000) (Tabela 1). Essa resposta se estendeu para a 3ª soca (safra 2000/2001), mesmo aplicando dose única de N (100 kg ha⁻¹) em todos os tratamentos após a colheita da safra anterior (2ª soca). O mesmo ocorreu para a produtividade de açúcares totais, pol da cana (t ha⁻¹). Esses resultados foram decorrentes, provavelmente, do efeito residual da adubação, com reflexo no vigor da soqueira de cana-de-açúcar (Malavolta, 1994; Orlando Filho et al., 1999; Trivelin et al., 2002).

Em relação às doses de N, observou-se diferença de 100%, na produção de colmos na 2ª soca (safra 1999/2000), entre a maior dose e a testemunha (0 kg ha⁻¹ de N). Na safra seguinte (3ª soca), esse diferencial na produção foi de 50%, mantendo-se resposta linear às doses de N aplicadas na safra

anterior (Tabela 1). É possível que a fertilização com 100 kg ha⁻¹ de N, após a colheita da 2ª soca tenha propiciado recomposição do vigor da soqueira apenas parcial na 3ª soca. Essa recomposição apenas parcial foi causada pelo manejo deficiente da adubação nitrogenada na safra anterior, especialmente em tratamentos com doses inferiores a 105 kg ha⁻¹. Na soma das produções da 2ª e 3ª socas (safras 1999/2000 e 2000/2001), registrou-se diferença de 67 t ha⁻¹ de colmo da maior dose em relação à testemunha. Esse valor é significativo em termos de rentabilidade referente à adubação nitrogenada.

Entre as doses de 70 e 105 kg ha⁻¹ de N, o aumento de produtividade não foi tão expressivo como nas maiores doses que causaram a resposta linear verificada (Tabela 1). Caso a maior dose do experimento fosse 105 kg ha⁻¹ de N, poderia ocorrer falsa interpretação de que a cana-de-açúcar responderia até 70 kg ha⁻¹ de N, uma vez que os resultados indicariam tendência quadrática. Sob esse aspecto pode-se questionar se não seria necessário aplicar maior dose de N, na implantação da colheita sem queima, para garantir bom vigor das socas, com reduzida dose de N nos ciclos agrícolas (anos/safras) futuros. Desse modo, a cultura estaria sustentada por um efeito residual, que, em parte, viria do fertilizante e da própria palha deixada na superfície. Chapman et al. (1983), mesmo não observando efeito residual da adubação anterior no rendimento de açúcares no ciclo seguinte, não descartaram a hipótese de que a aplicação contínua e abundante de N resultaria em acúmulo do nutriente aplicado a ser aproveitada pelas culturas nos ciclos agrícolas subsequentes.

O manejo inadequado da adubação nitrogenada em um canavial pode resultar na redução da produtividade

da cultura, como visto na safra 1999/2000 nos tratamentos com as doses mais baixas de N, sendo esse efeito propagado para a safra seguinte (2000/2001), mesmo aumentando-se a dose de N. Outro aspecto a considerar é a redução da longevidade do canavial, o que causa a antecipação de sua reforma. Com o retorno da adubação de 100 kg ha⁻¹ de N, na safra seguinte a produtividade aumentou, porém com ganhos não tão expressivos em comparação às que antecederam o período da redução na aplicação de N.

As melhores produtividades na cultura da cana-de-açúcar são alcançadas nas safras que se sucedem ao plantio (maior potencial produtivo), quando, então, deverá ser recomendada uma fertilização que supra todas as exigências nutricionais, uma vez que, nos demais anos, além do baixo vigor da soqueira, surgem, ou se agravam, problemas relacionados ao nível nutricional, compactação do solo, pragas e doenças. Orlando Filho et al. (1999) observaram queda na produtividade agrícola ao longo dos ciclos, sendo mais drástica da cana-planta (cana de ano e meio) para a primeira soca. Concluíram ainda que a cana-planta e as três soqueiras subsequentes responderam linearmente à adubação nitrogenada até a dose de 120 kg ha⁻¹. Chapman et al. (1983) constataram que as soqueiras requerem maior quantidade de N para produzirem como a cana-planta, provavelmente devido à diminuição das reservas de N no solo ao longo do ciclo.

A qualidade tecnológica dos colmos nos tratamentos com doses de N foi superior ao limite considerado adequado para se efetuar a colheita da cana-de-açúcar (Fernandes, 1986). Porém, não houve variação significativa entre os tratamentos nos teores de fibra (11,9%)

Tabela 1. Nitrogênio da adubação de solo na cana-de-açúcar (2ª soca – safra 1999/2000) na produtividade de colmos (TCH) e de açúcares na 3ª soca (safra 2000/2001).

Fontes		Doses de N		TCH			Açúcar
1999/2000	2000/2001	1999/2000	2000/2001	1999/2000	2000/2001 ⁽¹⁾	1999/2000 + 2000/2001 ⁽²⁾	1999/2000 + 2000/2001 ⁽²⁾
		----- (kg ha ⁻¹) -----		----- (t ha ⁻¹) -----			
Testemunha	URAN	0	100	40,8	58,1	98,9	15,6
NA	URAN	35	100	58,8	56,2	115,0	18,1
NA	URAN	70	100	63,3	77,5	140,8	21,6
NA	URAN	105	100	65,5	78,1	143,6	22,8
NA	URAN	140	100	70,8	81,2	152,0	24,8
NA	URAN	175	100	80,4	86,3	166,7	26,3
Média				63,2	72,9	136,1	21,5
Regressão linear				**	**	**	**
CV (%)				18,1	11,6	12,3	11,0
F _{doses}				**	**	**	**

⁽¹⁾Produção de colmos referente à 3ª soca (safra 2000/2001), em resposta às doses e fontes aplicadas na 2ª soca (safra 1999/2000). ⁽²⁾Produção de colmo e açúcar da 2ª + 3ª socas (duas safras consecutivas). **Significativo a 1% de probabilidade.

e pol cana (15,8%) (Vitti, 2003). Quanto à pol cana (t ha^{-1}), a diferença entre tratamentos foi decorrente apenas da variação significativa na produtividade de colmo por hectare (Tabela 1). Esses resultados confirmaram os obtidos por Azeredo et al. (1986), Orlando Filho et al. (1994), Korndörfer et al. (1997) e Trivelin et al. (2002), significando que a adubação nitrogenada não afetou a qualidade tecnológica dos colmos. Ao mesmo tempo, esses resultados contrariam os de Silveira & Crocomo (1990), que constataram decréscimo no teor de sacarose em plantas que se desenvolveram na presença de alta concentração de N. A ausência desse efeito neste trabalho, mesmo em doses mais elevadas de N, pode ter como explicação as baixas reservas e a mineralização de N no solo (Vitti, 2003). Outro fator seria quantidades de resíduo orgânico, de alta relação C:N, que permaneceram no solo após a colheita e que, provavelmente, causaram imobilização microbiológica do N aplicado e do solo, diminuindo a disponibilidade do nutriente às plantas.

Na Figura 1 são apresentadas correlações positivas, altamente significativas ($p < 0,01$; $t_{\text{colmo}} < 0,01$ e $t_{\text{Nes}} < 0,01$), para produtividade de colmos na safra 2000/2001 (3ª soca) e o conteúdo de N e S no sistema radicular da cultura ao final da safra 1999/2000 (2ª soca), considerados os tratamentos com doses de N (0, 35, 70, 105, 140 e 175 kg ha^{-1}) da fonte NA aplicadas sobre os resíduos culturais de cana-de-açúcar. Quanto ao conteúdo de N, essas variações estiveram relacionadas com a biomassa vegetal do sistema radicular e ao teor de nutrientes. No caso do S, a variação foi apenas para a biomassa vegetal.

A resposta de TCH ao conteúdo de S nas raízes e rizomas foi 5,3 vezes mais sensível que ao N, ou seja, a cada unidade de S, foi necessário 5,3 unidades de N

para a produtividade de colmos (Figura 1). Esse fator foi obtido pela relação dos coeficientes angulares das retas referente ao S e N acumulados no sistema radicular. O conteúdo de N nas raízes e rizomas das plantas variou de 22 a 80 kg ha^{-1} e, no caso do S, variou de cerca de 4 a 14 kg ha^{-1} . Esses dois nutrientes foram comparados num mesmo fator – produtividade de colmos – representado pelas ordenadas. No que se refere a esse aspecto, o coeficiente angular da reta (inclinação da reta) para o N deve ser menor. Nos estudos de marcha de acúmulo de nutrientes pelas culturas, observa-se maior absorção de nitrogênio em relação ao enxofre. Raij & Cantarella (1997) alcançaram uma relação N:S média de 10, em folha diagnóstico (folha +1) para a cana-de-açúcar, em concentrações consideradas adequadas na região do Estado de São Paulo. No sistema radicular, essa relação foi menor (N:S, 7), o que pode estar relacionado à elevada quantidade de enxofre encontrada nas camadas do solo de 40–60 cm e de 60–80 cm, onde os teores de S-SO_4 foram, respectivamente, de 25 e 50 mg dm^{-3} , ou por ser provavelmente um órgão de reserva da planta. Resultados do vigor de soqueira podem ser um bom instrumento de orientação quanto às adubações de cana-de-açúcar para a safra seguinte, bem como a quantidade de nutrientes presentes no sistema radicular da cultura.

O N residual total do fertilizante correspondeu ao somatório do ^{15}N na forma de NH_4^+ ($\text{N-}^{15}\text{NH}_4^+$) presente no sistema radicular (raízes e rizomas), imobilizado na palha e no solo, ou seja, o N do fertilizante recuperado no sistema solo-planta (sistema radicular)-palha (Tabela 2). A quantidade de N residual do amônio, sem levar em consideração o efeito residual do nitrato, da fonte NA representa, para a maior dose de N aplicado, cerca de 40% da recomendação atual para soqueira de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo que é de

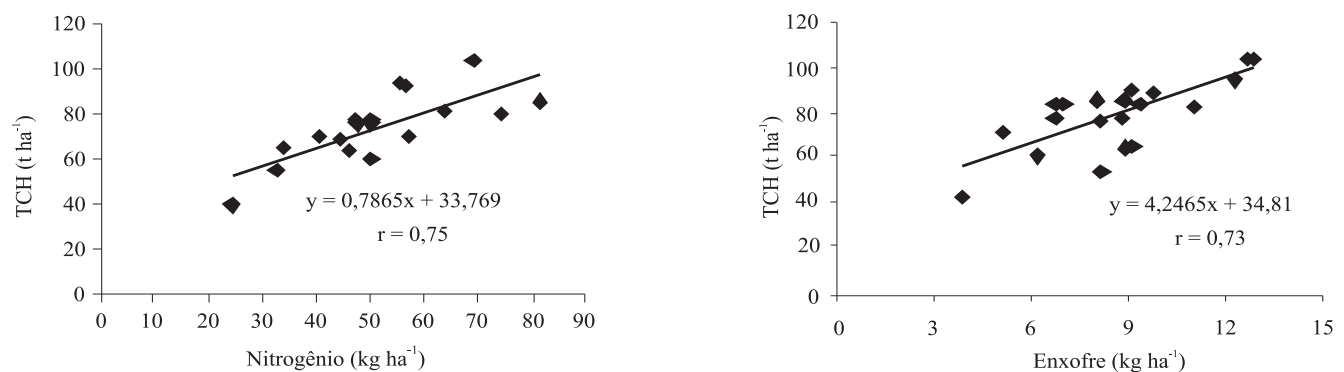


Figura 1. Correlação entre a produção de colmos por hectare (TCH) da 3ª soca (safra 2000/2001) e a quantidade total de nitrogênio e enxofre presente no sistema radicular (raízes e rizomas) depois da colheita da 2ª soca na safra 1999/2000.

100 kg ha⁻¹ de N (Espironello et al., 1997). Por esse efeito residual, pode-se explicar o ganho em produtividade na safra 2000/2001 (3^a soca), quando se aplicou dose única de N (100 kg ha⁻¹), apresentando resposta linear nas parcelas do primeiro experimento (2^a soca – safra 1999/2000) que receberam doses crescentes de N (35, 70, 105, 140 e 175 kg ha⁻¹).

Constatou-se, também, correlação altamente significativa ($p < 0,01$; $t_{\text{constante}} < 0,01$ e $t_{\text{N-residual}} < 0,01$) entre o N-¹⁵NH₄⁺ residual da fonte NA (kg ha⁻¹ de N) da adubação anterior e a produtividade de colmo (t ha⁻¹) na safra seguinte (Figura 2).

Na equação da reta da Figura 2, o inverso do coeficiente angular (0,83) da variável X (kg de N residual) representa o índice de produção de 1,2 kg de N residual por tonelada de colmo produzido. Os índices registrados em trabalhos anteriores variam de 0,72 a 1,0 kg de N absorvido por tonelada de cana produzida (Andreis, 1975; Orlando Filho et al., 1980). Essas diferenças estão relacionadas à disponibilidade do N no solo. No caso da realização de adubações nitrogenadas, há maior disponibilidade desse N do que do N do fertilizante residual, que pode estar imobilizado pelos microrganismos do solo e, também na forma orgânica no sistema radicular, sendo liberado parcialmente ao longo do ciclo da cultura. As diferenças equivalem ao índice de restituição adotado em determinadas sugestões de adubação, que é de 1 a 1,2 kg de N por tonelada de matéria natural produzida (Vitti et al., 2006).

As reservas de N e S, no sistema radicular, correlacionaram-se diretamente com a produção de colmo na safra seguinte e, por isso, o N residual do fertilizante no solo, também mostrou correlação positiva. Wiedenfeld (1998) verificou que diferentes culturas, antecedentes à cultura de cana-de-açúcar, e doses de N aplicadas a essas culturas causaram efeito significativo no acúmulo de N pela cana-de-açúcar, ou seja, o N inorgânico do solo correlacionou-se com a quantidade do N aplicado e com o rendimento da cultura subsequente.

Os resultados apresentados contêm indicação de que o manejo da adubação nitrogenada da cana-soca em áreas de colheita da cana-de-açúcar sem queima prévia poderá passar por ajustes – possível aumento das doses de N das adubações – devido à alta relação C:N da palhada da cana-de-açúcar depositada na superfície do solo, o que leva à imobilização de N do solo e do fertilizante (se aplicado) pelos microrganismos, diminuindo sua disponibilidade. Serve como exemplo, a verificação de que houve resposta linear às doses de N, de até 175 kg ha⁻¹, aplicadas na 2^a soca na produtividade da 3^a soca, mesmo aplicando-se dose única de N após a colheita da 2^a soca. Se o N for mantido no sistema, sem ser perdido por volatilização de amônia, lixiviação ou desnitrificação, ele permanecerá no solo formando um estoque com a matéria orgânica, podendo-se reduzir as doses de N das adubações, com o tempo de implantação do sistema sem queima.

Tabela 2. Recuperação do ¹⁵N, na forma de NH₄⁺ (kg ha⁻¹ e em %), do nitrato de amônio (NA) aplicado em faixa, em cinco doses de nitrogênio, por ocasião da colheita da cana-de-açúcar (2^a soca – safra 1999/2000)⁽¹⁾.

Doses de NA (kg ha ⁻¹ de N)	Recuperação do ¹⁵ N				
	Raiz	Parte aérea	Solo	Palha	Efeito residual ⁽²⁾
	(kg ha ⁻¹)				
35	1,0±0,1	4,2±0,2	5,4±0,4	0,8±0,0	7,2±0,4
70	2,0±0,1	6,8±0,3	11,9±0,5	0,8±0,1	14,7±0,5
105	4,9±1,0	10,5±1,3	17,5±2,9	1,3±0,2	23,7±3,8
140	4,4±0,3	16,6±2,3	24,5±0,6	1,3±0,3	30,1±0,1
175	9,6±0,7	22,3±1,6	25,7±1,7	1,1±0,3	36,4±1,9
Regressão linear	**	**	**	ns	**
R ²	0,90	0,97	0,97	-	0,995
CV (%)	27,4	22,4	16,7	30,4	17,1
	Porcentagem				
35	5,5±1,0	22,8±1,3	29,5±2,3	4,4±0,3	39,3±2,4
70	5,6±0,3	19,0±0,9	33,4±1,3	2,2±0,2	40,8±1,3
105	8,9±1,8	19,2±2,4	31,8±5,3	2,4±0,4	43,2±7,0
140	6,0±0,5	22,7±3,1	36,3±3,4	1,7±0,4	44,0±2,9
175	10,5±0,8	24,4±1,8	28,2±1,8	1,2±0,3	39,8±2,0
Média	-	21,6	31,7	-	41,4
Regressão linear	**	ns	ns	**	ns
CV (%)	26,5	19,1	15,5	22,4	15,2

⁽¹⁾Média e desvio-padrão da média. ⁽²⁾Nitrogênio recuperado no sistema radicular, solo e palha. nsNão-significativo. **Significativo a 1% de probabilidade.

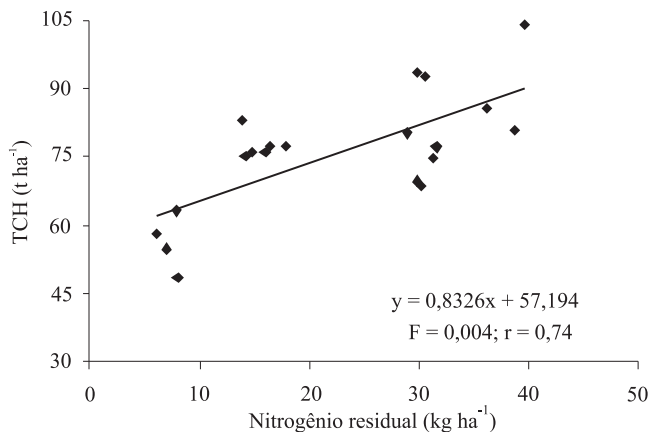


Figura 2. Correlação entre a produção de colmos de cana-de-açúcar (TCH) da 3ª soca e o ^{15}N residual (sistema radicular, solo e imobilizado na palha) das cinco doses de nitrogênio da fonte nitrato de amônio (kg ha^{-1}), no início do ciclo (safra 2000/2001), após a colheita da 2ª soca.

Conclusões

1. O nitrogênio da fertilização nitrogenada em doses crescentes até 175 kg ha^{-1} resulta em aumento linear na produtividade de colmos de uma 2ª soca; esse efeito se estende para a 3ª soca.
2. Em torno de 40% do amônio da fonte nitrato de amônio permanece no sistema solo-planta (raízes e rizomas)-palha como efeito residual para a safra seguinte, independentemente da dose de nitrogênio aplicada.
3. Os estoques de nitrogênio e enxofre no sistema radicular ao final da 2ª soca relacionam-se positivamente com a produtividade de colmos da cana-de-açúcar na 3ª soca.

Agradecimentos

À Fapesp, pela bolsa concedida ao primeiro autor; à Copersucar e à Usina São Luiz do Grupo Dedini/S.A.; pelo apoio logístico.

Referências

ANDREIS, H.J. Macro and micronutrient content of millable Florida sugar-cane. *Sugar Journal*, v.37, p.10-12, 1975.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta – doses e fracionamento. *STAB*, v.6, p.26-33, 1986.

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

CALDAS, C. *Manual de análises selecionadas para indústrias sucroalcooleiras*. Maceió: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas, 1998. 422p.

CHAPMAN, L.S.; HOGARTH, D.M.; LEVERINGTON, K.C. Does nitrogen fertilizer carry over to succeeding crops? In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 22., 1983, Brisbane. *Proceedings*. Brisbane: Watson Fergunson, 1983. p.109-114.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

ESPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETTO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação IAC, 1997. p.237-239. (Boletim, 100).

FERNANDES, A.C. *Autorização da colheita da cana-de-açúcar*. Piracicaba: Centro de Tecnologia da Copersucar, 1986. 22p.

KORNDÖRFER, G.H.; VALLE, M.R.; MARTINS, M.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio da uréia pela cana planta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.23-26, 1997.

MALAVOLTA, E. *Fertilizing for high yield sugarcane: nutrient and fertilizer management in sugarcane*. Basel: I.P.I., 1994. 104p. (Bulletin, 14).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

ORLANDO FILHO, J.; CARMELLO, Q.A.C.; PEXE, C.A.; GLÓRIA, A.M. Adubação de soqueiras de cana-de-açúcar sob dois tipos de despalha: cana crua x cana queimada. *STAB*, v.1, p.7-11, 1994.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade, em três solos do Estado de São Paulo. Piracicaba: Planalsucar, 1980. 128p. (Planalsucar. Boletim técnico, 2).

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A.; BELTRAME, J.A.; LAVORENTI, N.A. Doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio em cana-de-açúcar. *STAB*, v.17, p.39-41, 1999.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação IAC, 1997. p.233-243. (Boletim, 100).

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Assimilação de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em presença de elevado nível de N e de

vinhaça no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.2, p.7-15, 1990.

TRIVELIN, P.C.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K. Evaluation of a ^{15}N plot design for estimating plant recovery of fertilizer of nitrogen applied to sugar cane. **Scientia Agricola**, v.51, p.226-234, 1994.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; SARRIÉS, G.A. Utilização de nitrogênio e produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em solo arenoso com incorporação de resíduos da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.636-646, 2002.

VITTI, A.C. **Adubação nitrogenada da cana-de-açúcar (soqueira) colhida mecanicamente sem a queima prévia**: manejo e efeito na produtividade. 2003. 114p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VITTI, G.C.; MAZZA, J.A.; QUINTINO, T.A.; OTTO, R. Nutrição e adubação. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio da cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: Esalq, 2006. p.102-144.

WIEDENFELD, R.P. Previous-crop effects on sugarcane responses to nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, v.90, p.161-165, 1998.

Recebido em 6 de julho de 2006 e aprovado em 27 de novembro de 2006