

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**

**Henrique Coutinho Junqueira Franco**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas**

**Piracicaba**

**2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Henrique Coutinho Junqueira Franco**  
**Engenheiro Agrônomo**

**Eficiência agronômica da adubação nitrogenada de cana-planta**

**Orientador:**

**Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Solos e Nutrição de  
Plantas**

**Piracicaba**

**2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Franco, Henrique Coutinho Junqueira  
Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta / Henrique  
Coutinho Junqueira Franco. - - Piracicaba, 2008.  
127 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.  
Bibliografia.

1. Adubação 2. Cana-de-açúcar 3. Fertilizantes nitrogenados 4. Nitrogênio 5.  
Nutrientes minerais do solo 6. Produtividade 7. Raiz I. Título

CDD 633.61

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

Ao meu estimado pai,

**Newton**, por tudo que fez, por tudo que faz e por tudo que sou;

À minha querida mãe,

**Izabel**, pelo carinho, amor e afeto;

Aos meus avós,

**Oswaldo e Elza**, por terem me tratado como um filho, por terem proporcionado tranquilidade nos momentos difíceis, por terem feito de mim uma pessoa melhor....

A vocês a minha eterna gratidão e infinita saudade;

Ao meu fiel irmão,

**Oswaldo**, pela sua sincera amizade, companherismo e apoio.

**OFEREÇO**

À futura mãe de meus filhos,

**Marina**, pelo seu carinho, por sua cumplicidade e por despertar em mim, todos os dias, o amor.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir a realização desse acontecimento.

Ao Professor Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pela sua orientação, pelos seus exemplos, pela sua amizade e, principalmente, por esse valioso treinamento.

Ao Departamento de Ciência do Solo e Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade concedida.

Ao CENA/USP, em especial ao Laboratório de Isótopos Estáveis, por proporcionar excelente condição de trabalho e pesquisa.

À FAPESP, pela concessão da bolsa de doutorado numa época de dificuldade.

À equipe de pesquisa comandada pelo Professor Paulo Trivelin durante a realização do projeto Temático: Eng. Agr. Dr. André Cesar Vitti; Eng. Agr. M.Sc. Carlos Eduardo Faroni e Eng. Agr. Rafael Otto, pela grande amizade que se formou, pelo dia-a-dia e pela importante contribuição nessa tese e no meu futuro, no nosso futuro...A vocês a minha profunda gratidão.

Às Usinas Santa Adélia, São Luiz e São Martinho, por cederem as áreas para as pesquisas, assim como as equipes de campo, sem as quais nada disto teria sido possível.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), especialmente aos senhores Claudimir Pedro Penatti, José Luiz Donzelli, José Anderson Forti e Caio Fortis (pela ajuda na instalação dos experimentos), pela parceria no Projeto Temático e apoio em todas as atividades de campo.

À equipe do Laboratório de Isótopos Estáveis (CENA/USP): Professores José Alberto Bendassolli, Jefferson Mortatti e Helder de Oliveira; e aos funcionários Clélber, Hugo, Miguel, José A. Bonassi (Pingin), Magda, Bento, Juliana e Glauco pelo auxílio constante e prazeroso convívio.

Aos estagiários: Caroline Lopes, Matheus O. Trivelin, João Gabriel Tovajar, Rafael T. Schiavuzzo, Viviane C. Martins, Danilo A. Martins, Diego Campos, pela ajuda no processamento das amostras e pela amizade diária.

Aos meus familiares, Érika e Luiza, Tia Belinha e família, Tio Zé e família e Tia Carminha e família, pelo companherismo e amizade de sempre.

À Iara e sua família, pela força, pela amizade e companherismo.

A toda família da Marina, em especial à sua mãe Ana Lúcia e seu irmão César, pela forma como me tratam, pelo convívio agradável nas vezes que estamos todos juntos.

Ao Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, por ter me incentivado a não desistir do doutorado, por acreditar em mim e por ter me dado a primeira oportunidade no meio científico (agosto de 1998).

Aos Professores Godofredo C. Vitti e Jairo A. Mazza pela colaboração na minha qualificação de doutorado.

Aos comapanheiros de Pós-Graduação do CENA/USP: Raul Sartori, Virgínia Damin, Isabela Rodrigues Bologna, Gleuber M. Teixeira, Anderson Lange e Tatiele Fenilli pela amizade, companherismo e valiosos auxílios.

Aos amigos do LIE: Renato Lopes, Carlos Sant'ana Filho, Alexandre Fernandes, João Paulo Bibian, Diego Vendramini, Alexssandra Rossetti, Claudinéia Tavares, Josiane Carneiro e Felipe Nolasco que tornaram a rotina diária mais agradável.

Aos colegas de pós-graduação: Ademir Franco, Marcio Morais, João Luiz Carvalho, Robison Barizon, Simão Lindoso e demais integrantes do Tabajara Vila PG, Milton de Moraes, João Paulo (Coroinha), entre outros, pelos momentos de alegria vividos nesses anos aqui em Piracicaba.

Aos amigos de longa data, Serjão, meu primo Caio, Helô, Dedão, Silva, João Pedro, Léo, Laurinho, Guga Belinni, Leandro Piffer, Leandrinho, Zé Rodela e toda turma de Bebedouro.

À República BoiBabão, especialmente na pessoa do Rafu, por terem me ajudado no início do doutorado, tornando minha chegada a Piracicaba mais tranqüila, mais fácil.

A todos aqueles que infelizmente não foram mencionados, mas que participaram dessa etapa de minha vida.

**MUITO OBRIGADO.**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUÇÃO .....	10
Referências .....	15
2 ESTOQUE DE NUTRIENTES EM RESÍDUOS CULTURAIS INCORPORADOS AO SOLO NA REFORMA DE ÁREAS COM CANA-DE-AÇÚCAR .....	18
Resumo .....	18
Abstract .....	18
2.1 Introdução .....	19
2.2 Material e métodos .....	20
2.3 Resultados e discussão .....	21
2.4 Conclusões .....	24
Referências .....	25
3 ÍNDICES BIOMÉTRICOS DA CANA-PLANTA RELACIONADOS À ADUBAÇÃO NITROGENADA .....	27
Resumo .....	27
Abstract .....	27
3.1 Introdução .....	28
3.2 Material e métodos .....	29
3.3 Resultados e discussão .....	32
3.4 Conclusões .....	39
Referências .....	39
4 APROVEITAMENTO PELA CANA-DE-AÇÚCAR DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE PLANTIO .....	42
Resumo .....	42
Abstract .....	42
4.1 Introdução .....	43
4.2 Material e métodos .....	44
4.3 Resultados e discussão .....	46
4.4 Conclusões .....	52
Referências .....	52
5 EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-PLANTA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA .....	55
Resumo .....	55
Abstract .....	55
5.1 Introdução .....	56
5.2 Material e métodos .....	57
5.3 Resultados e discussão .....	60
5.4 Conclusões .....	91
Referências .....	92
6 PRODUÇÃO DE COLMOS E ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS NA COLHEITA DA CANA- PLANTA RELACIONADOS COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA .....	96
Resumo .....	96
Abstract .....	96



6.1 Introdução.....	97
6.2 Material e métodos .....	99
6.3 Resultados e discussão .....	101
6.4 Conclusões.....	117
Referências .....	117
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	123
Referências .....	125
ANEXO .....	126

## RESUMO

### **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**

No agrossistema da cana-de-açúcar, nas condições brasileiras, a resposta à adubação nitrogenada de cana-planta ainda é uma questão não totalmente esclarecida e a utilização de fertilizantes nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  pode auxiliar no entendimento dessa lacuna. Nesse sentido, foram desenvolvidos dois experimentos em áreas comerciais das Usinas São Luiz (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico) e Santa Adélia (LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso e os tratamentos foram 3 doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia) mais uma testemunha. No centro das parcelas com doses de N foram instaladas microparcelas que receberam a uréia- $^{15}\text{N}$ . Os experimentos foram instalados em 28/02/2005 e 04/04/2005, respectivamente, na Usina São Luiz (USL) e Usina Santa Adélia (USA). Antes da instalação do experimento USA realizou-se uma estimativa do estoque de nutrientes dos resíduos culturais e constatou-se que cerca de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma orgânica foram incorporados ao solo na reforma do canavial. Durante o crescimento da cana-planta foram realizadas amostragens de fitomassa da parte aérea. Nessas amostragens determinou-se o acúmulo de matéria seca. No estágio de máximo crescimento foram colhidas amostras de folhas +1 para avaliação do estado nutricional. As colheitas dos experimentos foram efetuadas em 15/06/2006 na USL e 18/07/2006 na USA. O acúmulo de matéria seca pela parte aérea da cana-planta apresentou forma sigmóide de crescimento, característica de crescimento vegetal, independente da dose de N. A fase de máximo crescimento da cana-planta ocorreu de setembro a abril, quando as condições climáticas foram mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura. A adubação nitrogenada aumentou os teores dos nutrientes N, K, Mg e S nas folhas-diagnóstico. A recuperação (%) de uréia- $^{15}\text{N}$  obtida na colheita da cana-planta foi, na média dos experimentos, de 30, 30 e 21%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. A menor recuperação do N-uréia nas maiores doses, especialmente na de 120 kg ha<sup>-1</sup>, foi devido às perdas de N do sistema solo-planta. O aproveitamento do N da uréia representou em média 11,7% do nitrogênio total acumulado na planta toda. A adubação nitrogenada aumentou a extração de nutrientes pela planta toda nos dois experimentos e proporcionou maiores acúmulos de nutrientes na parte subterrânea da cultura. Na média dos experimentos e considerando a exigência nutricional da planta toda, para a produção de 1TCH (tonelada de colmos por hectare) foram extraídos: 1,38 kg de N, 0,15 kg de P, 3,24 kg de K, 0,60 kg de Ca, 0,26 kg de Mg, 0,28 kg de S, 53 g de Fe, 15 g de Mn, 2,2 g de Zn, 1,3 g de B e 0,6 g de Cu. A adubação nitrogenada aumentou a TCH no experimento da USL, enquanto que na USA não houve resposta. A adubação nitrogenada interferiu nos atributos tecnológicos dos colmos na USA, porém sem efeito na USL. A adubação nitrogenada aumentou significativamente a produção de açúcar por hectare nos dois experimentos. A maior margem de contribuição agrícola nos dois experimentos foi obtida com a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Palavras-chave: Nitrogênio; Nutrientes; Produtividade; Raízes; *Saccharum spp.*

## ABSTRACT

### **Agronomic efficiency of nitrogen fertilization in plant cane**

In the sugarcane agrosystem under Brazilian conditions, the nitrogen fertilization response in plant cane is still an issue that has not been completely clarified. The use of  $^{15}\text{N}$ -labeled nitrogen fertilizers can help understand this unresolved question. In this respect, two experiments were conducted in commercial areas at Sugar Mills São Luiz (Typic Eutruxox) and Santa Adélia (Arenic Kandiusults). The experimental design was organized as random blocks and treatments consisted of 3 N rates (40, 80, and 120 kg ha<sup>-1</sup> N in the form of urea) and a control. Microplots that received urea- $^{15}\text{N}$  were installed in the center of plots that involved N rates. The experiments were installed on 02/28/2005 and on 04/04/2005, respectively, at Usina São Luiz (USL) and Usina Santa Adélia (USA). Before installing the USA experiment, an estimate was obtained for the stock of nutrients from crop residues. It was observed that 200 kg ha<sup>-1</sup> N in organic form were incorporated into the soil when the sugarcane field was renovated. During plant cane growth, phytomass samplings were performed in the above-ground part of the plants. Dry matter accumulation was determined in those samplings. Samples from +1 leaves were harvested at the maximum plant growth stage to evaluate their nutritional status. The experiments were harvested on 06/15/2006 at USL and on 07/18/2006 at USA. Dry matter accumulation in the above-ground part of plant cane had a typical plant-growth sigmoidal shape, regardless of N rate. The maximum plant cane growth stage occurred from September to April, when the weather conditions were more favorable for crop development. Nitrogen fertilization increased the N, K, Mg, and S contents in the diagnostic leaves. Urea- $^{15}\text{N}$  recovery values (%) obtained at plant cane harvest were, on the average of all experiments, 30, 30, and 21% for the rates of 40, 80, and 120 kg ha<sup>-1</sup> N, respectively. The lower urea- $^{15}\text{N}$  recovery observed at the higher rates, especially at 120 kg ha<sup>-1</sup>, was due to N losses in the soil-plant system. The utilization of urea- $^{15}\text{N}$  represented, on average, 11.7% of total nitrogen accumulated in the whole plant. Nitrogen fertilization increased the nutrient uptake by the whole plant in both experiments and provided greater accumulation of nutrients in the underground part of the crop. In the average of the experiments, and considering the nutritional requirements of the whole plant to produce 1TSS (1 ton of stalks per hectare), uptake amounted to: 1.38 kg N, 0.15 kg P, 3.24 kg K, 0.60 kg Ca, 0.26 kg Mg, 0.28 kg S, 53 g Fe, 15 g Mn, 2.2 g Zn, 1.3 g B, and 0.6 g Cu. Nitrogen fertilization increased the TSS value in the USL experiment, while no response was obtained in the USA experiment. Nitrogen fertilization interfered with stalk technological attributes at USA, but no effect was detected at USL. Nitrogen fertilization significantly increased sugar production per hectare in both experiments. The highest margin of agricultural contribution in both experiments was obtained at the rate of 40 kg ha<sup>-1</sup> N.

Keywords: Nitrogen; Nutrients; Productivity; Roots; *Saccharum spp.*

## 1 INTRODUÇÃO

No agronegócio brasileiro a cultura da cana-de-açúcar desempenha papel de destaque, gerando em 2006 divisas da ordem de US\$ 7,0 bilhões apenas com a exportação de açúcar e álcool (BRASIL, 2007). Além disso, o setor sucroalcooleiro gera quantidade significativa de empregos, excluindo da informalidade inúmeras pessoas e, com isso, contribui de maneira efetiva para acelerar o mercado interno de bens de consumo.

As perspectivas para o setor são animadoras, em médio prazo, devido a possível quebra dos subsídios do açúcar europeu e da conquista de novos mercados consumidores. Aliado a isso, é crescente a preocupação da sociedade mundial em relação às condições do ambiente, a qual vem exercendo pressão sobre o uso de combustíveis fósseis responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Vários países estão buscando reduzir ao máximo o uso desses combustíveis, seja pela substituição do produto ou pela adição de outros combustíveis nesses para diminuir sua carga poluidora. Das culturas usadas para a produção industrial de etanol, a cana-de-açúcar, principalmente a brasileira, tem destaque no cenário internacional pela sua alta produtividade e eficiência fotossintética no ambiente tropical, o que lhe garante superioridade na competição, por exemplo, com o álcool de milho (RODRIGUES, 2004).

Nesse contexto, a produção agrícola brasileira de cana-de-açúcar, provavelmente, acompanhará o crescimento da demanda mundial por açúcar e álcool. A estimativa da produção agrícola de cana-de-açúcar para a safra 2007/2008 é de 528 milhões de toneladas, com área plantada de 6,6 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2007), o que representa uma produtividade média de 80 t ha<sup>-1</sup>. Essa produtividade está distante do potencial produtivo dos cultivares plantados em solo brasileiro, o que faz com que as pesquisas se direcionem para solucionar as causas desse déficit produtivo.

As maiores limitações do meio à produtividade da cana-de-açúcar, nas regiões canavieiras do Brasil, não se relacionam à radiação solar, à temperatura e, nem mesmo, à água, mas à disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes minerais nos solos, com destaque ao nitrogênio (TRIVELIN, 2000).

A grande importância do nitrogênio para a cana-de-açúcar diz respeito ao fato de ela ser uma *Poaceae*, de metabolismo de carbono do tipo C4, caracterizado por altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização do nitrogênio e da energia solar, sendo altamente eficiente na produção de matéria seca. Como o nitrogênio é parte constituinte de todos os

aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos, a sua carência promoverá a diminuição na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, e também da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização da matéria-orgânica (tanto a nativa do solo como a recém incorporada), pela fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados. Deve-se, também, considerar como fonte de nitrogênio, no ciclo de cana-planta, o nutriente contido no tolete de plantio (colmo-semente) e nas soqueiras, as reservas em rizomas e raízes (TRIVELIN, 2000).

Entretanto, uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar se refere à baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. A literatura é bastante rica em trabalhos que avaliaram o efeito de doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio na cana-de-açúcar, principalmente os seus efeitos na produtividade de colmos por área e nas características químicas e tecnológicas do caldo. Sendo as respostas bem heterogêneas para cana-planta e relativamente homogênea para cana-soca (CARNAÚBA, 1990).

A adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para esta cultura, pois os estudos sobre nitrogênio apresentam resultados muito variáveis, muitas vezes até contraditórios, sendo que os mecanismos de resposta ao nitrogênio pela cana-de-açúcar não estão ainda suficientemente elucidados (KORNDÖRFER et al., 2002).

A falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada tem sido atribuída à fixação biológica do nitrogênio atmosférico; às perdas por lixiviação de N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparada ao de soqueiras; às condições climáticas, como temperatura e pluviosidade; à melhoria da fertilidade solo, após a reforma dos canaviais, associada à calagem, ao preparo mecânico e à incorporação de restos da cultura anterior (AZEREDO et al., 1986; CARNAÚBA, 1990; ORLANDO FILHO et al., 1999; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992). Carneiro, Trivelin e Victoria (1995) procuraram demonstrar que o conteúdo de N do tolete de plantio (colmo-semente) pode contribuir para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar e, juntamente com os demais fatores que disponibilizam o N à cultura, justificaria, em parte, a falta de resposta da cana-planta à fertilização nitrogenada.

Por outro lado, o nitrogênio assimilado pelos vegetais pode, em parte, perder-se tanto pelas raízes, por exsudação, como pela parte aérea, por volatilização, principalmente na forma de amônia, por lixiviação de compostos solúveis na água das chuvas, ou mesmo por gutação, o que acarreta, muitas vezes, em subestimativas nas determinações da utilização do N oriundo dos fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$ , feitas na maturidade das culturas (TRIVELIN, 2000). Durante a senescência foliar o aumento da hidrólise de proteínas é acompanhado pela redução nas atividades das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT), responsáveis pela assimilação da amônia no metabolismo do N nas plantas superiores. A redução na atividade dessas enzimas resulta em perdas de  $\text{NH}_3$  junto à corrente transpiratória. Essas perdas dependem do equilíbrio, em solução, entre a forma  $\text{NH}_3$  e a iônica  $\text{NH}_4^+$ , que é influenciado pela temperatura e pelo pH do meio (HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994).

Outro fator que reflete no manejo da adubação nitrogenada e, conseqüentemente, na resposta da cana-planta ao nutriente, é a colheita sem despalha a fogo. Durante muito tempo quase toda a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil esteve submetida à queima previamente a colheita. Entretanto a partir do ano de 1997, por força de legislação, a colheita de cana queimada no Estado de São Paulo passou a ser substituída gradualmente pela colheita de cana sem despalha a fogo (“cana-crua”).

A manutenção da palha da cana-de-açúcar no solo, com a prática da colheita sem despalha a fogo, pode contribuir para a melhoria da fertilidade do solo, comparativamente àquela com queima (WOOD, 1991). E, ainda, a colheita de “cana crua”, sem queima, permite que os nutrientes contidos na palhada, ponteiros e palmito permaneçam no campo e sejam reciclados no sistema (BASANTA et al., 2002).

Em 80% de 135 experimentos desenvolvidos em diferentes regiões canavieiras do Brasil, citados por Azeredo et al. (1986), não se verificaram resposta à fertilização com N em cana-planta. Mais recentemente, Morelli et al. (1997) recomendaram a dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, exclusivamente no sulco de plantio, mesmo obtendo resposta à adubação de cana-planta em 20% de seus experimentos, em solos distróficos e de textura arenosa. Korndörfer et al. (1997) obtiveram resposta da cana-planta às doses de 30, 60 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em solos distróficos de textura média no Triângulo Mineiro. Orlando Filho et al. (1999) observaram respostas da cana-planta às doses de 60 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  em solo eutrófico no Estado de São Paulo, e Penatti, Donzelli e Forti (1997), que realizaram experimentos em vários tipos de solo, de AQ a LR, recomendaram

com base na margem de contribuição agroindustrial (R\$ ha<sup>-1</sup>) a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. A recomendação do Instituto Agronômico de Campinas (ESPIRONELO et al., 1996) para adubação nitrogenada de plantio da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, é de 30 kg ha<sup>-1</sup> de N, a ser aplicada no sulco de plantio, e de 30 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, 30 a 60 dias após o plantio, em função da meta de produtividade desejada.

Na literatura, existem citações de grande número de experimentos que não mostraram resposta da cultura à adubação com N no plantio, mas ela é recomendada e realizada, mesmo em condições de baixa expectativa de resposta. Por que isso ocorre? Seria falta de confiança nos resultados experimentais?

Entre os técnicos ligados ao setor agrícola de usinas produtoras de cana-de-açúcar, é voz corrente que, se em determinado ano não for feita à adubação dos canaviais (soqueiras) com nitrogênio, a produtividade naquela safra não será afetada de forma marcante, mas o efeito ocorrerá nos anos seguintes, com reflexo na longevidade da soqueira. Penatti, Donzelli e Forti (1997) e Orlando Filho et al. (1999) constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana-planta ao nitrogênio se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subseqüentes, entre a cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada.

Como as doses de N atualmente recomendadas para cana-planta estão aquém das reais exigências da cultura e, considerando-se em adição, que a imobilização microbiana e as perdas de N do solo reduzem a concentração de nutriente disponível à cultura, em especial no sistema com manutenção da palhada e em solos de baixa ou média fertilidade, é notório que a cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, nessa condição de carência de N não teria como expressar toda a sua potencialidade produtiva.

Nesse sentido, não seria o caso de se perguntar sobre a possibilidade da fertilização com nitrogênio, tanto no plantio como nas rebrotas da cana-de-açúcar estar relacionada ao crescimento de raízes e à formação de um estoque nutricional na parte subterrânea da cultura, com efeito na produção acumulada nos cortes subseqüentes? Caso essa pergunta venha a ser respondida positivamente pela experimentação, estaria justificada a adubação com N em cana-de-açúcar, uma vez que existem dúvidas quanto a sua eficácia no plantio.

Esses fatos merecem estudos a fim de que se possa entender melhor as causas que justifiquem as respostas da cultura da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, não somente dentro de um ciclo, mas o efeito aditivo em ciclos consecutivos, uma vez que é uma cultura semi-

perene, que, certamente, depende tanto dos nutrientes a ela disponibilizados pelas vias de entrada no agrossistema, como das reservas nutricionais no colmo-semente, no plantio, nas raízes e rizomas, nas rebrotas e do N estocado na matéria orgânica do solo, especialmente quando se trata do sistema conservacionista sem queima desde a implantação da cultura.

Com base no exposto, pode-se formular as seguintes hipóteses:

1. A maior parte do nitrogênio absorvido pela cana-planta é proveniente da mineralização da matéria orgânica do solo e dos resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial. Mesmo assim, por se tratar de cultura semi-perene, a cana-de-açúcar responde à adubação nitrogenada, desde que não haja limitação nutricional, independente dessa intensa mineralização de N.
2. Estudos prévios evidenciaram existir uma relação direta das reservas do sistema radicular de soqueira com o manejo da adubação nitrogenada, como dose, fonte e formas de aplicação de N, e que a grandeza dessas reservas evidenciou, também, correlações diretas com o rendimento da cultura no ciclo agrícola subsequente.

Com base nestas hipóteses, objetivou-se com este trabalho de tese:

- a) Avaliar o estoque de nutrientes incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar.
- b) Determinar as curvas de crescimento da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar durante o ciclo da cana-planta e sua relação com a adubação nitrogenada.
- c) Avaliar o aproveitamento do N-fertilizante ( $^{15}\text{N}$ ) pela cana-planta.
- d) Determinar a extração de nutrientes pela cana-planta em função da adubação nitrogenada e o estoque de nutrientes nos órgão de reserva da planta (raízes e rizomas).
- e) Avaliar a produtividade da cultura de cana-planta (parte aérea e sistema radicular) e os atributos tecnológicos dos colmos em relação à adubação nitrogenada, na implantação do sistema sem queima.
- f) Calcular a margem de contribuição agrícola em relação à aplicação de doses de N na forma de uréia no plantio da cana-planta.



Os objetivos propostos anteriormente foram avaliados em experimentos, desenvolvidos em regiões canavieiras representativas do Estado de São Paulo, que estão apresentados nesta tese, organizados em cinco capítulos, a saber:

**1. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar**

(Trabalho apresentado na forma de resumo expandido na XVI Reunião Brasileira de Manejo e Conservação da Água e do Solo, realizada em Aracaju-SE em julho de 2006, e publicado, FRANCO et al., 2007, na revista STAB).

**2. Índices biométricos da cana-planta relacionados à adubação nitrogenada**

(Trabalho apresentado na forma de artigo completo no IV Congresso Brasileiro de Biometeorologia, realizado em Ribeirão Preto-SP, em abril de 2006).

**3. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio**

(Trabalho apresentado na forma oral no XXX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Gramado-RS, em agosto de 2007, estando aprovado para ser publicado em número extra da Revista Brasileira de Ciência do Solo em 2008).

**4. Extração de nutrientes pela cana-planta em função da adubação nitrogenada**

**5. Produção de colmos e atributos tecnológicos na colheita da cana-planta relacionados com a adubação nitrogenada**

## Referências

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, n. 5, p. 25-29, 1986.

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.; CÁSSARO,

F.A.M.; PIRES, L.F.; MACEDO, J.R. Eficiência no uso de nitrogênio em relação ao manejo dos resíduos da cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife. Piracicaba: STAB, 2002. p. 268-275.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Balço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia 2007**. Brasília, 2007. 139 p.

CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.

CARNEIRO, A.E.V.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 2, p. 199-209, 1995.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar safra 2007/2008, primeiro levantamento, maio/2007**. Brasília, 2007. 12 p.

ESPIRONELO, 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, 1996. p. 237-239. (IAC. Boletim, 100).

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**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007.

HOLTAN-HARTWING, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, Suppl. 14, p.1-41, 1994.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C. A.; CHIMELLO, M. A.; LEONI, P. L. C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife. Piracicaba: STAB, 2002. p. 234-238.

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**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 23-26, 1997.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MORELLI, J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E.; NELLI, E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta: aplicação no solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 26-30, 1997.

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. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 39-41, 1999.

PENATTI, C.P.; DONZELLI, J.L.; FORTI, J.A. Doses de nitrogênio em cana-planta. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 340-349.

RODRIGUES, R. Século XXI, o novo tempo da agroenergia renovável. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 1, p. 4-7, 2004.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar**: três casos estudados com o uso do traçador  $^{15}\text{N}$ . 2000. 143 p. Tese (Livre-docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

URQUIAGA, S.C.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 105-114, 1992.

WOOD, A.W. Management of crop residues following green harvesting of sugarcane in north Queensland. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 20, p. 69-85, 1991.

## 2 ESTOQUE DE NUTRIENTES EM RESÍDUOS CULTURAIS INCORPORADOS AO SOLO NA REFORMA DE ÁREAS COM CANA-DE-AÇÚCAR

### Resumo

O objetivo do trabalho foi quantificar o aporte de resíduos culturais de cana-de-açúcar e seu estoque de nutrientes incorporados ao solo na reforma do canavial. O estudo foi desenvolvido em áreas comerciais das Usinas Santa Adélia (USA) e São Martinho (USM), localizadas nos municípios de Jaboticabal-SP e Pradópolis-SP respectivamente. Por meio de estimativas quantificou-se os resíduos da cultura de cana-de-açúcar, de reforma a reforma do canavial, totalizando 6 (USA) e 5 (USM) safras agrícolas, de 1998 a 2004. Estes resíduos culturais foram provenientes da palhada residual presente na superfície do solo após a colheita sem despalha a fogo, da rebrota da parte aérea da cultura e do sistema radicular (raízes e rizomas). O aporte de resíduos culturais na reforma do canavial foi de 28,9 e 16,7 t ha<sup>-1</sup> de massa seca total (palhada, parte aérea da rebrota e sistema radicular) na USA e USM respectivamente. O estoque de nutrientes foi maior nos resíduos da USA, com destaque para o nitrogênio (cerca de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N).

Palavras-chave: Macronutrientes; Palhada; Raízes; *Saccharum spp.*

### Stock of nutrients in crop residues incorporated to the soil during renovation of sugarcane areas

#### Abstract

The objective of this work was to quantify sugarcane residues contribution and underlying nutrients stocks incorporated in the soil during the reform of the sugarcane plantation. The study was carried out in two commercial fields, located in Santa Adélia (USA) and São Martinho (USM) Sugar Mills, in Jaboticabal and Pradópolis contie, São Paulo State, Brazil. An estimation of the sugarcane residues was accomplished, that extended during a cycle of sugarcane (6 harvests in USA and 5 harvests in USM), from 1998 to 2004. The sugarcane residues were originated by present residual trash in the surface of the soil after harvesting without burning, the stooling and the stubble (roots and rhizomes) of the sugarcane. The contribution of the cultural residues in the reform of the sugarcane plantation was 28,9 and 16,7 t ha<sup>-1</sup> of the total dry matter (trash, stooling and stubble) in the USA and USM, respectively. The nutrients stock was larger in the USA residues, with prominence to nitrogen (about 200 kg ha<sup>-1</sup> of N).

Keywords: Macronutrients; Ration trash; Roots; *Saccharum spp.*

## 2.1 Introdução

Na colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem despalha a fogo, as folhas secas são trituradas e os ponteiros são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura morta denominada de palhada. Essa palhada vai se decompondo por ação física, química e biológica, constituindo uma fonte de nutrientes para os macros e microorganismos do solo e, posteriormente, para a própria cultura de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 1999).

O aporte anual de grandes quantidades de palhas nas áreas sem despalha a fogo permite antever a ocorrência, a médio prazo, de alterações importantes em algumas características químicas e físicas do solo associadas ao aumento no teor de matéria orgânica. Por outro lado, a crescente adoção, incentivada por legislação ambiental, da colheita de cana sem despalha a fogo trás implicações para o manejo da adubação nitrogenada, não só com respeito às doses, mas também às fontes e modos de aplicação.

Uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar trata da baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. Segundo Carnaúba (1990) na maioria dos experimentos com cana-planta verifica-se pouca resposta à adubação nitrogenada, entretanto, com as rebrotas (cana-soca) observa-se resposta na produção de colmos.

Um dos fatores que minimizariam a resposta da cultura de cana-de-açúcar a adubação nitrogenada de plantio é a incorporação dos restos culturais da soca anterior, devido a estes apresentarem alta relação C:N (em torno de 100), o que contribuiria para a elevada imobilização do N-fertilizante na primeira safra da cultura e, ainda, com o corte mecanizado sem despalha a fogo por sucessivas safras, a quantidade de resíduos a serem incorporados ao sistema seria maior do que aquela de áreas com corte manual e despalha a fogo. Sendo assim, é de fundamental importância se avaliar a quantidade e a qualidade dos resíduos que estão sendo incorporados na reforma do canavial, assim como o seu estoque de nutrientes, com destaque ao nitrogênio, para que se possa melhor compreender o manejo da adubação nitrogenada na safra de cana-planta.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi quantificar o aporte de resíduos culturais de cana-de-açúcar e seu estoque de nutrientes incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar.

## 2.2 Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido em área comercial de cana-de-açúcar das Usinas: Santa Adélia, localizada no município de Jaboticabal-SP, sendo o solo da área um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico e São Martinho, localizada no município de Pradópolis-SP e o solo um LATOSSOLO VERMELHO eutrófico (EMBRAPA, 1999).

Em ambas as áreas foi realizado a estimativa dos resíduos culturais do ciclo anterior (reforma a reforma) de cana-de-açúcar. A área da Usina São Martinho (USM) possuía histórico de cinco safras agrícolas (1999/2004, cultivar SP85 5536) colhidas sem despalha a fogo (Tabela 2.1). A área da Usina Santa Adélia (USA) apresentava histórico de 6 safras agrícolas (1998/2004, cultivar SP83 2847), sendo as duas últimas colhidas sem despalha a fogo (Tabela 2.1).

Este levantamento constou da coleta: da palhada residual presente na superfície do solo após a colheita sem despalha a fogo; da rebrota da parte aérea da cultura e do sistema radicular (raízes e rizomas). A massa de palhada residual foi amostrada em 0,099 m<sup>2</sup>, sendo coletadas 13 amostras no talhão. A rebrota da cultura foi colhida em dois metros de linha, coletando-se todo o material vegetal presente, repetindo esta operação seis vezes. O sistema radicular foi coletado em trincheiras de 1,0 m de comprimento por 1,5 m de largura e 0,5 m de profundidade, e separado do solo por peneiramento. O sistema radicular obtido foi lavado antes de ser processado.

Tabela 2.1 - Histórico de produtividade e tipo de colheita de cana-de-açúcar das áreas estudadas (Usinas: São Martinho – USM e Santa Adélia – USA)

USM						
Safra	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Corte	plântio	1°	2°	3°	4°	5°
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	—	113	96	43	60	75
Tipo de colheita	—	MEC	MEC	MEC	MEC	MEC
USA						
Safra	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Corte	1°	2°	3°	4°	5°	6°
Produtividade (t ha <sup>-1</sup> )	114	128	122	96	94	128
Tipo de colheita	MAN	MAN	MAN	MAN	MEC	MEC

MEC: colheita mecanizada sem despalha a fogo. MAN: colheita manual com despalha a fogo

Após a pesagem das amostras (massa de material úmido), triturou-se todo material natural em moenda tipo forrageira e, a seguir, retirou-se uma subamostra que depois de pesada foi seca em estufa até atingir peso constante (72 horas a 65 °C) determinando-se a umidade do material. O material seco foi moído para determinação dos teores de N, K, P, Ca, Mg e S, segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). O estoque de nutrientes foi calculado pelo produto da massa de resíduos e pelo teor dos nutrientes analisados.

### **2.3 Resultados e discussão**

As Tabelas 2.2 e 2.3 apresentam as quantidades de massa de material vegetal seco e de nutrientes adicionados ao solo na reforma dos canaviais. Verifica-se que a quantidade total de resíduos adicionada na USA (28,9 t ha<sup>-1</sup>) é superior em 12,2 t ha<sup>-1</sup> à da USM (16,7 t ha<sup>-1</sup>), sendo isto, possivelmente, reflexo dos cultivares utilizados e, principalmente, das produtividades de cada área (Tabela 2.1).

A palha residual do ciclo anterior contribuiu com 67% (USA) e 56% (USM) da massa total de resíduos produzida, tendo a parte aérea (PA) da rebrota e o sistema radicular (SR) contribuído com o restante em partes praticamente iguais na USA (Tabela 2.3), enquanto que na USM, o sistema radicular apresentou massa superior ao da parte aérea (Tabela 2.2). Essas diferenças estão relacionadas à época de amostragem, pois na USA a amostragem (PA e SR) foi realizada no final de janeiro de 2005 (28/01/2005), enquanto que na USM essa foi feita em meados de dezembro de 2004 (13/12/2004), quando a PA apresentava menor desenvolvimento.

A quantidade de palhada residual que permaneceu sobre o solo após o corte da cultura de cana-de-açúcar verificada nas áreas, esta de acordo com as comumente observadas, cerca de 10 a 20 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, no Estado de São Paulo (ABRAMO FILHO et al., 1993; TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995; 1996).

Segundo Bayer e Mielniczuk (1999) esse aporte de resíduos influencia nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Em relação às propriedades físicas do solo, Igue e Pavan (1984) salientaram que com a adição de material orgânico promove-se a formação e estabilização dos agregados constituintes do solo melhorando sua estrutura, ocasionando melhorias nas condições de aeração e aumento da capacidade de infiltração e retenção de água. Yadav, Todi e Srivastava (1987) observaram aumento considerável na produtividade de cana-de-açúcar, não

apenas pela liberação de macro e micronutrientes, mas também pela melhoria da estrutura do solo devido à adição da palhada. Carvalho et al. (1996) atribuiu a esses efeitos físicos o maior crescimento da cana-de-açúcar.

Por outro lado, a mineralização dessa massa de material vegetal é dependente de fatores ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica, oxigênio, composição química da palhada, especialmente da relação C/N, teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis (NG KEE KWONG et al., 1987; SIQUEIRA; FRANCO, 1988). Faroni et al. (2003) observaram que 40 a 50% da matéria seca da palhada permaneciam sobre o solo após um ano, porém com relação C:N mais estreita, sendo o valor inicial de 85 e após um ano de 34. Outros autores relataram taxas de decomposição de palhada, após um ano, de 20% a 70% do total inicial (OLIVEIRA et al., 1999).

Tabela 2.2 - Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial (Usina São Martinho)

<b>Palha residual do ciclo anterior <sup>Φ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>					
9,4	38,7	6,2	3,7	21,9	4,7	7,5
<b>Parte aérea de rebrota antes da reforma e após aplicação de herbicida <sup>Φ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>					
2,7	20,6	39,9	3,3	8,8	3,6	5,9
<b>Sistema radicular da rebrota antes da reforma e após aplicação de herbicida <sup>Φ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>					
4,6	24,0	18,5	2,0	6,1	3,0	4,2
<b>Total de nutrientes incorporados ao solo na reforma do canavial <sup>Ψ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
<b>t ha<sup>-1</sup></b>	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
	<b>kg ha<sup>-1</sup></b>					
16,7	83,3	64,6	9,0	36,8	11,3	17,6

<sup>Φ</sup> valores são médias de 13 pontos amostrados; <sup>Φ</sup> valores são médias de 6 pontos amostrados; <sup>Ψ</sup> Somatório dos resultados de sistema radicular, parte aérea e palhada



Tabela 2.3 - Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial (Usina Santa Adélia)

<b>Palha residual do ciclo anterior <sup>Φ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					
19,4	122,1	13,6	11,6	44,6	15,5	14,2
<b>Parte aérea da rebrota antes da reforma e após aplicação de herbicida <sup>Φ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					
4,5	52,8	103,2	6,8	11,7	7,2	8,7
<b>Sistema radicular da rebrota antes da reforma e após aplicação de herbicida <sup>Φ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					
5,0	21,8	32,7	2,0	3,5	2,0	6,4
<b>Total de nutrientes incorporados ao solo na reforma do canavial <sup>Ψ</sup></b>						
<b>Massa Seca</b>	<b>Macronutrientes</b>					
	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
t ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>					
28,9	196,7	149,5	20,4	59,8	24,7	29,3

<sup>Φ</sup> valores são médias de 13 pontos amostrados; <sup>Φ</sup> valores são médias de 6 pontos amostrados; <sup>Ψ</sup> Somatório dos resultados de sistema radicular, parte aérea e palhada

Com relação ao estoque de nutrientes presentes nos resíduos culturais que foram incorporados ao solo na reforma do canavial, a palhada foi a que mais contribuiu no fornecimento de macronutrientes ao sistema, com exceção do K, foi mais abundante nos outros compartimentos amostrados (90%), principalmente na parte aérea da rebrota (70%), tendo este comportamento ocorrido nas duas áreas (USA e USM). Este fato pode ser explicado devido à rápida liberação do K da palhada residual, pois, este nutriente não é constituinte de nenhum componente de planta, estando presente na forma iônica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1989), o que facilita sua saída da célula após o rompimento da membrana plasmática. Oliveira et al. (1999), em dois experimentos, mostraram que houve liberação de 85 a 93% do total de K existente na palhada após 12 meses. Yadav, Todi e Srivastava (1987) verificaram que a palhada de cana-de-açúcar, incubada a 28°C, liberou, aos 120 dias, 70% de todo o K existente nesse resíduo cultural. O K liberado pode ser utilizado pela soca no início do brotamento.

O estoque de nutrientes presentes nos resíduos culturais das duas áreas amostradas teve a seguinte ordem decrescente de grandeza:  $N > K > Ca > S > Mg > P$ . Sendo que os resíduos da USA continham maiores quantidades de todos os macronutrientes avaliados (Tabelas 2.2 e 2.3).

Na quantidade de nutrientes adicionada destaca-se o aporte de nitrogênio (N) na USA, cerca de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Na USM este aporte foi de  $83 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, valor este que está próximo dos observados por Trivelin, Victoria e Rodrigues (1995; 1996) na palhada de cana-de-açúcar ( $40$  a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). No entanto, diferentemente do K, o N é de liberação lenta por ser um elemento estrutural. As quantidades de N da palhada liberadas durante o ciclo seguinte de cana-de-açúcar são relativamente baixas: 3 a 30% (OLIVEIRA et al., 1999; FARONI et al., 2003; BASANTA et al., 2002), sendo que o N proveniente da palhada absorvido pela cultura no ciclo subsequente varia de 5 a 10 % (NG KEE KWONG et al., 1987; CHAPMAN; HAYSOM; SAFFIGNA, 1992), ou seja, a maior parte desse N abastece o estoque do solo como mostram os estudos conduzidos com palha marcada com  $^{15}\text{N}$  (BASANTA et al., 2002). Entretanto, Bologna-Campbell (2007) constatou que aproximadamente 20% do total de N acumulado na cana-planta foi absorvido do N proveniente de resíduos culturais incorporados ao solo. Tomando por base os valores obtidos pela autora, cerca de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N presente nos resíduos culturais da área da USA seria absorvido pela cultura. Pelo exposto, será que essa elevada quantidade de N adicionada ao solo na reforma de canaviais não poderia explicar, em parte, a baixa resposta da adubação nitrogenada em diversos trabalhos da literatura?

## 2.4 Conclusões

1. O aporte de resíduos culturais incorporados ao solo na reforma do canavial foi de 28,9 e  $16,7 \text{ t ha}^{-1}$  de massa seca total (palhada, parte aérea da rebrota e sistema radicular) na USA e USM respectivamente.
2. O estoque de nutrientes foi maior nos resíduos da USA, com destaque a elevada quantidade de nitrogênio incorporada ao solo (cerca de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de N).

## Referências

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar**, Piracicaba, v. 67, p. 23-25, 1993.

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.; CÁSSARO, F.A.M.; PIRES, L.F.; MACEDO, J.R. Eficiência no uso de nitrogênio em relação aos manejos dos resíduos da cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife. Piracicaba: STAB, 2002. p. 268-275.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo, ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 1 – 26.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.

CARVALHO, G.L.; ANDRADE, L.A.B.; ANJOS, I.A.; FIGUEIREDO, P.A.M. Efeitos de restos culturais da colheita, com e sem queima prévia, na rebrota e rendimentos de soqueiras de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Brasília, v. 15, n. 1, p.27, 1996.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C; SAFFIGNA, P.G. N cycling in cane fields from <sup>15</sup>N labeled trash and residual fertilizer. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 14., 1992, Brisbane. **Proceedings ...** Brisbane: Watson Ferguson, 1992. p. 84-89.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Emprapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; MANZONI, C.S.; PENATTI, C.P.; TRIVELIN, P.C.O. Degradação da palha (<sup>15</sup>N) de cana-de-açúcar em dois anos consecutivos (Compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais ...** Ribeirão Preto: UNESP, SBCS, 2003. 1 CD-ROM.

IGUE, K.; PAVAN, M.A. Uso eficiente de adubos orgânicos In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1984, Brasília. **Anais ...** Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 383-418.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201 p.

\_\_\_\_\_. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 102, p. 79-83, 1987.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PENATTI, C.P. Degradação da palhada de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 803-809, 1999.

SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. 236 p.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

\_\_\_\_\_. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-<sup>15</sup>N e uréia-<sup>15</sup>N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

YADAV, D.V.; TODI, S.; SRIVASTAVA, A.K. Recycling of nutrients in trash with N for higher cane yield. **Biological Wastes**, Barking, v. 20, p. 133-141, 1987.

### 3 ÍNDICES BIOMÉTRICOS DA CANA-PLANTA RELACIONADOS À ADUBAÇÃO NITROGENADA

#### Resumo

A análise de crescimento e acúmulo de fitomassa da cana-de-açúcar tem permitido avaliar os efeitos de diferentes formas de adubação e tratos culturais. Essa análise é realizada por meio de avaliações seqüenciais e temporais do acúmulo de fitomassa ou de índices fisiológicos dela obtidos. Nesse contexto, com o objetivo de se avaliar a resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N) foram realizadas amostragens de fitomassa da parte aérea das plantas durante o ciclo agrícola de cana-planta. Nessas amostragens determinou-se o acúmulo de matéria seca, e por meio de modelos matemáticos estimou-se: a curva de crescimento da cultura; a taxa de produção de matéria seca (TPMS) e a taxa de crescimento relativo (TCR) em função dos níveis de N. O acúmulo de matéria seca pela parte aérea da cana-planta apresentou forma sigmóide de crescimento, característica de crescimento vegetal, independente da dose de N e do local do experimento. A fase de máximo crescimento da cana-planta de ano e meio ocorreu de setembro a abril, quando as condições climáticas foram mais favoráveis ao desenvolvimento da cultura (temperaturas mais elevadas, maior luminosidade e maiores precipitações pluviométricas) e, quando a evapotranspiração real da cultura foi semelhante à evapotranspiração potencial da cultura. A taxa de produção de matéria seca (TPMS) média variou com a dose de N no experimento da USL, mostrando resposta da cana-planta a essa adubação. A taxa de crescimento relativo (TCR) máxima ocorreu aos 30 DAP nos dois experimentos, decrescendo com o decorrer do ciclo de cana-planta, havendo diferença entre tratamentos no período.

Palavras-chave: Adubação; Nitrogênio; *Saccharum spp*; Uréia

#### Abstract

#### Plant cane biometric indices associated with nitrogen fertilization

Growth and phytomass accumulation analyses in sugarcane have allowed the assessment of effects from different forms of fertilization and management practices. Such analyses are performed via sequential and temporal evaluations of phytomass accumulation or of physiological indices obtained for it. Within this context, in order to evaluate sugarcane response to nitrogen fertilization (0, 40, 80, and 120 kg ha<sup>-1</sup> N) phytomass samplings from the above-ground part of the plants were taken during plant cane agricultural cycle. In these samplings, determinations were made for dry matter accumulation, and estimates were obtained using mathematical models for: the crop's growth curve; dry matter production rate (DMPR); and relative growth rate (RGR) as a function of N levels. Dry matter accumulation in the above-ground part of plant cane had a typical plant-growth sigmoidal shape, regardless of N rate and experimental site. The maximum growth stage for 18-month-old plant cane occurred from September to April, when the weather conditions were more favorable for crop development (higher temperatures, higher luminosity, and higher precipitation) and when the crop's actual evapotranspiration was similar to the crop's potential evapotranspiration. Mean dry matter production rate (DMPR) varied with N rate used in the USL experiment, demonstrating there was

a plant cane response to nitrogen fertilization. Maximum relative growth rate (RGR) occurred at 30 DAP in both experiments, decreasing as the plant cane cycle progressed, with differences between treatments in the period.

Keywords: Fertilization; Nitrogen; *Saccharum spp*; Urea

### 3.1 Introdução

O acúmulo de material vegetal ou nutrientes pela cana-de-açúcar ocorre mediante a interação da cultura com fatores do ambiente, sendo a planta um integrador dos estímulos ambientais. Melhor entendimento de tais interações pode ser obtido por meio da análise quantitativa do crescimento. Medidas biométricas das plantas durante a estação de crescimento permitem a utilização de índices fisiológicos na tentativa de explicar as diferenças varietais quanto à produção econômica (MACHADO et al., 1982).

A análise do crescimento e acúmulo de fitomassa da cana-de-açúcar tem permitido avaliar os efeitos de diferentes formas de adubação e tratos culturais. Essa análise é realizada por meio de avaliações seqüenciais e temporais do acúmulo de fitomassa ou de índices fisiológicos dela obtidos (LUCCHESI, 1984; GAVA et al., 2001).

Além da taxa de produção de matéria seca (TPMS), que avalia o crescimento do vegetal relacionando à quantidade de fitomassa seca acumulada por área e por unidade de tempo, outro índice muito utilizado tem sido a taxa de crescimento relativo (TCR), definido como o aumento de fitomassa seca por unidade da existente ao início de determinado período experimental (LUCCHESI, 1984; GAVA et al., 2001). Tanto a TPMS quanto a TCR não requerem conhecimento da área foliar da planta para suas avaliações.

Considerando que a análise do crescimento é tida como método-padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura (MAGALHÃES, 1979), sua utilização na avaliação da adubação nitrogenada de plantio seria importante para auxiliar no entendimento dessa prática. De acordo com Korndörfer et al. (2002) a adubação nitrogenada destaca-se como uma das práticas culturais de maior demanda de pesquisas para esta cultura, pois os estudos sobre nitrogênio apresentam resultados muito variáveis, muitas vezes até contraditórios. Segundo os autores, os mecanismos de resposta ao nitrogênio pela cana-de-açúcar não estão ainda suficientemente elucidados.

Outro ponto relevante, quanto aos estudos de nitrogênio em cana-planta, seria que na maioria dos trabalhos as avaliações de produtividade foram efetuadas na colheita final, sendo poucos os trabalhos que avaliaram a produção de fitomassa durante o ciclo de cana-planta. Nesses casos, a resposta a adição de N pela cana-planta podem ser mascaradas por fatores ambientais, como o déficit hídrico.

Sendo assim, o objetivo desse capítulo foi avaliar o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar, mediante a utilização de curvas de crescimento estimadas por modelos matemáticos, relacionado à adubação nitrogenada e ao balanço hídrico climatológico.

### **3.2 Material e métodos**

O experimento foi desenvolvido em duas áreas comerciais de reforma do canavial. A primeira área é pertencente à Usina São Luiz (Pirassununga-SP), cujo solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico (EMBRAPA, 1999). As principais operações no preparo do solo realizadas antes do plantio foram: gradeação pesada para matar a soqueira antiga; subsolagem para quebrar a compactação do solo; gradeação pesada para incorporação de corretivos ( $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico e  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso agrícola) e gradeação média para o preparo final do solo antes da sulcação. A instalação do experimento ocorreu entre 21 e 24 de fevereiro de 2005.

A segunda área experimental é da Usina Santa Adélia (Jaboticabal-SP), sendo o solo um LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico (EMBRAPA, 1999). As principais operações efetuadas na reforma do canavial antes do plantio foram: dessecação da soqueira velha com aplicação de  $4 \text{ L ha}^{-1}$  de Roundup; aração profunda para incorporação ao solo dos resíduos vegetais e de  $2 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico e gradeação para o preparo final do solo antes da sulcação e plantio. O experimento foi implantado entre 4 e 8 de abril de 2005.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram três doses de N ( $40$ ,  $80$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  na forma de uréia) aplicadas no fundo do sulco de plantio e incorporados ao solo, mais uma testemunha. As parcelas experimentais foram constituídas por 48 linhas (sulcos) de 15 metros espaçadas entre si por 1,5 m. No plantio foram aplicados no fundo de sulco, em todas as parcelas,  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$  com as fontes cloreto de potássio (KCL) e superfosfato triplo respectivamente.

No plantio da cana-de-açúcar utilizaram-se 2 colmos-semente por metro, cruzando-se o pé com a ponta das mudas (colmos), proporcionando uma distribuição de 17 a 20 gemas por metro de sulco. As mudas de cana depositadas no fundo do sulco foram cortadas em toletes com 2 a 3 gemas e feito o recobrimento com máquina. O cultivar de cana-de-açúcar plantado foi o SP81 3250.

Durante o ciclo da cana-planta em ambos os experimentos (Usinas São Luiz e Santa Adélia) foram realizadas coletas de material vegetal com o objetivo de se estimar a curva de crescimento da cultura de cana-de-açúcar em função de doses de N de plantio. Na Usina São Luiz (USL) as avaliações foram executadas nas seguintes datas: 7 de julho de 2005 (134 dias após o plantio-DAP), 25 de outubro de 2005 (244 DAP), 13 de dezembro de 2005 (293 DAP), 20 de fevereiro de 2006 (358 DAP), 12 de abril de 2006 (413 DAP) e 6 de junho de 2006 (468 DAP), totalizando 6 amostragens durante o período. No experimento da Usina Santa Adélia (USA) às amostragens (cinco) foram efetuadas em 11 de outubro de 2005 (186 DAP), 09 de dezembro de 2005 (246 DAP), 8 de fevereiro de 2006 (307 DAP), 5 de abril de 2006 (363 DAP) e 10 de julho de 2006 (459 DAP).

As avaliações biométricas da parte aérea da cana-de-açúcar foram realizadas em todos os tratamentos, colhendo-se toda a parte aérea das plantas em 2 metros de linha, sendo quatro as repetições por tratamento. Essas amostragens foram realizadas em locais previamente sorteados.

A massa de todo o material vegetal de cada repetição (folhas secas, ponteiros e colmos) foi obtida diretamente em campo, por meio de pesagem em balança eletrônica (carga máxima de 100 kg). Após a pesagem, o material vegetal de cada amostra foi triturado no campo, em picadora de forragem, e a seguir subamostrado. As subamostras foram acondicionadas em sacos plásticos bem fechados e em laboratório pesadas em balança analítica (precisão de 0,01 g) antes e após secagem em estufa ventilada a 65°C, para determinação da umidade do material. Conhecendo-se a umidade das amostras, calculou-se o acúmulo de material seco ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em cada época de amostragem.

Para estimar o acúmulo de fitomassa da parte aérea da cana-de-açúcar nos tratamentos com adubação nitrogenada no plantio (0, 40, 80 e 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N), durante o período experimental, foi utilizada a função logística:

$$Y = Y_{\max}/(1 + (\text{DAP}/A)^B)$$



onde:  $Y$  - fitomassa seca da parte aérea da cana-planta em  $t\ ha^{-1}$ ; DAP - dias após o plantio da cana-de-açúcar;  $Y_{max}$  - fitomassa seca máxima produzida no período compreendido entre o plantio e a colheita.

As constantes A e B da função foram estimadas segundo Zullo e Arruda (1987). Em cada experimento foram obtidas quatro equações, de acordo com as doses de N, que descreveram a variação da fitomassa seca da parte aérea da cana-planta, no tempo. Os índices fisiológicos utilizados para avaliar possíveis diferenças entre os tratamentos foram a taxa de produção de matéria seca (TPMS) e taxa de crescimento relativo (TCR), obtidas pela manipulação das funções de ajuste, segundo o modelo descrito por Lucchesi (1984).

Os resultados de massa seca da parte aérea da cana-de-açúcar das amostragens realizadas durante o ciclo agrícola de cana-planta e utilizados para ajuste na função logística estão apresentados na Tabela 3.1 (Usina São Luiz) e Tabela 3.2 (Usina Santa Adélia).

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico (Figura 3.1) foram utilizados dados de evapotranspiração da cultura e pluviométricos coletados nas áreas experimentais e calculados mediante o uso de planilhas eletrônicas (ROLIM; SENTELHAS; BARBIERI apud OTTO, 2007).

Tabela 3.1 - Produção de massa seca da parte aérea (ponteiro, folha seca e colmos) da cana-de-açúcar avaliada durante o ciclo de cana-planta. Experimento Usina São Luiz

Tratamentos	Massa seca da parte aérea					
	Julho/05	Outubro/05	Dezembro/05	Fevereiro/06	Abril/06	Junho/06
	$kg\ ha^{-1}$					
<b>0</b>	2.244	9.340	17.327	30.982	43.870	41.921
<b>40</b>	2.554	11.770	17.154	32.119	38.639	51.588
<b>80</b>	3.154	15.209	22.819	37.446	45.964	61.147
<b>120</b>	3.087	13.755	21.690	35.536	52.306	61.932

Tabela 3.2 - Produção de massa seca da parte aérea (ponteiro, folha seca e colmos) da cana-de-açúcar avaliada durante o ciclo de cana-planta. Experimento Usina Santa Adélia

Tratamentos	Massa seca da parte aérea				
	Outubro/05	Dezembro/05	Fevereiro/06	Abril/06	Julho/06
	$kg\ ha^{-1}$				
<b>0</b>	9.395	18.664	30.451	41.180	60.068
<b>40</b>	11.480	19.552	34.440	40.490	59.778
<b>80</b>	11.422	23.489	36.192	47.550	60.846
<b>120</b>	10.532	21.219	38.905	43.908	59.738

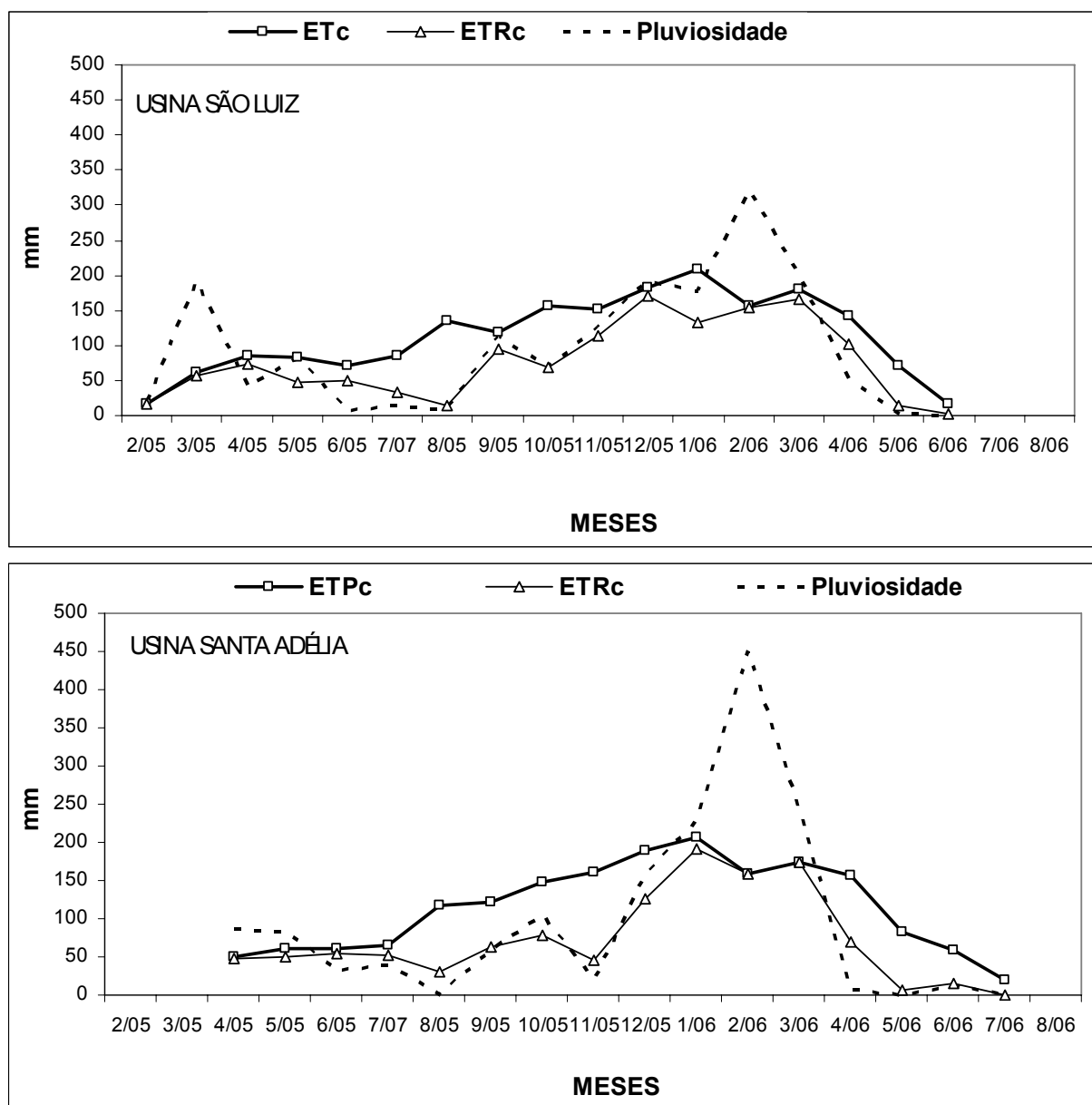


Figura 3.1 - Balanço hídrico climatológico das áreas experimentais (USL e USA) no ciclo agrícola de cana-planta. ETPc: Evapotranspiração potencial da cultura; ETRc: Evapotranspiração real da cultura; P: Precipitação pluviométrica

### 3.3 Resultados e discussão

O acúmulo de massa seca da parte aérea, em todos os tratamentos, apresentou forma sigmóide, característica de crescimento vegetal (SILVEIRA, 1985), representando as três fases do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (Figura 3.2) definidas por Machado (1987). A

primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 a 180 DAP na USL e de 0 a 150 DAP na USA. A diferença nos experimentos foi devido à época de plantio (a cana-de-açúcar na USL foi plantada cerca de 40 dias antes que a USA). Esta fase é caracterizada por desenvolvimento lento da parte aérea, e na média dos tratamentos as plantas de cana-de-açúcar acumularam cerca de 6.000 kg ha<sup>-1</sup> e 5.000 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca, respectivamente, na USL e USA. Este acúmulo representou 14% e 10% do total obtido na colheita final da cultura, nos dois experimentos.

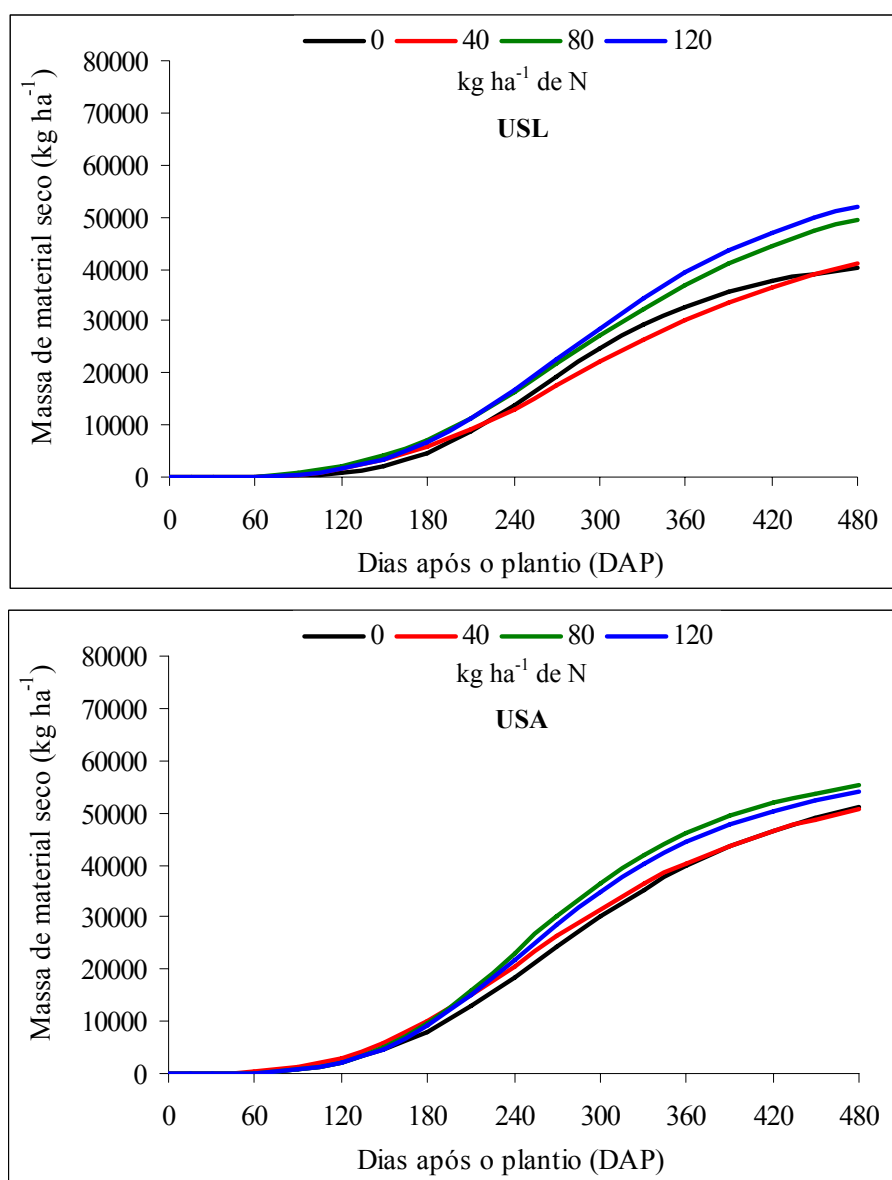


Figura 3.2 - Acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cana-de-açúcar durante o ciclo agrícola de cana-planta (ajuste da função logística) relacionada à adubação nitrogenada. Experimentos USL e USA

No período inicial de desenvolvimento da cana-planta a maior parcela de massa seca produzida destina-se ao crescimento das folhas (MACHADO et al., 1982). Segundo Machado et al. (1982) até os 100 DAP a massa seca das folhas representa mais que 70% do total da planta. Depois desse estágio, a quantidade relativa à massa seca das folhas diminui progressivamente até que ao redor dos 400 DAP as folhas passam a representar apenas 9% da massa total da planta. O desenvolvimento das folhas determina a área de interceptação da radiação solar e a dimensão do aparelho fotossintetizador, sendo assim, a dimensão do aparelho fotossintetizador se estabelece nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura (MACHADO et al., 1982).

Em adição, nos primeiros 30 DAP ocorre à emissão de raízes de fixação e brotação das gemas. Nesse período a cana-planta vive da reserva de nutrientes do tolete, que é redistribuída, e parcialmente dos nutrientes absorvidos pelas raízes de fixação. Após os 30 DAP inicia-se o desenvolvimento das raízes dos perfilhos primários, depois dos secundários, e assim sucessivamente (CASAGRANDE, 1991). Com isso, o desenvolvimento mais lento da parte aérea nos primeiros estádios da cana-planta pode ser devido, também, a maior produção de massa do sistema radicular.

A segunda fase de crescimento ocorreu dos 180 aos 420 DAP na USL e dos 150 aos 390 DAP na USA (Figura 3.2). O início da segunda fase se deu na mesma época nos dois experimentos, fim de agosto e começo de setembro de 2005. Isso se deveu às condições climáticas do período: quando a temperatura, luminosidade e pluviosidade começaram a se elevar (Anexo A), e como consequência a evapotranspiração real da cultura (ETRc) também se elevou, caracterizando redução no déficit hídrico pelo início das chuvas (Figura 3.1).

Durante esse segundo estágio houve maior acúmulo de fitomassa pela cana-de-açúcar em todos os tratamentos, o que representou em média, 78% e 80% do total acumulado (produção de massa seca equivalente a 35.000 kg ha<sup>-1</sup> e 41.000 kg ha<sup>-1</sup>), respectivamente, na USL e USA. Este estágio apresentou rápido crescimento devido, sobretudo, ao início da produção de colmos, que ao término do ciclo da cana-planta representou 82% do total de matéria seca acumulada na parte aérea da cana-de-açúcar (FRANCO, 2007). Sampaio, Salcedo e Bettany (1984), em trabalho com cana-planta em solo de tabuleiro, verificaram que a partir do surgimento dos colmos (cerca de seis meses após o plantio) a cultura aumentou significativamente o acúmulo de fitomassa.

A terceira fase de crescimento, caracterizada como fase de maturação, ocorreu dos 420 a 468 DAP na USL e dos 390 a 459 DAP na USA. O acúmulo de fitomassa foi da ordem de 4.000

kg ha<sup>-1</sup> e 5.000 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca, equivalentes a 8% e 10% do total acumulado pela parte aérea da cultura no ciclo de cana-planta, respectivamente, na USL e USA (Figura 3.2). Nesta fase, o crescimento da cultura é pouco intenso pelas restrições climáticas, sendo os fotossintetizados destinados, principalmente, ao armazenamento da sacarose nos colmos (MACHADO, 1987). De fato, o balanço hídrico climatológico mostrou que as chuvas diminuíram drasticamente após o mês de abril, assim como a evapotranspiração real da cultura (Figura 3.1).

Os resultados obtidos de acúmulo de fitomassa são muito semelhantes entre os experimentos, apresentando diferenças apenas na quantidade acumulada, porém, com as fases de desenvolvimento ocorrendo nas mesmas épocas (Figura 3.2). Outros autores também verificaram esse comportamento sigmóide de crescimento da cultura na cana-planta (MACHADO et al., 1982; SAMPAIO; SALCEDO; BETTANY, 1984; ALLEONI; BEAUCLAIR, 1995) e na cana-soca (ALVAREZ; CASTRO, 1999; GAVA et al., 2001, 2006) variando apenas o tempo de duração de cada fase, dependentes das condições climáticas (MACHADO et al., 1982). Nas condições dos dois experimentos, a fase inicial coincidiu com o fim do período das chuvas da safra 2004/2005 (Figura 3.1). As condições adversas de falta de chuva e de baixas temperaturas (Anexo A) que se seguiram, forçaram a cultura a entrar em repouso. Segundo Casagrande (1991) a cana-planta de ano e meio, plantada de janeiro ao início de abril, tem uma taxa de crescimento inicial restrita, nula ou mesmo negativa, em função das condições climáticas entre os meses de maio a setembro nas regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Havendo boas condições de pluviosidade, a época de máximo desenvolvimento da cultura se dá de outubro a abril, com máximo de crescimento entre dezembro a abril (CASAGRANDE, 1991).

A taxa de produção de massa seca (TPMS) é obtida da derivada da equação:  $Y = Y_{\max}/(1 + (DAP/A)^B)$ , sendo representada por uma função em forma de sino, ou seja, a TPMS é baixa, inicialmente, aumentando rapidamente até atingir um máximo, para em seguida decrescer acentuadamente (MACHADO et al., 1982). Na USL a TPMS máxima da cana-planta (Figura 3.3) ocorreu por volta dos 270 DAP (segunda quinzena de novembro de 2005), sendo que a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou a maior taxa (20 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). Na USA a TPMS máxima da cana-planta também foi obtida aos 270 DAP, porém ocorrendo na primeira quinzena de janeiro de 2006, com o tratamento 80 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentando a maior TPMS (24 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). A TPMS máxima nos dois experimentos ocorreu quando a evapotranspiração real da cultura

(ETRc) começou a ser semelhante à evapotranspiração potencial da cultura (ETPc) (Figura 3.1). A partir desse ponto a ETRc foi muito próxima a ETPc, devido às condições favoráveis de temperatura, radiação solar e disponibilidade hídrica (Figura 3.1 e Anexo A), possibilitando o máximo crescimento das plantas, período esse chamado de estágio de máximo crescimento da cana-de-açúcar.

A TPMS média da cana-planta na USL aumentou com as doses de N, sendo de 7,7; 8,0; 9,6; e 10,0 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente para 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, destacando-se que a maior dose de N incrementou a produção diária de massa seca em 2,3 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, relativamente à testemunha. A TPMS média variou pouco na USA com as doses de N, de 9,7 a 10,3 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, evidenciando baixa resposta da cana-planta a adubação nitrogenada nesse experimento.

As TPMS médias obtidas nos dois experimentos são semelhantes às de Machado et al. (1982) no ciclo de cana-planta com os cultivares NA56 79 e CB41 14, esses autores observaram TPMS média de 12 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> com máximo de 25 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> aos 300 DAP. Gava et al. (2001) obtiveram TPMS média de 9 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> com máximo de 20 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> com o cultivar SP80 1842 de quinto corte (4ª soca) cultivado na região de Piracicaba-SP.

A TPMS média da 1ª fase de crescimento foi de 3 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> nos dois experimentos; na 2ª fase (a de máximo crescimento) foi de 15 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> na USL e 17 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> na USA, enquanto que na fase de maturação esta foi de 7 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Machado et al. (1982) verificaram que durante a fase de máximo crescimento da cana-planta a TPMS média foi de 21 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, sendo este valor raramente encontrado por período tão longo em outros vegetais. Em geral, há uma estreita correlação entre produção e a duração da estação de crescimento, e plantas com metabolismo do tipo C4 apresentam TPMS média ao redor de 22,0 ± 3,6 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (MONTEITH, 1978 apud MACHADO et al., 1982). Nota-se, portanto, que a maior produtividade da cana-de-açúcar se deve, em parte, ao seu longo período de crescimento e, conseqüentemente, maior área foliar (MACHADO et al., 1982).

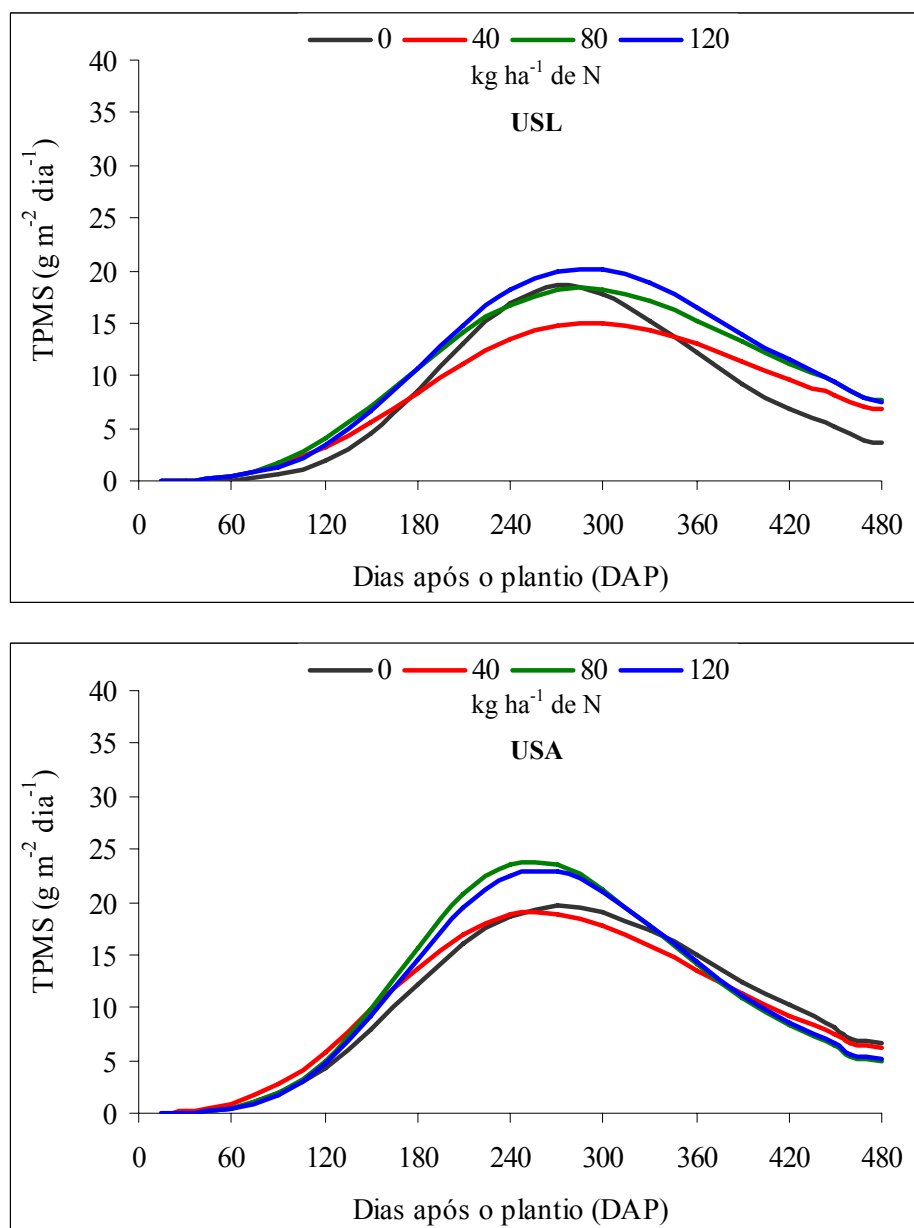


Figura 3.3 - Taxa de produção de matéria seca (TPMS) da parte aérea da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada durante o desenvolvimento da cana-planta. Experimentos USL e USA

A variação da taxa de crescimento relativo (TCR) no tempo é representada por uma função exponencial negativa (Figura 3.4) e apresentou valor máximo aos 30 DAP para todos os tratamentos na USL, sendo que a testemunha apresentou a maior TCR durante o período experimental,  $0,21 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , passando a ser semelhante à TCR dos demais tratamentos somente

a partir dos 270 DAP. Na USA a TCR máxima ocorreu também aos 30 DAP para todos os tratamentos, sendo que os tratamentos com 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N apresentaram as maiores TCR durante o período experimental, 0,19 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, passando a ser semelhante à TCR dos demais tratamentos somente a partir de 210 DAP.

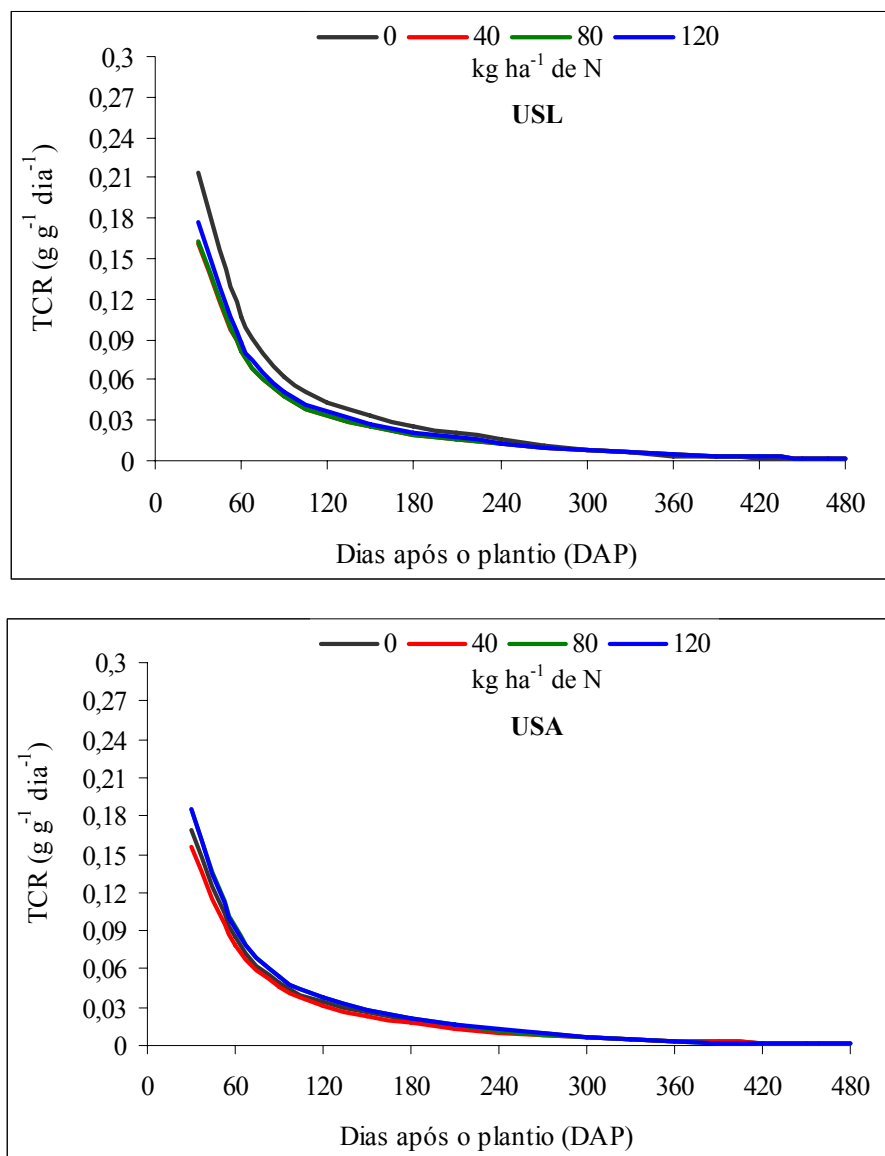


Figura 3.4 - Taxa de crescimento relativo (TCR) da parte aérea da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada durante o desenvolvimento da cana-planta. Experimentos USL e USA



A TCR diminuiu à medida que a planta cresceu (Figura 3.4), devido, entre outros fatores, ao aumento de competição intra-específica pelos principais fatores ambientais responsáveis pelo crescimento vegetal, tais como: luz, nutrientes e difusão de CO<sub>2</sub> dentro do estande (GAVA et al., 2001). Segundo Machado et al. (1982) nos estádios iniciais da cultura há uma superprodução de perfilhos, que ao decorrer do ciclo da cana-planta sofrem mortalidade natural, oriunda da competição intra-específica. Em ambas as áreas experimentais se observaram decréscimos na população de perfilhos da cana-planta com o decorrer do ciclo (dados não apresentados).

### 3.4 Conclusões

1. O acúmulo de massa seca na parte aérea da cana-planta apresentou forma sigmóide de crescimento, característica de crescimento vegetal, independente da dose de N e do local.
2. A fase de máximo crescimento da cana-planta de ano e meio ocorreu de setembro a abril, quando as condições climáticas foram mais favoráveis ao desenvolvimento da cana-de-açúcar (temperaturas mais elevadas, maior luminosidade e maiores precipitações pluviométricas) e, quando a evapotranspiração real da cultura foi semelhante à evapotranspiração potencial.
3. A taxa de produção de matéria seca (TPMS) variou com a dose de N no experimento da USL, evidenciando resposta da cana-planta à adubação nitrogenada.
4. A taxa máxima de crescimento relativo (TCR) ocorreu aos 30 DAP nos dois experimentos, decrescendo com o decorrer do ciclo de cana-planta, com diferença entre doses de N no período.

### Referências

ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. Cana-de-açúcar cultivada após milho e amendoim, com diferentes doses de adubo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 3, p. 409-415, 1995.

ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 1069-1079, 1999.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Emprapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

FRANCO, H.C.J. **Aproveitamento do nitrogênio da fertilização nitrogenada pela cana-planta na implantação do sistema sem queima**. São Paulo: FAPESP, 2007. 100 p.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G.J.C.; SILVA, M.A.S.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; PENATTI, C.P.; CAPUTO, M.M. Acumulación de fitomasa y macronutrientes em rebrotes de caña de azúcar cultivados em suelo cubierto por paja. In: CONGRESO DE LA ASOCIACION DE TÉCNICOS AZUCAREROS DE LATINOAMERICA Y EL CARIBE, 6., 2006, Guayaquil. **Anais ...** Guayaquil: ATALAC, 2006. p. 299-308.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; CHIMELLO, M.A.; LEONI, P.L.C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇÚCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife. Piracicaba: STAB, 2002. p. 234-238.

LUCCHESI, A. A. Utilização prática da análise de crescimento vegetal. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 41, p. 181-201, 1984.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.L.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.9, p.1323-1329, 1982.

MACHADO, E.C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 56-87.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EDUSP, 1979. v. 1, p. 331-349.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. Piracicaba, 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de

Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência de utilização de uréia-<sup>15</sup>N em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 8, p. 943-949, 1984.

SILVEIRA, J.A.G. **Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) cultivada em condições de campo**. 1985. 152 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

ZULLO, J. J.; ARRUDA, F. B. **Programa computacional para ajuste de equações em dados experimentais**. Campinas: Instituto Agronômico, 1987. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 113).

## 4 APROVEITAMENTO PELA CANA-DE-AÇÚCAR DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE PLANTIO

### Resumo

O balanço de  $^{15}\text{N}$  de fontes nitrogenadas no sistema solo-planta tem sido de muita valia em estudos das transformações do nitrogênio (N) em agroecossistemas. No agrossistema da cana-de-açúcar, nas condições brasileiras, a resposta à adubação nitrogenada de cana-planta ainda é questão não totalmente esclarecida e a utilização de fertilizantes nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  pode auxiliar no entendimento dessa lacuna. Com o objetivo de avaliar o aproveitamento do N da uréia pela cana-de-açúcar no ciclo agrícola de cana-planta, realizaram-se dois experimentos em área comercial de cana-de-açúcar das Usinas São Luiz (Pirassununga-SP) e Santa Adélia (Jaboticabal-SP), com o cultivar SP81 3250. Esses experimentos foram desenvolvidos de fevereiro de 2005 a julho de 2006. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, sendo os tratamentos, três doses de N: 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>, na forma de uréia, e uma testemunha sem fertilização nitrogenada. No centro das parcelas com doses de N-uréia foram instaladas microparcelas que receberam o fertilizante marcado com  $^{15}\text{N}$ . A recuperação (%) de  $^{15}\text{N}$ -uréia pela cana-planta (planta toda) foi na média dos experimentos de 30, 30 e 21%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. A menor recuperação do N-uréia nas maiores doses, especialmente na de 120 kg ha<sup>-1</sup>, foi devido às perdas de N do sistema solo-planta. O aproveitamento do N da uréia ( $^{15}\text{N}$ ) representou em média 11,7% do nitrogênio total acumulado na planta toda. A distribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta não variou com a dose de N, e na média dos tratamentos foi de: 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes.

Palavras-chave: Cana-planta;  $^{15}\text{N}$ ; *Saccharum* spp.; Uréia

### Utilization by sugarcane of nitrogen applied at planting

#### Abstract

The  $^{15}\text{N}$  balance of nitrogenous sources in the soil-plant system is of great value in studies of nitrogen transformations in different agroecosystems. In the sugarcane agroecosystem, for Brazilian conditions, the cane plant response to the N fertilization is a question not all solved and the utilization of nitrogen fertilizer labeled with  $^{15}\text{N}$  can help the understanding of this lack. In order to evaluate the urea-N utilization by sugarcane at the harvest of plant cane, it was developed two experiments in commercial fields of sugarcane, located in São Luiz and São Luiz Sugar Mills, in Pirassununga and Jaboticabal contie, São Paulo State, Brazil. The variety utilization was the SP81-3250. These experiments were carried out from February of 2005 to July of 2006. The experimental design was randomized complete blocks, with the treatments, being three rates of N-urea: 40, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup> and a reference without N-fertilization (0 kg ha<sup>-1</sup> of N). In the center of the plots with urea application were installed microplots that received urea labeled with  $^{15}\text{N}$ . The average recovery (%) of  $^{15}\text{N}$ -fertilizer by sugarcane (whole plant) was 30,

30 and 21%, respectively, for the rates of 40, 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup> of N. The smaller urea-N recovery for higher rates, specially for 120 kg ha<sup>-1</sup> of N, was due the losses of N of soil-plant system. The N-urea recovery was on average of 11,7% of accumulated total N in whole plant. There was no variation with rates of N on nitrogen from fertilizer distribution in different parts of sugarcane plant, being on average of 50% in the stalks, 22% in the dry leaves, 20% in the shoots and 8% in the roots.

Keywords: Plant cane; <sup>15</sup>N; *Saccharum* spp.; Urea

#### 4.1 Introdução

O nitrogênio apresenta uma dinâmica complexa, pelas múltiplas transformações caracterizadas por sete estados de oxidação e por sua mobilidade no sistema solo-planta. Os fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo sofrem uma série de transformações químicas e microbiológicas, que podem resultar em perdas para os vegetais. Nesse contexto, considerando o custo dos adubos nitrogenados é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da adubação nitrogenada, que visem o melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar. Com isso, a realização do balanço de <sup>15</sup>N de fontes nitrogenadas tem sido de muita valia em estudos das transformações do N no sistema solo-cana-de-açúcar.

Trabalhos realizados com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo <sup>15</sup>N evidenciaram ser variável o aproveitamento do <sup>15</sup>N-fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar. Nas Ilhas Maurícios, Wong You Cheong, Ng Kee Kwong e Cavalot (1980) obtiveram recuperação na parte aérea da cana-de-açúcar de 21 a 48%, com as fontes sulfato de amônio e nitrato de amônio respectivamente, com influência do tipo de solo, das condições climáticas e da fonte nitrogenada. Ng Kee Kwong e Deville (1994) conseguiram aumentar a recuperação da uréia-<sup>15</sup>N (120 kg ha<sup>-1</sup>) de 19 para cerca de 35%, aplicando o adubo na água e irrigando por gotejamento, sem, contudo, conseguir elevar a produtividade. Em Taiwan, Weng, Chan e Li (1991) obtiveram as recuperações de 27, 23 e 19%, respectivamente, para sulfato de amônio, nitrato de potássio e uréia; a aplicação dos adubos no solo a 10 cm de profundidade, comparada à superficial, mostrou a maior recuperação. Na Austrália, Chapman, Haysom e Saffigna (1994) obtiveram recuperação da uréia-<sup>15</sup>N para a planta toda, em três sistemas de manejo com resíduos culturais no solo, de 18 e 33%, para o adubo aplicado em superfície e em profundidade respectivamente. No Brasil, Bittencourt, Faganello e Salata (1986), Sampaio, Salcedo e Bettany

(1984), Trivelin, Victoria e Rodrigues (1995, 1996), Gava et al. (2001) e Trivelin et al. (2002a, b) obtiveram recuperação de fertilizantes nitrogenados (sulfato de amônio, uréia e aquamônia), de 0,2 a 54%.

Essas variações na recuperação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante pela cultura de cana-de-açúcar podem estar associadas, ainda, ao efeito residual do fertilizante no solo, devido sua elevada imobilização (COURTAILLAC et al., 1998) e também às perdas do N no sistema solo-planta, tais como as perdas por desnitrificação (TRIVELIN et al., 2002a), lixiviação (OLIVEIRA et al., 1999), volatilização da amônia (TRIVELIN et al., 2002a) e por meio das perdas gasosas de N pela parte aérea das plantas (HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994).

No entanto, nas condições brasileiras, os resultados de recuperação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante pela cana-de-açúcar, obtidos no ciclo de cana-planta em condições de campo, são incipientes. Portanto, é importante avaliar o aproveitamento do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante pela cana-planta em experimentos de campo, devido, principalmente, ao fato de que a adubação nitrogenada em cana-planta seja uma das questões ainda não esclarecidas no manejo dos canaviais e, com isso, a utilização de fertilizantes nitrogenados marcados com  $^{15}\text{N}$  auxiliaria no entendimento dessa lacuna. E, ainda, com a futura obrigatoriedade na colheita sem despalha a fogo, o balanço de  $^{15}\text{N}$ , realizado nos compartimentos da planta: folhas secas, colmo, ponteiro e raízes, fornecerá informações precisas sobre a reciclagem do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante no sistema solo-planta desde a implantação do canavial (cana-planta).

Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o aproveitamento da uréia- $^{15}\text{N}$  pela cultura de cana-de-açúcar (cana-planta) colhida sem queima.

## 4.2 Material e métodos

Para avaliar o aproveitamento do N-fertilizante pela cana-de-açúcar medida na colheita da cana-planta foram desenvolvidos dois experimentos nas Usinas São Luiz (Pirassununga, SP) e Santa Adélia (Jaboticabal, SP). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram três doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> na forma de uréia), mais uma testemunha sem aplicação de N.

No interior de cada parcela, onde foi aplicado o fertilizante nitrogenado, instalou-se uma microparcela, com dimensão de 2 m de comprimento e 1,5 m de largura, totalizando 3 m<sup>2</sup>, que

recebeu a uréia marcada com  $^{15}\text{N}$  (5,04% em átomos de  $^{15}\text{N}$ ). Os adubos foram cobertos manualmente com terra antes do plantio da cana-de-açúcar.

A colheita final foi realizada entre 7 a 10 de junho e 11 a 13 de julho de 2006, respectivamente, nos experimentos das Usinas São Luiz e Santa Adélia. A colheita, da parte aérea das plantas das microparcelsas com uréia- $^{15}\text{N}$  e também na testemunha, sem adubação nitrogenada, foi realizada manualmente em 1m de linha, no centro e em posições contíguas nas linhas adjacentes à microparcela, separando-se amostras de folhas secas, ponteiros e colmos. Nessas amostras, foi determinada a massa de material vegetal natural. Todo o material foi triturado em picadora mecânica de forragem. Depois da moagem e homogeneização de cada amostra úmida, retirou-se uma subamostra, que foi seca em estufa (65 °C), sendo determinado à umidade desse material. O material seco foi moído em moinho Wiley e usado nas determinações de N-total e de abundância de  $^{15}\text{N}$  (% em átomos de  $^{15}\text{N}$ ) no espectrômetro de massa ANCA/SL, modelo 20/20 da Europa Scientific, Krefe, U.K.

Após a colheita da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar das microparcelsas, foi realizada a amostragem de raízes, obtidas mediante o uso da sonda SONDA TERRA® (55 mm de diâmetro interno) no centro das microparcelsas. Essa amostragem foi realizada na profundidade de 0-60 cm seguindo metodologia proposta por Faroni e Trivelin (2006). As amostras de solo e raízes obtidas por sondagem nas microparcelsas com uréia- $^{15}\text{N}$  foram embaladas em sacos plástico, identificadas adequadamente e transportadas ao CENA/USP, em Piracicaba, onde se fez a separação do solo das raízes por peneiramento e a seco (malha da peneira - 2 mm). As raízes e rizomas separados do solo foram lavadas em água corrente, secas em estufa ventilada a 65°C e obtidas as massas de material seco. Em seguida realizou-se a moagem desse material em moinho tipo Wiley. Essas amostras foram submetidas às determinações de N-total e de abundância de  $^{15}\text{N}$  (% de átomos) por espectrometria de massas.

A recuperação (RN) do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na planta foi calculada por meio das equações:

$$\text{NPPF} = [(A - C)/(B - C)].\text{NT}$$

$$\text{RN} (\%) = (\text{NPPF}/\text{NAF}).100$$

significando: NPPF - N na planta proveniente do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante; A - abundância de  $^{15}\text{N}$  (% de átomos) da planta; B - abundância de  $^{15}\text{N}$  (5,04% de átomos) do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante; C - abundância natural de  $^{15}\text{N}$  (0,366% de átomos); NT - conteúdo de N na planta ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); RN - recuperação percentual do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante na planta; NAF - dose de N da fonte aplicada ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ao nível de 90 % de confiança. Para comparar o efeito de doses de N usou-se a análise de regressão polinomial.

### 4.3 Resultados e discussão

A recuperação da uréia-<sup>15</sup>N (kg ha<sup>-1</sup>), nas partes da planta na Usina Santa Adélia (USA), foi significativamente maior nos tratamentos em que se empregaram as doses mais elevadas de N (Tabela 4.1), exceção feita ao ponteiro, onde não houve efeito significativo. Esse fato pode ser devido a possíveis perdas de N pela parte aérea das plantas durante o processo de maturação fisiológica, haja vista que além da recuperação da uréia-<sup>15</sup>N no ponteiro ter sido semelhante entre os tratamentos, o acúmulo de N (kg ha<sup>-1</sup>), nessa parte da planta, foi menor nas doses de 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 - Recuperação da uréia-N<sup>15</sup> (kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar na colheita dos experimentos das Usinas Santa Adélia e São Luiz

Usina Santa Adélia						
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Colmo	Folha seca	Ponteiro	Parte aérea	Raiz	Pla. toda
	kg ha <sup>-1</sup>					
40	6,1	3,2	2,2	11,5	0,8	12,3
80	9,7	5,9	3,1	18,7	1,3	20,0
120	13,5	6,7	3,2	23,4	1,5	24,9
Teste F	5,37*	2,37*	1,02 <sup>NS</sup>	5,22*	3,58**	5,74*
R <sup>2</sup> – R.L.	0,99 <sup>NS</sup>	0,92**	NS	0,99*	0,95*	0,98*
R <sup>2</sup> – R.Q.	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	32,7	40,5	40,5	29,5	35,0	28,0
Usina São Luiz						
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Colmo	Folha seca	Ponteiro	Parte aérea	Raiz	Pla. toda
	kg ha <sup>-1</sup>					
40	6,1	2,0	2,7	10,8	1,4	12,2
80	14,5	3,9	7,4	25,8	2,2	28,0
120	12,0	5,4	5,5	22,9	2,5	25,4
Teste F	13,3*	11,5*	7,66**	25,51*	1,03 <sup>NS</sup>	28,14*
R <sup>2</sup> – R.L.	0,46*	0,99*	NS	0,58*	NS	0,61*
R <sup>2</sup> – R.Q.	0,99*	NS	0,99*	0,99*	NS	0,99*
C.V. (%)	21,9	27,2	32,7	15,9	56,6	14,7

Pla. Toda: Planta toda; <sup>NS</sup>: não significativo; \* e \*\* significativos, respectivamente, a 5 e 10 % de probabilidade



Na senescência foliar, durante o período de maturação fisiológica, o aumento da fotorrespiração e da hidrólise de proteínas é acompanhada pela redução nas atividades das enzimas glutamina sintetase (GS) e glutamato sintase (GOGAT) principais responsáveis pela assimilação da amônia (NH<sub>3</sub>) no metabolismo do nitrogênio nas plantas superiores. A redução na atividade dessas enzimas resulta no aumento da concentração de amônio (NH<sub>4</sub>) nas células das plantas (MATTSSON; HUSTED; SCHJOERRING, 1998). Como o NH<sub>4</sub> em altas concentrações é tóxico para os vegetais (HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994; MATTSSON; HUSTED; SCHJOERRING, 1998) esta redução pode resultar em perdas naturais de NH<sub>3</sub> junto à corrente transpiratória.

Tabela 4.2 - Acúmulo de nitrogênio (kg ha<sup>-1</sup>) nas partes das plantas de cana-de-açúcar na colheita da cultura nos experimentos das Usinas Santa Adélia e São Luiz

<b>Usina Santa Adélia</b>						
<b>Doses de N</b> <b>(kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Colmo</b>	<b>Folha seca</b>	<b>Ponteiro</b>	<b>Parte aérea</b>	<b>Raiz</b>	<b>Pla. toda</b>
	<b>N total, kg ha<sup>-1</sup></b>					
0	72,9	30,4	40,8	144,1	8,4	152,5
40	102,1	36,6	40,7	179,4	12,6	192,1
80	89,0	36,1	33,6	160,1	9,8	170,0
120	90,7	35,6	28,2	154,5	12,0	166,5
Teste F	1,93 <sup>NS</sup>	0,80 <sup>NS</sup>	3,19**	1,54 <sup>NS</sup>	2,04 <sup>NS</sup>	1,64 <sup>NS</sup>
R <sup>2</sup> – R.L.	NS	NS	0,90*	NS	NS	NS
R <sup>2</sup> – R.Q.	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	19,4	18,7	19,1	15,0	25,7	15,0
<b>Usina São Luiz</b>						
<b>Doses de N</b> <b>(kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Colmo</b>	<b>Folha seca</b>	<b>Ponteiro</b>	<b>Parte aérea</b>	<b>Raiz</b>	<b>Pla. toda</b>
	<b>N total, kg ha<sup>-1</sup></b>					
0	64,6	17,7	37,5	119,8	7,2	127,1
40	81,8	22,2	44,5	147,8	9,4	157,3
80	97,1	28,0	52,2	177,4	10,2	187,5
120	77,8	24,9	35,7	138,4	12,7	151,1
Teste F	2,99**	3,18**	3,33**	5,01*	1,83 <sup>NS</sup>	5,6*
R <sup>2</sup> – R.L.	NS	0,65*	NS	NS	0,96*	0,28*
R <sup>2</sup> – R.Q.	0,90*	NS	0,82*	0,86*	NS	0,88*
C.V. (%)	19,3	21,1	19,4	14,7	33,8	13,5

Pla. Toda: Planta toda; <sup>NS</sup>: não significativo; \* e \*\* significativos, respectivamente, a 5 e 10 % de probabilidade

Os resultados de recuperação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) na Usina São Luiz (USL) são semelhantes aos observados na USA, ou seja, aumento na recuperação da uréia- $^{15}\text{N}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) com o emprego de maiores doses de N (Tabela 4.1). No entanto, no ponteiro e no colmo ocorreram reduções na recuperação do tratamento com aplicação de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Os resultados, nessas partes da planta (ponteiro e colmo), contribuíram para uma menor recuperação da uréia- $^{15}\text{N}$  na parte aérea e planta toda da cana-de-açúcar (Tabela 4.1).

Os decréscimos observados na recuperação da uréia- $^{15}\text{N}$  no experimento da USL são corroborados pelos resultados de acúmulo de N (Tabela 4.2), tendo em vista que na maior dose de N ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) se obteve o menor acúmulo de N em relação ao da dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, em todas as partes da planta, excluindo-se as raízes, em que não houve diferença entre os tratamentos.

Os reduzidos valores de recuperação da uréia- $^{15}\text{N}$ , nos dois experimentos, especialmente na maior dose, podem ter como causa as perdas de  $^{15}\text{N}$ -fertilizante durante o ciclo da cultura. Essas perdas podem ter ocorrido por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , desnitrificação, volatilização de amônia do fertilizante e por perdas naturais de N pela folhagem da cultura durante o processo de maturação.

As perdas de N por lixiviação podem ser desconsideradas, pois, na maioria dos ensaios com o emprego de  $^{15}\text{N}$  em cana-de-açúcar constatou-se que essas perdas são pequenas. Bologna-Campbell (2007) não verificou perdas mensuráveis por lixiviação de nitrogênio derivado do fertilizante ( $^{15}\text{N}$ ). A autora observou que o N total lixiviado médio correspondeu a  $13,1 \text{ mg vaso}^{-1}$ , equivalendo a  $0,44 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo originado, provavelmente, do N nativo do solo. No trabalho de Ng Kee Kwong e Deville (1984), desenvolvido em lisímetros cultivados com cana-de-açúcar, não ocorreram perdas de N por lixiviação, mesmo em condições de elevada pluviosidade média anual, 1300 e 3200 mm, em duas regiões das Ilhas Maurício. O fato foi atribuído à imobilização microbiológica e também ao movimento mais lento de  $\text{NO}_3$  em relação ao da água percolada. Oliveira et al. (1999) também não constataram perdas de N por lixiviação utilizando a técnica isotópica ( $^{15}\text{N}$ ). Aliado a isso, na USA Ghiberto et al. (2007) monitoraram o fluxo de água no solo no ciclo de cana-planta, mediante a utilização de tensiômetros e extratores de solução do solo, e verificaram a lixiviação de  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, porém, as perdas de  $^{15}\text{N}$  proveniente do fertilizante foram desprezíveis, sendo de  $21 \text{ g ha}^{-1}$  de N.

Outra via de saída de N está ligada a perdas por desnitrificação do  $\text{NO}_3^-$  derivado do fertilizante, o que pode ter ocorrido, principalmente, no primeiro mês após a adubação (março) na USL, devido à ocorrência de elevada pluviosidade (Anexo A), aliada à incorporação ao solo de resíduos culturais do ciclo anterior e ao consumo de  $\text{O}_2$  pelos microrganismos (quimiorganotróficos anaeróbios facultativos), o que, possivelmente, proporcionou condições de anaerobiose. Na USA acredita-se que este fenômeno não tenha ocorrido, pois as chuvas (Anexo A) foram menos intensas nos primeiros meses após a adubação nitrogenada (abril e maio de 2005).

A ocorrência de volatilização de amônia após a hidrólise da uréia pode ser desconsiderada, devido ao modo de aplicação do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante (no fundo do sulco de plantio seguido de incorporação ao solo). Segundo Trivelin et al. (2002a) quando a uréia é incorporada ao solo numa profundidade entre 15 a 25 cm, as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização são desprezíveis.

Portanto, a principal perda de N do sistema solo-planta pode ser atribuída à volatilização de amônia pela parte aérea das plantas, conforme discutido anteriormente. As perdas de N pela parte aérea da cana-de-açúcar foram estimadas, indiretamente, por Ng Kee Kwong e Deville (1984) e Trivelin et al. (2002a), respectivamente, nas Ilhas Maurício e no Brasil como sendo da ordem de  $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , de mesma grandeza das doses de N aplicadas nas fertilizações de canaviais.

Nos dois locais a distribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta não variou com a dose de N. Na USL essa distribuição foi a seguinte: 50% nos colmos, 17% nas folhas secas, 23% nos ponteiros e 10% nas raízes, aproximadamente (Tabela 4.1). Na USA (Tabela 4.1) a distribuição aproximou-se da anterior (27% do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante foi encontrado nas folhas secas, 16% nos ponteiros, 6% nas raízes e o restante nos colmos). Os resultados obtidos nas folhas secas sugerem que a absorção da uréia- $^{15}\text{N}$  na USA foi mais rápida do que na USL, independente do fertilizante ter sido aplicado 45 dias após a aplicação feita na USL, sendo isso devido, possivelmente, há melhores condições de desenvolvimento do sistema radicular da cana-planta na USA (melhor ambiente de produção). Trivelin et al. (2002b) e Bologna-Campbell (2007) constataram, no momento da colheita da cana-planta cultivada em lisímetros, que cerca de 40% do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante absorvido pela cana-de-açúcar estavam nas folhas secas, 22% na parte subterrânea, 19% nos colmos e 15% nos ponteiros. Segundo os autores, o maior acúmulo de

nitrogênio derivado do fertilizante nas folhas secas da cana-de-açúcar foi devido à maior absorção do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

Por outro lado, os resultados de distribuição da uréia- $^{15}\text{N}$  (Tabela 4.1) e do N acumulado na planta (Tabela 4.2) mostram o benefício da colheita sem despalha a fogo, tendo em vista que cerca de 20% do N total e da uréia- $^{15}\text{N}$  presentes na planta toda estavam contidos nas folhas secas, quantidades estas que seriam perdidas para atmosfera pela queima do canavial antes da colheita.

O N absorvido da uréia representou em média 11,1% e 12,3% do total acumulado na planta toda, respectivamente, na USA e USL. Sampaio, Salcedo e Bettany (1984) avaliaram que a contribuição do N da uréia para as doses de 20 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de N foi menos que 10% do total acumulado na planta toda de cana-de-açúcar. Trivelin et al. (2002b) obtiveram um valor de 11,5% para as doses de N de 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> aplicados na forma de uréia; Gava et al. (2001) verificaram que o N na planta proveniente do fertilizante representou 10 a 16% do N total acumulado na parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar, enquanto Trivelin et al. (1995) obtiveram um valor menor que 15% em cana-soca de fim de safra. No entanto, Bologna-Campbell (2007) constatou contribuição mais elevada, variando de 9,5 a 27,2%, com resposta linear para as doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup>), em todas as partes da planta.

Com base nos resultados da literatura e nos deste trabalho, pode-se afirmar que independente das condições experimentais, o N na planta proveniente do fertilizante quantificado na colheita da cultura representa uma pequena fração do N total acumulado pela cana-de-açúcar. Como efeito, as principais fontes de N para cultura no ciclo agrícola de cana-planta devem ter sido a mineralização da matéria orgânica nativa do solo e de resíduos culturais (NG KEE KWONG et al., 1987; SAMPAIO et al., 1995), e a fixação biológica do N atmosférico (URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992). Entretanto, não deve ser desconsiderada a hipótese de maior aproveitamento da uréia- $^{15}\text{N}$  durante o ciclo de crescimento da planta, considerando a ocorrência de perdas de N pela parte aérea conforme mencionado anteriormente.

Em relação à recuperação porcentual, os resultados da USA não apresentaram diferenças significativas entre si dentro de cada compartimento de planta, exceção observada no ponteiro onde ocorreu redução na recuperação com o aumento da dose de N (Tabela 4.3). Na USL as reduções foram verificadas em todos os compartimentos, exceto nas raízes e ponteiros (Tabela 4.3). Sampaio, Salcedo e Bettany (1984) constataram redução na porcentagem de recuperação do

$^{15}\text{N}$ -fertilizante com o aumento das doses de N, mesmo ocorrendo aumento nos valores absolutos de recuperação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Muitas vezes, a redução na recuperação percentual do  $^{15}\text{N}$ -fertilizante com o aumento das doses é justificada pelas perdas do N aplicado no sistema solo-planta.

A recuperação (%) de uréia- $^{15}\text{N}$  pela cana-planta (planta toda) na média dos experimentos foi de 30, 30 e 21%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120  $\text{kg ha}^{-1}$  de N (Tabela 4.3). Esses valores de recuperação estão de acordo com os resultados da literatura para condições de campo, de 10 a 50% (WONG YOU CHEONG; NG KEE KWONG; CAVALOT, 1980; SAMPAIO; SALCEDO; BETTANY, 1984; WENG; CHAN; LI, 1991; CHAPMAN; HAYSOM; SAFFIGNA, 1994; TRIVELIN; VICTORIA; RODRIGUES, 1995 e 1996; GAVA et al., 2001).

Tabela 4.3 - Recuperação da uréia- $^{15}\text{N}$  (%) na colheita da cultura de cana-de-açúcar nos experimentos das Usinas Santa Adélia e São Luiz

<b>Usina Santa Adélia</b>						
<b>Doses de N</b> <b>(<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	<b>Colmo</b>	<b>Folha seca</b>	<b>Ponteiro</b>	<b>Parte aérea</b>	<b>Raiz</b>	<b>Pla. toda</b>
	%					
40	15,2	8,1	5,4	28,8	1,9	30,6
80	12,1	7,3	3,9	23,4	1,6	25,0
120	11,3	5,6	2,7	19,5	1,3	20,8
Teste F	0,89 <sup>NS</sup>	1,33 <sup>NS</sup>	3,85**	1,87 <sup>NS</sup>	1,19 <sup>NS</sup>	2,05 <sup>NS</sup>
R <sup>2</sup> – R.L.	NS	NS	0,99*	NS	NS	0,99**
R <sup>2</sup> – R.Q.	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	34,4	31,6	35,0	28,6	35,5	27,1
<b>Usina São Luiz</b>						
<b>Doses de N</b> <b>(<math>\text{kg ha}^{-1}</math>)</b>	<b>Colmo</b>	<b>Folha seca</b>	<b>Ponteiro</b>	<b>Parte aérea</b>	<b>Raiz</b>	<b>Pla. toda</b>
	%					
40	15,2	4,9	6,8	26,9	3,4	30,3
80	18,2	4,8	9,3	32,2	2,7	35,0
120	10,0	4,5	4,6	19,1	2,1	21,1
Teste F	6,90*	0,16 <sup>NS</sup>	6,34*	13,47*	0,95 <sup>NS</sup>	13,43*
R <sup>2</sup> – R.L.	0,39*	NS	NS	0,35*	NS	0,43*
R <sup>2</sup> – R.Q.	0,99*	NS	0,99*	0,99*	NS	0,99*
C.V. (%)	21,9	22,9	27,0	13,9	50,7	13,3

Pla. Toda: Planta toda; <sup>NS</sup>: não significativo; \* e \*\* significativos, respectivamente, a 5 e 10 % de probabilidade

#### 4.4 Conclusões

1. A recuperação (%) da uréia-<sup>15</sup>N pela cana-planta (planta toda) na média dos experimentos foi de 30, 30 e 21%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N.
2. O N absorvido da uréia representou em média 11,7% do N total acumulado pela planta toda.
3. A distribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante nas diversas partes da planta não variou com a dose de N, e na média dos tratamentos foi de: 50% nos colmos, 22% nas folhas secas, 20% nos ponteiros e 8% nas raízes.

#### Referências

- BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 26-33, 1986.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C.; SAFFIGNA, P.G. The recovery of <sup>15</sup>N from labelled urea fertilizer in crop components of sugarcane and in soil profiles. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 45, p. 1577-1585, 1994.
- 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. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Amsterdam, v. 52, p. 9-17, 1998.
- FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, 2006.
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GHIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Lixiviação de nitrogênio em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais ...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

HOLTAN-HARTWING, L.; BOCKMAN, O.C. Ammonia exchange between crops and air. **Norwegian Journal of Agricultural Sciences**, Norwegian, suppl. 14, p. 1-41, 1994.

MATTSSON, M, HUSTED, S., SCHJOERRING, J. K. Influence of nutrition and metabolism on ammonia volatilization in plants. **Nutrient Cycling in Agroecosystem**, Amsterdam, v. 51, p. 35-40, 1998.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J. Nitrogen leaching from soils cropped with sugarcane under the humid tropical climate of Mauritius, Indian Ocean. **Journal Environmental Quality**, Amsterdam, v. 13, n. 3, p. 471-474, 1984.

\_\_\_\_\_. Application of  $^{15}\text{N}$ -labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 39, p. 223-228, 1994.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 102, p. 79-83, 1987.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; VITTI, A.C. Lixiviação de nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar: experimento em lisímetro. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 18, n. 2, p. 28-31, 1999.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência de utilização de uréia- $^{15}\text{N}$  em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 8, p. 943-949, 1984.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M.; ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 269-279, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIQUES, J.C. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia- $^{15}\text{N}$  e aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p.1375-1385, 1995.

\_\_\_\_\_. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia- $^{15}\text{N}$  e uréia- $^{15}\text{N}$  aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas do nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 193-201, 2002a.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; G. A. SARRIÉS 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**, Viçosa, v. 37, p. 193-201, 2002b.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 105-114, 1992.

WENG, T.; CHAN, Y.; LI, S. Effects of various forms of nitrogen fertilizers and application methods on sugarcane yield and nitrogen uptake. **Taiwan Sugar**, Taipei, v. 38, n. 6, p. 22-24, 1991.

WONG YOU CHEONG, Y.; NG KEE KWONG, K.F.; CAVALOT, P.C. Comparative study of ammonium and nitrate fertilizers in two soils of Mauritius cropped with sugar-cane. In: RESEARCH COORDINATION MEETING IN SOIL NITROGEN AS FERTILIZER OR POLLUTANT, 1978, Piracicaba. **Proceedings ...** Vienna: IAEA, 1980. p. 351-367.



## 5 EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES PELA CANA-PLANTA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

### Resumo

As quantidades de nutrientes extraídas do solo pela cana-de-açúcar variam de acordo com os métodos de cultivo, com o cultivar e disponibilidade de nutrientes. Sendo assim, poder-se-ia esperar diferenças entre plantas tratadas ou não com nitrogênio no ciclo de cana-planta? Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar a extração de nutrientes pela cana-planta, avaliada na colheita, relacionando à adubação nitrogenada de plantio. Dois experimentos foram desenvolvidos em áreas comerciais das Usinas São Luiz (Pirassununga, SP) e Santa Adélia (Jaboticabal, SP). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso e os tratamentos foram três doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> na forma de uréia), mais uma testemunha. A extração foi quantificada em colmos, folhas secas, ponteiros, raízes e rizomas amostrados na colheita da cana-planta. Determinou-se os teores dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn na parte aérea, e dos macronutrientes no sistema radicular. A adubação nitrogenada de plantio aumentou a extração de nutrientes pela cana-de-açúcar nos dois experimentos. Na USL os nutrientes incrementados com as doses de N foram: N, P, K, Ca, S, Cu e Fe, e na USA foram o Ca, Mg, S, Mn e Zn. A aplicação de N no plantio da cana-de-açúcar proporcionou maiores acúmulos de nutrientes na parte subterrânea (raízes e rizomas), a saber: USL – N, P, Ca, Mg e S; USA – P e Ca. O incremento nas reservas nutricionais da planta pode resultar em ganho de produtividade na safra subsequente (efeito residual da adubação nitrogenada). Na média dos experimentos para a produção de 1TCH foram necessários: 1,4 kg de N, 0,3 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,15 kg de P), 3,9 kg de K<sub>2</sub>O (3,24 kg de K), 0,8 kg de CaO (0,60 kg de Ca), 0,4 kg de MgO (0,26 kg de Mg), 0,8 kg de SO<sub>4</sub> (0,28 kg de S), 53 g de Fe, 15 g de Mn, 2,2 g de Zn, 1,3 g de B e 0,6 g de Cu. A ordem de grandeza na extração dos nutrientes foi a seguinte: K<sub>2</sub>O > N > SO<sub>4</sub> = CaO > MgO > P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Palavras-chave: Macronutrientes; Micronutrientes; Nutrição de plantas; *Saccharum* spp.; Ureia

### Nutrient uptake by plant cane as a function of nitrogen fertilization

#### Abstract

The amounts of nutrients extracted from the soil by sugarcane vary depending on cultivation methods, varieties, and availability of nutrients. In view of this, are differences expected between plants treated with nitrogen and plants grown without N in the plant cane cycle? To address this question, the objective of this chapter was to evaluate nutrient uptake by plant cane at harvest as a function of nitrogen fertilization at planting. Two experiments were conducted in commercial areas at Sugar Mills São Luiz (Pirassununga contie) and Santa Adélia (Jaboticabal contie). The experimental design was organized as random blocks and treatments consisted of 3 N rates (40, 80, and 120 kg ha<sup>-1</sup> N in the form of urea) and a control. Uptake was

evaluated in samples of stalks, dry leaves, leader shoots, roots, and rhizomes collected at plant cane harvest. After processing the samples, determinations were made for N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, and Zn contents in the above-ground part and for macronutrient contents in the root system. Nitrogen fertilization at planting increased nutrient uptake by the whole plant in both experiments. At USL, nutrients with increased uptake were: N, P, K, Ca, S, Cu, and Fe; at USA increased uptake values were observed for Ca, Mg, S, Mn, and Zn. N application at plant cane planting provided higher accumulation of nutrients in the underground part of the crop (roots and rhizomes), namely: USL – N, P, Ca, Mg, and S; USA – P and Ca. Such increase in the plant's nutritional reserves can provide substantial gains in productivity during the subsequent cropping season (nitrogen fertilization residual effect). In the average of the experiments, the following amounts were extracted for the production of 1TSS: 1.4 kg N, 0.3 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3.9 kg K<sub>2</sub>O, 0.8 kg CaO, 0.4 kg MgO, 0.8 kg SO<sub>4</sub>, 53 g Fe, 15 g Mn, 2.2 g Zn, 1.3 g B, and 0.6 g Cu. The order of magnitude for nutrient uptake was as follows: K<sub>2</sub>O > N > SO<sub>4</sub> = CaO > MgO > P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> > Fe > Mn > Zn > B > Cu.

Keywords: Macronutrients; Micronutrients; Plant nutrition; *Saccharum* spp.; Urea

## 5.1 Introdução

As exigências minerais da cana-de-açúcar, assim como as quantidades de nutrientes removidas pela cultura são conhecimentos fundamentais para o estudo da adubação, indicando as quantidades de nutrientes a serem fornecidas (COLETI et al., 2006). Aliado a isto, as quantidades de nutrientes extraídas do solo pela cana-de-açúcar variam de acordo com os métodos de cultivo, cultivares e disponibilidade de nutrientes (FAUCONENNIER; BASSEREAU, 1975 apud TASSO JUNIOR et al., 2007). Sendo assim, existiriam diferenças entre plantas tratadas ou não com nitrogênio no ciclo de cana-planta?

No setor canavieiro desconhece-se a causa pela qual a cana-de-açúcar (cana-planta) é pouco responsiva à adubação nitrogenada. Entretanto, com as rebrotas (cana-soca) observa-se resposta na produção de colmos a essa prática (CARNAÚBA, 1990).

O aumento na produtividade da cana-de-açúcar (cana-planta) em resposta à adubação nitrogenada foi constatado por Silveira e Crocomo (1990) em estudo de assimilação de N em cana-planta, na presença de elevada dose de N; por Korndörfer et al. (1997), com quatro cultivares de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico, distrófico, de textura média; e por Orlando Filho et al. (1999) em um solo argiloso eutrófico.

Além de aumentar a produtividade de colmos de cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada de plantio pode ainda gerar efeito sinérgico na absorção de outros nutrientes (FRANCO et al., 2007a). Por outro lado, durante a senescência das folhas as proteínas dos cloroplastos são degradadas, e frações de nitrogênio podem ser deslocadas pelo floema para outros órgãos das plantas, tais como raízes e rizomas (FELLER; FISCHER, 1994). Este mecanismo poderá contar também com a contribuição de outros elementos, entre eles os macronutrientes móveis no floema (P, K e Mg).

A hipótese de direcionamento das reservas da planta para a parte subterrânea (raízes e rizomas) para posterior utilização pela cultura foi evidenciada por Trivelin, Coleti e Lara Cabezas (1984), os quais verificaram que 7% do nitrogênio aplicado na parte aérea da planta foi translocado ao sistema radicular e posteriormente utilizado pela primeira rebrota da cana-de-açúcar. Possivelmente, essa translocação de nutrientes seja um mecanismo que garante o melhor vigor do sistema radicular e da rebrota no próximo ciclo (TRIVELIN et al., 2002), motivo pelo qual a cana-de-açúcar deva ser considerada cultura perene e a denominação de semi-perene seja caracterizada apenas pela renovação periódica dos canaviais.

Neste contexto, o conhecimento das quantidades de nutrientes extraídas pela cana-de-açúcar pode vir a auxiliar os estudos de adubação de cana-planta, pois no caso de a adição de N promover maior estoque de nutrientes nos compartimentos da cana-de-açúcar, sobretudo, nos órgãos de reserva, tal fato ajudará a dar suporte à aplicação de N no plantio dos canaviais, objetivando, além da produtividade da cana-planta, o possível aumento na produtividade das soqueiras. Vittti et al. (2007) constataram que a adubação nitrogenada realizada numa soca aumentou a produtividade da soca subsequente, tendo isso relação direta com a quantidade de N e S presente nos órgãos de reserva da cultura (raízes e rizomas).

Pelo exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar a extração de nutrientes pela cultura de cana-de-açúcar, ao final do ciclo de cana-planta, relacionada com a adubação nitrogenada.

## **5.2 Material e métodos**

Em dois experimentos (Usinas São Luiz - Pirassununga, SP e Usina Santa Adélia – Jaboaticabal, SP) foi avaliada a extração de nutrientes pela cana-de-açúcar medida na colheita da cana-planta. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os

tratamentos foram três doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> na forma de uréia) aplicados no fundo do sulco de plantio, mais uma testemunha sem aplicação de N.

Ao término do ciclo da cana-planta foram realizadas amostragens da parte aérea e do sistema radicular com o objetivo de se quantificar a massa de material seco dos compartimentos da planta (colmos, folhas secas, ponteiros, raízes e rizomas). A colheita da parte aérea foi realizada em microparcels, como descrito no capítulo anterior. Nessa amostragem as plantas de cana-de-açúcar foram separadas em colmos, folhas secas e ponteiro; após pesagem as amostras foram moídas em picadora de forragem, subamostradas para determinação da umidade após secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C. As amostras secas em estufa foram moídas em moinho de facas tipo Wiley, e posteriormente realizadas as determinações de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) no laboratório de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Após a colheita da parte aérea das plantas das microparcels, foi realizada a amostragem de raízes, obtidas mediante o uso da sonda SONDA TERRA® (55 mm de diâmetro interno) no centro das microparcels. Essa amostragem foi realizada na profundidade de 0-60 cm seguindo metodologia proposta por Faroni e Trivelin (2006). As amostras de raízes e solo obtidas por sondagem foram separadas por peneiramento e a seco (malha da peneira - 2 mm). As raízes separadas do solo foram lavadas em água corrente, secas em estufa ventilada a 65°C e obtidas as massas de material seco; em seguida realizou-se a moagem desse material em moinho tipo Wiley. Essas amostras foram submetidas às determinações de macronutrientes no IAC.

A produção de rizoma foi avaliada nas parcelas de tratamentos correspondentes mas em local diferente ao das microparcels. Foram abertas trincheiras com as seguintes dimensões: 1,0 m de comprimento na linha, 1,5m de largura e 0,60m de profundidade. Todo sistema radicular presente na trincheira foi separado do solo mediante peneiramento e em seguida separou-se as raízes dos rizomas. Após determinação da massa natural dos rizomas, sub-amostras foram obtidas para determinação da massa de material seco, utilizando-se do mesmo procedimento empregado para as raízes.

Com os resultados de produção de massa seca dos compartimentos da cana-planta (kg ha<sup>-1</sup>), e das concentrações de nutrientes correspondentes (g kg<sup>-1</sup> e mg kg<sup>-1</sup>), obteve-se a extração de nutrientes pela cana-planta. A extração de macronutrientes foi mensurada em todos os compartimentos de planta, porém a extração de micronutrientes foi efetuada apenas na parte

aérea. Determinou-se a extração total de nutrientes e também a extração obtida para a produção de 100 toneladas de colmos industrializáveis (TCH). A TCH foi obtida na colheita da cana-de-açúcar de todas as parcelas com cana-planta (4 blocos), mediante o corte de toda a cana em 4 eitos de 15 m de linha cada com máquina colhedora das Usinas e pesagem com caminhão instrumentado com célula de carga do CTC.

As Tabelas 5.1 e 5.2 apresentam as caracterizações químicas do solo até 1 m de profundidade antes da instalação dos experimentos. A Tabela 5.3 relaciona os atributos químicos do solo nas profundidades de 0-25 cm e 25-50 cm antes e depois do ciclo de cana-planta. Os atributos químicos de solo foram analisados segundo as metodologias: pH -  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$  (RAIJ et al., 2001); M.O. – Matéria orgânica, método colorimétrico (RAIJ et al., 2001); P - Extração por resina trocadora de íons e determinação por colorimetria (RAIJ et al., 2001); S -  $\text{NH}_4$  OAc 0,5N em HOAc 0,25N (VITTI, 1989); K – Extração por resina trocadora de íons e determinação por fotometria de chama (RAIJ et al., 2001); Ca e Mg – Extração por resina trocadora de íons e determinação por espectrometria de absorção atômica (RAIJ et al., 2001); H+Al – Determinação por potenciometria em solução tampão SMP (RAIJ et al., 2001).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ao nível de 90 % de confiança. Para comparar o efeito de doses de N usou-se a análise de regressão polinomial.

Tabela 5.1 - Caracterização química de amostras de terra da área experimental (USL) obtida de amostras compostas da entre linha em novembro de 2004

Determinações	Profundidade (cm)				Determinações	Profundidade (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100		0-25	25-50	50-75	75-100
pH ( $\text{CaCl}_2$ )	5,5	4,7	4,6	4,6	CTC ( $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$ )	59,6	44,8	38,6	34,7
M.O ( $\text{g dm}^{-3}$ )	20	13	10	8	V (%)	66	31	28	28
P resina ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	9	6	2	4	m (%)	2,5	18	22	24
K ( $\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ )	2,4	1,0	0,8	0,7	S- $\text{SO}_4$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	6	45	68	74
Ca ( $\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ )	29	10	7	6	Cu ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	1,2	0,9	0,6	0,4
Mg ( $\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ )	8	3	3	3	Fe ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	25	20	11	7
H+Al ( $\text{mmol}_c\text{dm}^{-3}$ )	20	31	28	25	Zn ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,4	0,4	0,3	0,5
Al ( $\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ )	1	3	3	3	Mn ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	3,4	0,4	0,3	0,5
SB ( $\text{mmol}_c\text{ dm}^{-3}$ )	39,4	14,0	10,9	9,7	B ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	0,17	0,18	0,14	0,12

Tabela 5.2 - Caracterização química de amostras de terra da área experimental (USA) obtida de amostras compostas da entre linha em novembro de 2004

Determinações	Profundidade (cm)				Determinações	Profundidade (cm)			
	0-25	25-50	50-75	75-100		0-25	25-50	50-75	75-100
pH (CaCl <sub>2</sub> )	5,1	4,2	4,3	4,8	CTC (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	47,7	41,1	41,3	33,8
M.O (g dm <sup>-3</sup> )	16	11	10	8	V (%)	42	17	17	33
P resina (mg dm <sup>-3</sup> )	15	5	2	2	m (%)	4,8	54	54	8
K (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	3,9	1,8	2,0	3,3	S-SO <sub>4</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	4	38	71	68
Ca (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	11	4	4	6	Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	0,7	0,4	0,3	0,2
Mg (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5	1	1	2	Fe (mg dm <sup>-3</sup> )	16	11	6	4
H+Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	28	34	34	22	Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	0,5	0,4	0,1	0,2
Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1	8	6	1	Mn (mg dm <sup>-3</sup> )	20,4	9,4	13,9	11,7
SB (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	19,9	6,8	7,0	11,3	B (mg dm <sup>-3</sup> )	0,24	0,21	0,16	0,14

Tabela 5.3 - Atributos químicos do solo das duas áreas experimentais antes e depois do ciclo da cana-planta

Usina	Época	Profundidade cm	M.O.	pH	P	S	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
			g dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>			mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>				%	
USL	antes	0 a 25	20	5,5	9	6	2,4	29	8	20	39,4	59,6	66
		25 a 50	13	4,7	6	45	1,0	10	3	31	14,0	44,8	31
	depois	0 a 25	21	5,9	5	2	1,9	35	9	15	45,4	60,4	75
		25 a 50	16	5,2	2	12	1,4	14	4	19	19,1	38,6	49
USA	antes	0 a 25	16	5,1	15	4	3,9	11	5	28	19,9	47,7	42
		25 a 50	11	4,2	5	38	1,8	4	1	34	6,8	41,1	17
	depois	0 a 25	21	5,4	15	2	3,2	21	12	22	35,8	57,7	62
		25 a 50	16	4,5	6	22	2,2	9	4	31	15,1	46,2	32

### 5.3 Resultados e discussão

A extração de N aumentou com a adubação nitrogenada no experimento da USL em todos os compartimentos da planta, exceção ao rizoma (Tabela 5.4). A dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que resultou nas maiores médias. Em experimento desenvolvido em vasos, Trivelin et al. (2002) e Franco et al. (2007a) também observaram aumento na extração de N pela cana-planta de ano (SP80 1842), tanto na parte aérea como na parte subterrânea, em função da adubação nitrogenada

de plantio. Korndörfer et al. (1997) em estudo com quatro cultivares de cana-de-açúcar (RB72 454, SP70 1143, SP71 6163 e SP71 1406) no ciclo de cana-plantar, verificaram relação direta na acumulação de N da parte aérea com a dose de N. Bologna-Campbell (2007) também constatou aumentos lineares na extração de N pela cana-de-açúcar com o aumento das doses de N da adubação de plantio.

No experimento da USA não houve diferença entre os tratamentos nas quantidades de N extraídas pelas plantas (Tabela 5.4), possivelmente como efeito da fertilidade do solo (Tabelas 5.1 e 5.2), e também pela quantidade de N (cerca de 200 kg ha<sup>-1</sup>) incorporada ao solo no plantio (vide capítulo 2, e FRANCO et al., 2007b). Além disso, no experimento da USA as plantas extraíram mais N em relação às da USL, possivelmente decorrente dos fatores mencionados.

Tabela 5.4 - Extração de nitrogênio (N, kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	N, kg ha <sup>-1</sup>							
0	65	18	38	120	6	14	20	140
40	81	22	45	148	12	9	21	169
80	97	28	52	177	11	26	37	214
120	78	25	36	139	12	16	28	167
média	80	23	42	146	10	16	27	173
F-doses	2,9*	3,1*	3,4*	4,9**	3,7*	NS	2,9*	6,0**
F-linear	NS	5,9**	NS	NS	5,9**	NS	3,7*	4,9*
F-quad.	5,2**	NS	8,3**	9,6**	NS	NS	NS	9,4**
CV (%)	20	21	19	15	27	56	34	15

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	N, kg ha <sup>-1</sup>							
0	73	30	41	144	12	37	48	192
40	103	37	41	179	12	28	40	219
80	89	37	35	160	9	33	42	202
120	91	36	28	155	11	38	49	203
média	89	35	36	160	11	34	45	204
F-doses	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	19	19	19	15	38	17	19	11

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

As quantidades de N extraídas pela planta toda de todos os tratamentos nos dois experimentos são bem maiores que as doses de N aplicadas. Como efeito pode-se inferir que a maior parte do N absorvido pelas plantas foi oriunda de outras fontes, podendo-se destacar a mineralização da matéria orgânica nativa do solo e de resíduos culturais (NG KEE KWONG et al., 1987; SAMPAIO et al., 1995), e a fixação biológica do N atmosférico (URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992).

Os tratamentos não influíram na distribuição percentual do N na planta, indicando não serem essas grandezas influenciadas pela disponibilidade ou restrição do nutriente à cultura (TRIVELIN et al., 2002). De uma maneira geral, para todos os outros nutrientes avaliados, também se observou isso (Tabelas 5.5 a 5.14).

A distribuição do N na planta na USL seguiu a seguinte ordem decrescente de grandeza: colmos (46%); ponteiros (24%); folhas secas (13%); rizomas (9%) e raízes (6%). A parte aérea da cana-planta extraiu 84% do N total, e se considerarmos apenas esta parte, a distribuição do nutriente foi de 55% nos colmos, 29% nos ponteiros e 16% nas folhas secas. Como a colheita foi efetuada sem despalha a fogo, conservaram-se no sistema solo-planta aproximadamente 40% do N total extraído pela cultura (70 kg ha<sup>-1</sup> de N, na média de todos os tratamentos), que seriam perdidos, em sua maioria, para atmosfera na forma de NO<sub>x</sub>, mediante a ação das altas temperaturas (>800°C) geradas pela queimada do canavial. Resultados semelhantes quanto à quantidade de N (kg ha<sup>-1</sup>) preservada no sistema de cana-crua foram obtidos no experimento da USA.

Na USA os colmos extraíram 44% do N total da planta toda, seguidos pelos ponteiros, rizomas e folhas secas que extraíram quantidades muito semelhantes (17% do N total), com as raízes acumulando apenas 5% do N total. Pelos resultados, nota-se que no experimento da USA o acúmulo de N além de ter sido maior que o obtido na USL, foi mais distribuído entre os compartimentos, destacando-se a quantidade obtida nos rizomas. Comparando os resultados médios da parte subterrânea dos experimentos verifica-se que na USA há cerca de 20 kg ha<sup>-1</sup> de N a mais nesses órgãos de reserva, o que, provavelmente, poderão resultar em maior produtividade da 1ª soqueira nesse experimento em relação ao da USL. Esses resultados explicam, em parte, as altas produtividades de colmos das soqueiras obtidas nessa Usina em ciclos anteriores ao deste experimento, com destacada longevidade de seus talhões. Obviamente,



existem outros fatores envolvidos na produtividade, porém, não deixa de ser um fato que merece destaque.

A adubação nitrogenada de plantio resultou em sinergismo na absorção de P no experimento da USL, na quantidade acumulada nas diferentes partes, que acabou refletindo na extração total da parte aérea e planta toda (Tabela 5.5). Além desses compartimentos, a quantidade de P das raízes também aumentou com a adubação nitrogenada, apesar de ter sido pequena, porém a quantidade obtida nos tratamentos com N foi mais que o dobro da quantidade extraída pela testemunha. O fósforo propicia maior desenvolvimento de raízes, pois, o nutriente atua na taxa fotossintética das folhas. Em condições adequadas de suprimento de fósforo, as folhas produzem mais fotoassimilados, e dependendo da espécie vegetal e estágio de desenvolvimento da planta, são redistribuídos para as raízes (25 a 50 %), onde auxilia no desenvolvimento, respiração e outras funções como a absorção de íons (MARSCHNER, 1995).

Tabela 5.5 - Extração de fósforo (P, kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
	P, kg ha <sup>-1</sup>							
0	4,8	4,3	0,9	10,0	0,4	1,6	2,0	12,0
40	6,0	4,4	0,9	11,4	0,8	0,7	1,5	12,9
80	8,5	4,7	1,1	14,3	0,7	3,0	3,7	18,0
120	6,1	4,0	1,2	11,4	1,0	2,2	3,2	14,6
média	6,4	4,4	1,1	11,8	0,7	1,9	2,6	14,4
F-doses	3,6*	NS	NS	3,7*	5,1**	NS	NS	5,7**
F-linear	NS	NS	NS	NS	10,7*	NS	NS	6,4**
F-quad.	5,9**	NS	NS	6,2**	NS	NS	NS	4,2*
CV (%)	26	49	17	16	30	73	54	15

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
	P, kg ha <sup>-1</sup>							
0	11,7	2,2	3,8	17,7	1,6	4,5	6,2	23,9
40	14,3	2,5	4,2	21,0	1,5	5,2	6,7	27,7
80	15,1	2,4	3,6	21,1	1,0	4,3	5,3	26,4
120	14,2	2,5	4,1	20,8	1,2	3,8	4,9	25,7
média	13,8	2,4	3,9	21,1	1,3	4,5	5,8	26,9
F-doses	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,2*	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS	6,5**	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	20	31	22	17	35	17	16	12

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

De forma oposta, no experimento da USA não houve resposta a adição de N na extração de P pela cana-planta, exceção feita à parte subterrânea, em que a extração de P foi menor nas maiores doses de N (Tabela 5.5). Franco et al. (2007a) observaram resposta altamente significativa da adubação nitrogenada de plantio no acúmulo de P na parte subterrânea da cana-planta de ano, porém na parte aérea não observaram incrementos nas quantidades extraídas de P.

Há de se destacar que as quantidades de P extraídas pela cultura no experimento da USA foram cerca de 90% maiores que as obtidas na USL, devido, principalmente, a melhor condição de fertilidade do solo na USA, o que deve ter proporcionado maior crescimento radicular e, principalmente, aos teores de P no solo após a colheita (Tabela 5.3), tendo em conta que na amostragem de solo efetuada antes da instalação dos experimentos (Tabelas 5.1 e 5.2) os teores de P dos dois experimentos apresentaram-se semelhantes. Outra explicação seria o sinergismo entre P e N dentro da planta, pois devido à maior extração de N pelas plantas na USA, seria necessário maior quantidade de P para a síntese desse N. O fósforo é constituinte do núcleo das células, sendo essencial para a divisão celular e desenvolvimento do tecido meristemático do vegetal. Em vista disso, apresenta impacto decisivo na fotossíntese, síntese de proteínas e ácidos nucléicos. Portanto, a deficiência de fósforo na planta, reduz a síntese de aminoácidos e proteínas (SAWAN; HAFEZ; BASYONY, 2001).

Na média dos tratamentos do experimento USL, os colmos continham 44% do P total, as folhas secas 31%, os rizomas 13%, os ponteiros 8% e as raízes 5%. Na USA esta distribuição foi diferente, sendo de 53% nos colmos, 17% nos rizomas, 15% nos ponteiros, 9% nas folhas secas e 5% nas raízes. O que chama atenção entre os experimentos é a fração extraída pelas folhas secas na USL, sendo esta muito superior a da USA. Possivelmente, este fato seja devido às épocas de plantio, haja vista que na USL o plantio ocorreu cerca de 45 dias antes que o da USA. Sendo assim, as plantas da USL devem ter acumulado elevada quantidade de P no início de seu desenvolvimento, e com a chegada do período seco (junho de 2005) grande quantidade de folhas senesceram e parte do P contido nessas folhas não deve ter translocado para as folhas mais novas que surgiram com a chegada da primavera.

A extração de K na USL foi muito maior nos tratamentos com N, relativamente à testemunha, principalmente com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, quando as plantas continham 150 kg ha<sup>-1</sup> de K na parte aérea a mais que a testemunha (Tabela 5.6). Contudo, apenas nos colmos foi verificado diferença estatística entre tratamentos, porém, esta se refletiu na extração da parte

aérea e na total (planta toda). Na USA nenhuma diferença foi observada entre os tratamentos (Tabela 5.6). Diferentemente do ocorrido na USL, Franco et al. (2007a) não observaram nenhum incremento no acúmulo de K pela parte aérea da cana-planta em função da adubação nitrogenada, entretanto, na parte subterrânea este foi altamente significativo e linear com o aumento das doses de N.

Os resultados da USL em relação ao aumento da extração de K à medida que se aumentaram as doses de N no plantio pode ser explicada pelo sinergismo entre N e K. Segundo Cantarella (2007) a interação mais comum relacionada com N é a que acontece com o K. Esses são os dois nutrientes minerais absorvidos em maiores quantidades em quase todas as plantas e as interações entre ambos normalmente são do tipo não-competitivo. A absorção de um elemento eleva a demanda pelo outro. O estímulo do crescimento provocado pela adição de N pode levar a deficiência de K por efeito de diluição, e vice-versa (CANTARELLA, 2007).

Pode-se destacar ainda a elevada quantidade de K extraído pela cana-planta, valores esses que não são encontrados na literatura (CATANI et al., 1959; ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR; HAAG, 1980a; COLETI et al., 2006; SILVA, 2007; SORIANO, 2007; TASSO JUNIOR, et al., 2007), porém são devidos, com toda a certeza, a um consumo de luxo pelas plantas, pois os teores de K no solo antes da instalação dos experimentos (Tabelas 5.1 e 5.2) eram muito altos, principalmente os da USA, onde a extração de K foi mais elevada.

A extração de Ca pelos colmos aumentou significativamente com o fornecimento de N no plantio nos dois experimentos (Tabela 5.7), o que proporcionou maiores acúmulos desse nutriente na parte aérea e planta toda. Na parte subterrânea os incrementos também foram verificados nos dois experimentos, sendo que a maior dose de N foi a que propiciou as maiores extrações de Ca pela cana-de-açúcar. Franco et al. (2007a) também constataram aumentos no acúmulo de Ca pela parte subterrânea da cana-planta em função da adubação nitrogenada de plantio.

Tabela 5.6 - Extração de potássio (K, kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
	K, kg ha <sup>-1</sup>							
0	178	30	74	282	3	15	18	300
40	256	30	75	361	5	6	11	372
80	311	38	84	433	3	24	28	460
120	243	32	74	349	5	12	17	365
média	247	26	77	356	4	14	18	374
F-doses	3,9**	NS	NS	4,6**	NS	NS	NS	5,4**
F-linear	4,0*	NS	NS	4,4*	NS	NS	NS	5,0*
F-quad.	7,0**	NS	NS	8,1**	NS	NS	NS	8,6**
CV (%)	22	30	18	16	32	61	47	15

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
	K, kg ha <sup>-1</sup>							
0	284	74	81	439	6	26	32	471
40	366	51	81	498	8	30	38	536
80	405	58	78	541	6	24	30	571
120	321	61	74	456	5	15	20	476
média	344	61	79	484	6	24	30	514
F-doses	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	19	26	28	18	43	45	39	17

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

O nitrogênio favorece a absorção de Ca, que é um elemento plasmolítico por excelência e forma parte da parede celular, facilitando assim a absorção de água (SILVA; CASAGRANDE, 1983). Apesar de a adubação nitrogenada de plantio não ter aumentado significativamente a extração de N pelas plantas na USA, as plantas dos tratamentos adubados com N apresentaram valores de N acumulados superiores à testemunha, o que pode justificar a maior extração de Ca pelas plantas nesses tratamentos.

Tabela 5.7 - Extração de cálcio (Ca, kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
	Ca, kg ha <sup>-1</sup>							
0	21	22	11	54	4	4	8	62
40	31	23	12	66	7	3	10	76
80	34	25	15	74	8	7	15	89
120	26	30	13	69	8	6	14	83
média	28	25	13	66	7	5	12	78
F-doses	4,0**	NS	NS	5,4**	3,1*	3,7*	3,6*	6,0**
F-linear	NS	3,6*	NS	9,9**	7,5**	4,5*	9,0**	12,7***
F-quad.	10,2**	NS	NS	5,8**	NS	NS	NS	NS
CV (%)	20	24	23	11	36	39	31	12

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
	Ca, kg ha <sup>-1</sup>							
0	24	23	7	55	7	10	17	72
40	35	33	11	79	6	10	15	94
80	32	31	8	71	4	9	12	84
120	36	33	10	79	6	13	19	98
média	32	30	9	71	6	10	16	87
F-doses	4,7**	NS	NS	5,0**	NS	8,3***	6,7**	7,0***
F-linear	9,2**	NS	NS	8,4**	NS	8,6**	NS	11,8***
F-quad.	NS	NS	NS	NS	4,7*	12,1***	14,6***	NS
CV (%)	15	19	22	15	34	12	14	10

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Pouca diferença entre os experimentos foi observada na distribuição de Ca nos compartimentos de planta, os colmos extraíram 36% e 37% do total de Ca da planta, as folhas secas 32% e 34%, os ponteiros 17% e 10%, as raízes 9% e 7% e os rizomas 6% e 11%, respectivamente, na USL e USA.

O acúmulo de Mg nos colmos aumentou com a adubação nitrogenada na USA (Tabela 5.8). Na USL apenas no sistema radicular observou-se aumentos na extração de Mg relacionados à adubação nitrogenada (Tabela 5.8). Franco et al. (2007a) constataram que a adubação nitrogenada de plantio aumentou significativamente o acúmulo de Mg na parte subterrânea da cana-planta cultivada em vasos.

O Mg é ativador de muitas enzimas dentro da planta: Quase todas as enzimas fosforilativas (incorporação ou transferência de P) dependem da presença do Mg, que forma uma

ponte entre o ATP ou o ADP e a molécula da enzima. A transferência de energia desses dois compostos é fundamental nos processos da fotossíntese (fase luminosa e escura), respiração (glicólise e ciclo dos ácidos tricarboxílicos), reações de síntese de compostos orgânicos (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica e trabalho mecânico, como o aprofundamento e a expansão da raiz (MALAVOLTA, 2006). Nesse contexto, devido a adubação nitrogenada de plantio ter proporcionado maiores extrações de N, P e K, não seria de se estranhar a maior absorção de Mg nas plantas nutridas com N, principalmente pelas múltiplas funções, descritas acima, exercidas pelo Mg nos vegetais.

Tabela 5.8 - Extração de magnésio (Mg, kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	Mg, kg ha <sup>-1</sup>							
0	12	7	5	25	0,7	1,9	2,6	27
40	16	7	5	28	1,4	0,9	2,3	30
80	16	9	6	31	1,2	3,2	4,4	35
120	12	9	5	26	1,6	1,9	3,5	30
média	14	8	5	27	1,2	2,0	3,2	31
F-doses	NS	NS	NS	NS	3,6*	5,5**	4,1**	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	7,9**	NS	5,6**	NS
F-quad.	6,2**	NS	NS	3,5*	NS	NS	NS	NS
CV (%)	22	24	19	15	35	40	30	14

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	Mg, kg ha <sup>-1</sup>							
0	14	9	4	27	2	4	6	33
40	19	12	5	36	2	4	6	42
80	20	12	4	36	1	4	5	41
120	21	12	4	37	2	5	6	43
média	19	11	4	33	2	4	6	40
F-doses	4,6**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	4,8**
F-linear	11,0***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	9,6**
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	3,4*
CV (%)	16	16	16	15	35	15	18	10

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A distribuição do Mg extraído pela planta toda foi a seguinte: colmos (45% e 48%), folhas secas (26% e 28%), ponteiros (16% e 10%), rizomas (6% e 10%) e raízes (4% e 5%), respectivamente, na USL e USA. Do total extraído pela planta toda, 87% (USL) e 83% (USA) estavam localizados na parte aérea, e a quantidade exportada pelos colmos, na média dos experimentos, foi cerca de 50%. Portanto, praticamente a metade do acumulado de Mg pela parte aérea das plantas foi preservada no sistema com a colheita sem despalha a fogo.

Nos dois experimentos a nutrição nitrogenada de plantio aumentou significativamente a extração de S pela planta toda (Tabela 5.9). Destaca-se que as respostas foram mais efetivas na parte aérea da USA, enquanto que na USL esta ocorreu no sistema radicular. Franco et al. (2007a) também verificaram incrementos no acúmulo de S pelas plantas da cana-planta em função da adubação nitrogenada, que ocorreram tanto na parte aérea como na parte subterrânea da cultura. O efeito sinérgico entre N e S em plantas de cana-de-açúcar (cultivar NA56 79) foi observado por Batista (1977), com interação linear significativa, pois à medida que se aumentou à adubação nitrogenada ocorreu maior acúmulo de S pelas plantas.

A interação do N com o S é importante e deve ser levada em conta em programas de adubação (CANTARELLA, 2007). De acordo com Cantarella (2007), muitas vezes a deficiência de S ocasiona reduzido aproveitamento do adubo nitrogenado. Boa parte do N nas plantas está na forma de proteínas. O S é constituinte de dois aminoácidos (cisteína e metionina). A deficiência desse nutriente acarreta na diminuição da produção desses aminoácidos e as proteínas que os contêm não podem ser formadas. Assim, plantas insuficientemente supridas com S não conseguem assimilar o N em proteínas e o N se acumula na forma de amins, amidas e aminoácidos solúveis (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Além disso, as assimilações de N e S são bem coordenadas, com a deficiência de um elemento reprimindo a via assimilativa do outro (KOPRIVOVA et al., 2000 apud EPSTEIN; BLOOM, 2006). A regulação ocorre não apenas em nível de proteína – o que é esperado, dado a exigência de N e S nos aminoácidos – mas também na transcrição dos mRNAs codificando para as enzimas envolvidas na assimilação de N e S (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Tabela 5.9 - Extração de enxofre (S, kg ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
<b>0</b>	17	5	4	26	1	4	5	32
<b>40</b>	25	5	5	35	2	3	5	40
<b>80</b>	25	7	5	38	2	8	10	48
<b>120</b>	19	5	4	29	3	5	7	36
<b>média</b>	21	6	5	32	2	5	7	39
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	NS	3,9**	3,2*	3,2*	3,3*
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS	9,2**	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	6,9**	NS	NS	6,4**	NS	NS	NS	7,0**
<b>CV (%)</b>	26	22	19	21	30	51	38	19

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta toda
<b>0</b>	15	6	3	24	2	5	7	31
<b>40</b>	22	7	4	33	2	5	7	40
<b>80</b>	21	7	4	32	2	5	7	39
<b>120</b>	22	4	5	31	2	5	7	38
<b>média</b>	20	6	4	30	2	5	7	37
<b>F-doses</b>	5,2**	9,6***	NS	3,6*	NS	NS	NS	3,5*
<b>F-linear</b>	10,3**	6,6**	NS	4,4*	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	3,7*	21,5***	NS	4,6*	NS	NS	NS	5,1**
<b>CV (%)</b>	14	15	22	13	32	25	23	10

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

As quantidades de S extraídas na média dos tratamentos foram muito semelhantes entre os experimentos e a distribuição do nutriente dentro da planta foi: 54% nos colmos, 16% nas folhas secas, 13% nos rizomas, 12% nos ponteiros, e 5% nas raízes. Percebe-se por esses resultados que mais da metade do S absorvido pelas plantas é removido pelos colmos na colheita do canavial, do restante, cerca de 30% do S total está na palhada (folhas secas e ponteiros). Caso a cultura fosse colhida com despalha a fogo, 95% do S da palhada seriam perdidos para atmosfera. Por outro lado, como a colheita foi efetuada sem queima, grande parte do nutriente remanescente pode retornar ao solo, como demonstraram Oliveira et al. (2002), os quais observaram que 60% do S da palhada foram mineralizados em 12 meses, em experimento desenvolvido em Piracicaba.

As quantidades de B extraídas pela cana-planta não foram diferentes estatisticamente entre os tratamentos, nos dois experimentos (Tabela 5.10). Exceção feita ao acúmulo de B pelas



folhas secas na USA, em que houve acréscimo linear de B em função das doses de N. Do B acumulado pela parte aérea, 51% e 58% estavam nos colmos, 33% e 30% nas folhas secas e 16% e 12% nos ponteiros, respectivamente, nos experimentos da USL e USA.

O acúmulo de Cu na parte aérea das plantas aumentou com a adição de N na USL (Tabela 5.11). Na USA não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 5.11). A distribuição do Cu extraído pela parte aérea foi a seguinte: 58% e 63% nos colmos, 24% e 21% nas folhas secas e 18% e 16% nos ponteiros, respectivamente, na USL e USA. A extração de Cu nos compartimentos de planta da USL foi maior, na média dos tratamentos, que os da USA, sendo esse fato, provavelmente, devido aos maiores teores do micronutriente no solo na implantação dos experimentos (Tabela 5.1 e 5.2).

O Cu atua como ativador de várias enzimas, podendo-se destacar lacases, oxidase do ácido ascórbico e fenolases, sendo que seu papel, como parte integrante dessas enzimas, representa, provavelmente, a função mais importante do Cu nas plantas (SOBRAL; WEBER, 1983). Os processos fotossintéticos em plantas deficientes de Cu são seriamente prejudicados. A participação do Cu na fotossíntese está ligada à exigência do elemento na biossíntese da porfirina, precursora do pigmento da clorofila e à interferência causada pela carência do elemento na síntese de proteínas, o que causaria aumento do nível de compostos nitrogenados solúveis (SOBRAL; WEBER, 1983). Sendo assim, é de se esperar a maior extração de Cu na USL devido a sua importância nos processos metabólicos do N, tendo em vista que a adubação nitrogenada aumentou a produtividade de colmos e a extração de N.

A extração de Fe pela parte aérea da cana-planta foi significativamente maior nos tratamentos com N na USL em relação à testemunha, sendo o aumento linear (Tabela 5.12). Nos demais compartimentos, apesar de não ter havido resposta à adição de N, ocorreram tendências de resposta quadrática e linear, respectivamente nos colmos e folhas secas. Na USA nenhuma diferença foi observada entre os tratamentos (Tabela 5.12).

O aumento da extração do Fe nas maiores doses de N é devida ao sinergismo do Fe com o N dentro da planta. O Fe catalisa a biossíntese da clorofila, já que faz parte de enzimas responsáveis pela sua formação. Na ausência de Fe, a planta só apresenta pigmentos amarelos (xantofila e caroteno). O Fe faz parte da ferredoxina, transportador de elétrons de natureza não-porfirínica que atua na fotossíntese e na redução do  $\text{NO}_3^-$  (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Tabela 5.10 - Extração de boro (B, g ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
0	62	49	25	137
40	82	47	27	155
80	104	53	28	184
120	96	73	24	192
<b>média</b>	86	55	26	167
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	48	41	22	31

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
0	104	52	28	185
40	106	55	20	181
80	146	68	23	237
120	139	86	27	252
<b>média</b>	124	65	25	214
<b>F-doses</b>	NS	8,6***	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	23,4***	NS	NS
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	47	16	38	33

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A distribuição de Fe na cana-planta teve a seguinte ordem decrescente: folhas secas (53% na USL e 47% na USA) > colmos (30% na USL e 35% na USA) > ponteiros (17% na USL e 17% na USA). Contudo, as quantidades extraídas de Fe foram muito mais elevadas (quase o dobro) na USA do que na USL, porém, este fato não pode ser atribuído aos teores do elemento no solo (Tabelas 5.1 e 5.2), tendo em vista que na USL esses eram mais altos. Uma possível explicação para essa diferença seria a data de colheita dos experimentos. O experimento da USA foi colhido cerca de 40 dias após o da USL, em meados de Julho de 2006, época mais seca e com grande quantidade de ventos, o que pode ter contribuído para a contaminação das plantas de cana-de-açúcar pela poeira, e assim ter superestimado os teores de Fe nos compartimentos da planta.

Tabela 5.11 - Extração de cobre (Cu, g ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Cu, g ha <sup>-1</sup>			
0	47	24	18	89
40	72	23	18	113
80	71	27	20	118
120	54	26	18	98
<b>média</b>	61	25	19	105
<b>F-doses</b>	5,4**	NS	NS	4,7**
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	15,5*	NS	NS	12,8***
<b>CV (%)</b>	18	30	19	12

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Cu, g ha <sup>-1</sup>			
0	32	11	12	55
40	52	18	14	84
80	55	15	13	82
120	45	16	11	71
<b>média</b>	46	15	12	73
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	29	29	31	21

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Com relação ao Mn, a adubação nitrogenada de plantio promoveu aumento na extração do micronutriente apenas na USA, com resposta linear na parte aérea e folhas secas (Tabela 5.13). Na USL, diferentemente do verificado com os demais micronutrientes, houve apenas tendência de aumento, porém sem significância estatística. Segundo Malavolta (2006) o Mn atua no metabolismo do N dentro da planta, pois a redutase do nitrito e a redutase da hidroxilamina são ativadas pelo Mn. A síntese da glutamina que catalisa a entrada de NH<sub>3</sub> em um composto orgânico pode ter Mn<sup>+2</sup>, embora com menor eficiência. Portanto, há de se esperar aumentos na extração de Mn pelas plantas com maior extração de N.

Tabela 5.12 - Extração de ferro (Fe, g ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
0	1177	2320	999	4496
40	1671	2617	1059	5347
80	2198	2931	978	6108
120	1633	4195	852	6680
<b>média</b>	1670	3016	972	5658
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	3,0*
<b>F-linear</b>	NS	4,9*	NS	9,0**
<b>F-quad.</b>	4,5*	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	30	40	18	19

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
0	3406	3007	2430	8843
40	3161	5235	1368	9763
80	3663	5383	1385	10432
120	3061	4241	1310	8611
<b>média</b>	3323	4466	1623	9412
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	29	30	50	25

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Na comparação entre os experimentos percebeu-se que na USA as plantas de cana-de-açúcar acumularam muito mais Mn (aproximadamente 5 vezes mais) que as da USL. No entanto, observando-se os resultados da análise de solo (Tabelas 5.1 e 5.2) constata-se que os teores de Mn na USA, até a profundidade de 1m, são extremamente elevados, o que justificaria a extração obtida, podendo-se caracterizar, nesse caso, um consumo de luxo.

A distribuição do Mn extraído pela parte aérea das plantas, na média dos tratamentos, foi a seguinte: 43% e 49% nas folhas secas, 37% e 38% nos colmos e 20% e 13% nos ponteiros, respectivamente, na USL e USA.

Tabela 5.13 - Extração de manganês (Mn, g ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Mn, g ha <sup>-1</sup>			
0	211	266	122	600
40	331	310	139	780
80	319	334	177	830
120	262	394	162	818
média	281	326	150	757
F-doses	NS	NS	NS	NS
F-linear	NS	3,8*	NS	NS
F-quad.	4,1*	NS	NS	NS
CV (%)	31	29	35	23

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Mn, g ha <sup>-1</sup>			
0	1020	1189	456	2665
40	1342	1704	526	3572
80	1405	1957	365	3726
120	1632	2037	451	4120
média	1350	1722	450	3521
F-doses	NS	4,0**	NS	3,3*
F-linear	NS	10,8*	NS	8,9**
F-quad.	NS	NS	NS	NS
CV (%)	27	22	35	19

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Diferentemente do observado até então nas extrações de nutrientes pela cana-planta, para o Zn ocorreram resultados completamente distintos entre os experimentos (Tabela 5.14). No experimento da USA obteve-se incrementos na extração desse micronutriente com adubação nitrogenada, destacando-se que apenas nos ponteiros isto não ocorreu. Nos colmos, folhas secas e parte aérea a resposta foi altamente significativa ( $p < 0,001$ ) e linear. Por outro lado, na USL ocorreu um antagonismo entre a nutrição nitrogenada, principalmente na maior dose de N (120 kg ha<sup>-1</sup>), e a extração de Zn pela parte aérea da cana-de-açúcar, ou seja, quanto maior a dose de N, menor foi a extração do Zn. Este fato é no mínimo intrigante. Alloway (2004) destacou a interação de N e Zn como não competitiva, e em muitos solos o N é o fator mais limitante na produção das culturas, e interações positivas tem sido encontrada com a aplicação conjunta de N e Zn. Exemplificando, as culturas respondem positivamente a adição de N e Zn quando estes são aplicados juntos, mas sem resposta quando só o Zn é aplicado. Entretanto, a aplicação de N na

ausência de Zn pode levar a deficiência do micronutriente devido ao efeito de diluição, proporcionada por incrementos na produção vegetal resultantes da adição de N.

Os resultados obtidos na USL com relação à extração de Zn podem ser devidos, então, ao antagonismo do micronutriente com outros nutrientes e não ao N. Como a adubação nitrogenada aumentou a extração de P, K, Ca, S, Cu e Fe, possivelmente, ocorreu alguma competição entre esses nutrientes e o Zn externa e internamente à planta. A interação do Zn com o P é a mais importante para o manejo de solos tropicais, em que é bastante comum a utilização de altas doses de P, em solos com baixa disponibilidade natural de P e Zn, dessa forma a aplicação de P no solo tende a aumentar a adsorção de Zn, especialmente em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio (ABREU; FERREIRA; BORKERT, 2001). Segundo Abreu, Ferreira e Borkert (2001) a interação entre esses nutrientes pode ocorrer no solo, na planta ou em ambos. A precipitação do Zn pelo P não é a única causa da deficiência de Zn induzida por este elemento. O P afeta a absorção radicular de Zn das plantas. Malavolta (2006) relatou que o P em altas concentrações pode induzir a deficiência de Zn devido a vários efeitos: insolubilização do Zn na superfície da raiz em função do pH e da presença de Ca, inibição não competitiva; precipitação no xilema e menor transporte a longa distância causado pelo aumento na matéria seca.

Com respeito à interação com outros nutrientes, a presença de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  em solução têm efeito inibidor na absorção de Zn pelas plantas de cana-de-açúcar (SOBRAL; WEBER, 1983). Dechen e Nachtigall (2006) relatam que em geral plantas deficientes em Zn apresentam folhas com elevados conteúdos de Fe, Mn, P e  $\text{NO}_3^-$ , enquanto os conteúdos de amido são baixos. De acordo com Malavolta (2006) o Cu diminui a absorção de Zn possivelmente porque Cu e Zn entram em competição pelo mesmo carregador ou canal protéico. O autor relatou ainda, que o aumento de Cu, Mn e Mo em solução nutritiva diminui a absorção de Zn pelas plantas.

Na média dos experimentos os colmos acumularam 55% do Zn total da parte aérea, enquanto que as folhas secas e os ponteiros continham 20% e 25% respectivamente.

Tabela 5.14 - Extração de zinco (Zn, g ha<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
0	198	74	96	368
40	243	67	95	405
80	154	61	78	292
120	125	48	67	240
<b>média</b>	180	62	84	326
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	3,1*
<b>F-linear</b>	4,0*	4,2*	6,2**	6,9**
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	38	29	29	26

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
0	57	44	73	174
40	176	82	67	325
80	176	69	63	308
120	220	92	63	375
<b>média</b>	157	72	67	295
<b>F-doses</b>	15,1***	14,6***	NS	17,5***
<b>F-linear</b>	37,1***	29,2***	NS	40,9***
<b>F-quad.</b>	4,3*	NS	NS	4,2*
<b>CV (%)</b>	23	15	30	14

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Em resumo, as extrações de nutrientes foram incrementadas com a adubação nitrogenada na USL para quase todos os elementos avaliados. Na USA apenas para alguns nutrientes constatou-se esse fato. As quantidades extraídas na planta toda foram, de uma maneira geral, maiores na USA do que na USL e, seguiram como ordem decrescente de grandeza na média dos experimentos: K >> N > Ca > Mg = S > P > Fe >> Mn > Zn > B > Cu. Na parte subterrânea da cana-planta avaliaram-se apenas os macronutrientes e a magnitude dos acúmulos foram: N > K > Ca > S > P = Mg.

Para comparar os resultados obtidos com os de outros autores, os dados de P, K, Ca, Mg e S foram convertidos em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, MgO e SO<sub>4</sub> respectivamente. Além disso, desta maneira pode-se inferir considerações sobre as quantidades extraídas e as doses fornecidas na adubação com esses nutrientes.

A necessidade de nitrogênio para a produção de 100TCH variou conforme a dose de N na USL, enquanto que na USA isso não foi observado (Tabela 5.15). Desprezando o efeito das doses

de N na USL, em geral, a cana-planta apresentou a seguinte necessidade de N para a produção de 100 TCH: 57 kg e 62 kg nos colmos, 17 kg e 24 kg nas folhas secas, 31 kg e 25 kg nos ponteiros, 105 kg e 110 kg na parte aérea, 7 kg e 8 kg nas raízes, 12 kg e 25 kg nos rizomas, 20 kg e 33 kg na parte subterrânea e 126 kg e 144 kg na planta toda, respectivamente, na USL e USA.

Considerando o N-total da planta toda (parte aérea e subterrânea), a exigência de N para a produção de 1TCH foi de 1,3 e 1,5 kg de N, respectivamente, para a USL e USA. Se for levado em conta apenas o N acumulado na parte aérea, esses índices passam a 1,1 kg de N, na média dos experimentos. Catani et al. (1959) com o cultivar Co419 no ciclo de cana-planta (15 meses) constataram que para a produção de 1TCH eram necessários 1,32 kg de N, baseado na extração da parte aérea. Orlando Filho, Zambello Junior e Haag (1980a) com o cultivar CB41 76 no ciclo de cana-planta (ano e meio) cultivado em três solos representativos do Estado de São Paulo mensuraram a exigência de 1,3 kg de N por TCH na média dos três locais. Korndörfer et al. (1997) contabilizando o N acumulado na parte aérea, verificaram, em experimento de campo, o índice médio de 1,4 kg de N por TCH, para quatro cultivares de cana-de-açúcar (RB72 454, SP70 1143, SP71 1406 e SP71 6163) no ciclo de cana-planta. Trivelin et al. (2002) obtiveram para cada TCH produzida a necessidade de 2,3 kg e 1,7 kg de N, respectivamente para o N-total da planta toda e parte aérea da cana-planta cultivada em vasos (SP80 1842). Coleti et al. (2006) verificaram que para a produção de 1TCH, os cultivares SP81 3250 e RB83 5486 exigiram cerca de 1,4 e 1,2 kg de N respectivamente. Bologna-Campbell (2007) avaliando a adubação nitrogenada em cana-planta (SP80 3280) cultivada em vasos contabilizou a necessidade de 0,8 kg e 0,9 kg de N por TCH para a parte aérea e planta toda respectivamente. Silva et al. (2007a) monitorando a extração de N pela parte aérea de quatro cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta de ano) constataram que as extrações variaram com os cultivares, e ao término do ciclo da cana-planta os cultivares apresentaram os seguintes índices de exigência: 1,54 kg de N por TCH para RB86 7515, 1,45 kg de N por TCH para RB 93 509, 1,44 kg de N por TCH para Co997 e 1,33 kg de N por TCH para RB92 579. Tasso Junior et al. (2007) avaliando a extração de nutrientes por cinco cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta de ano e meio) na região norte do Estado de São Paulo, verificaram que a parte aérea dos cultivares continham 0,5 kg a 1,1 kg de N por TCH.



Tabela 5.15 - Extração de nitrogênio (N, kg 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	N, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	48	13	28	89	5	11	15	105
40	57	16	31	104	9	6	15	119
80	69	20	37	127	8	19	27	154
120	55	18	25	98	9	13	21	125
média	57	17	31	105	7	12	20	126
F-doses	3,2*	NS	3,6*	6,5**	3,9**	NS	NS	7,0**
F-linear	NS	5,0**	NS	NS	7,0**	NS	NS	7,2**
F-quad.	5,5**	NS	8,1**	12,4***	NS	NS	NS	8,0**
CV (%)	18	20	18	12	26	59	36	12

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	N, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	50	21	28	99	9	27	36	144
40	71	26	28	125	8	20	28	155
80	63	25	24	109	6	24	30	146
120	63	24	19	106	9	28	37	152
média	62	24	25	110	8	25	33	149
F-doses	NS	NS	3,3*	NS	NS	3,3*	NS	NS
F-linear	NS	NS	8,6**	NS	NS	NS	NS	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	7,8**	5,2**	NS
CV (%)	19	17	18	15	41	16	19	11

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Pelos resultados da literatura nota-se que as exigências de N pela cultura são variáveis conforme: o cultivar, tipo de solo, época de plantio e tratos culturais. Contudo, as variações observadas não são tão extremas se consideramos a parte aérea da cana-planta, sendo a faixa de 0,8 a 1,5 kg de N por TCH produzida um bom parâmetro na avaliação da demanda de N pela cana-planta. Como efeito, destaca-se que em ambientes mais fracos a demanda por N por cada TCH será menor, enquanto que em ambientes mais favoráveis a produtividade da cultura, a demanda por N será maior e, por fim, em ambientes intermediários cerca de 1,0 kg de N por TCH será suficiente para atender as necessidades da planta toda.

A demanda por P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para a produção de 100TCH foi bem maior na USA do que na USL (Tabela 5.16). Entretanto, percebe-se que o acúmulo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> é pequeno, o menor entre os macronutrientes. Esses resultados confirmam a baixa exigência da cultura por P. Caso todo o

$P_2O_5$  presente na planta toda fosse derivado do fertilizante fosfatado, a eficiência da adubação fosfatada seria de 20% na USL e 36% na USA, tendo em vista que foram aplicados  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  no sulco de plantio. O P é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pela cana-de-açúcar devido à fixação sofrida pelo  $H_2PO_4^-$  nos solos brasileiros (GAVA et al., 2006).

Tabela 5.16 - Extração de fósforo ( $P_2O_5$ ,  $\text{kg } 100TCH^{-1}$ ) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	$P_2O_5$ , $\text{kg } 100TCH^{-1}$							
0	8	2	7	17	1	3	4	21
40	10	2	7	18	1	1	3	21
80	14	2	8	24	1	5	6	30
120	10	2	7	18	2	4	6	25
média	10	2	7	19	1	3	4	24
F-doses	4,3**	NS	NS	3,9**	5,3**	NS	NS	8,1***
F-linear	NS	NS	NS	NS	12,2***	NS	NS	9,7**
F-quad.	5,9**	NS	NS	4,8*	NS	NS	NS	3,8*
CV (%)	25	50	17	15	29	77	59	12

USA								
Doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	$P_2O_5$ , $\text{kg } 100TCH^{-1}$							
0	19	3	6	28	3	8	11	41
40	23	4	7	33	3	8	11	45
80	24	4	6	33	2	7	9	44
120	22	4	6	33	2	6	9	44
média	22	4	6	32	2	7	10	43
F-doses	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS	5,3**	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	23	25	24	17	34	18	16	11

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; NS: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Para cada TCH produzido, na média dos tratamentos, foram necessários 0,19 kg e 0,32 kg de  $P_2O_5$  considerando o acumulado na parte aérea e 0,24 kg e 0,43 kg de  $P_2O_5$  para a planta toda, respectivamente, na USL e USA. Catani et al. (1959) obtiveram a necessidade de 0,21 kg de  $P_2O_5$  por TCH. Orlando Filho, Zambello Junior e Haag (1980a) verificaram um índice de  $P_2O_5$  semelhante aos de Catani et al. (1959) e aos obtidos na USL pela planta toda. Coleti et al. (2006) com o mesmo cultivar utilizado no presente trabalho (SP81 3250) relataram que a exigência de  $P_2O_5$  pela cana-planta era de 0,22 kg por TCH. Tasso Junior et al. (2007) trabalhando com cinco cultivares reportaram a faixa de 0,15 kg a 0,23 kg de  $P_2O_5$  por TCH. Silva et al. (2007b) verificaram, na média de 4 cultivares de cana-planta de ano, a necessidade de 0,24 kg de  $P_2O_5$  por TCH. Vale destacar ainda os resultados de Moura Filho et al. (2007), pois são distintos dos comumente encontrados na literatura. Os autores avaliando o acúmulo de  $P_2O_5$  pelo cultivar SP81 3250, com irrigação por gotejamento subsuperficial, observaram a exigência de 0,38 kg de  $P_2O_5$  por TCH, próxima da obtida na USA; possivelmente o resultado dos autores seja fruto do maior potencial produtivo do cultivar sob condições irrigadas.

A necessidade de  $K_2O$  para a produção de 100TCH foi maior na USA do que na USL, porém, em ambos os locais os valores foram muito elevados (Tabela 5.17), quando comparados com outros resultados de extração de nutrientes pela cana-planta (CATANI et al., 1959; ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR; HAAG, 1980a; COLETI et al., 2006; TASSO JUNIOR et al., 2007). Em vista disso, a exigência de  $K_2O$  para a produção de 1TCH obtida nos experimentos é muito maior do que as comumente relatadas. Na USL obteve-se 3,1 kg e 3,3 kg de  $K_2O$  por TCH respectivamente considerando a extração da parte aérea e planta toda, enquanto que na USA estes valores são um pouco mais elevados (4,0 kg e 4,5 kg de  $K_2O$  por TCH na parte aérea e planta toda). Para efeito de comparação, os valores de  $K_2O$  por TCH obtidos por outros autores são os seguintes: 1,3 (CATANI et al., 1959); 0,8 (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR; HAAG, 1980a); 1,7 (COLETI et al., 2006); 1,4 a 2,3 (TASSO JUNIOR et al., 2007); 1,4, média de 8 cultivares RB, porém baseado apenas na extração dos colmos (SORIANO, 2007) e 2,3 a 2,8, valores esses que estão mais próximos dos observados na USL (SILVA, 2007). No entanto, a extração de  $K_2O$ , principalmente na área da USA, está superestimada devido ao consumo de luxo, como já discutido anteriormente.

Tabela 5.17 - Extração de potássio ( $K_2O$ , kg 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	K <sub>2</sub> O, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	159	27	67	253	3	14	17	270
40	217	26	64	307	4	5	10	316
80	269	32	73	375	3	21	24	399
120	208	26	63	297	4	12	16	330
média	214	28	67	308	4	13	16	329
F-doses	4,4**	NS	NS	5,8**	NS	NS	NS	6,4**
F-linear	4,2*	NS	NS	4,7*	NS	NS	NS	7,7**
F-quad.	7,6**	NS	NS	9,8**	NS	NS	NS	7,4**
CV (%)	20	28	17	14	30	63	49	13

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	K <sub>2</sub> O, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	237	61	67	365	5	23	28	424
40	306	42	68	416	7	25	32	456
80	333	48	64	445	5	20	26	498
120	266	51	62	378	4	14	18	429
média	285	50	65	401	5	21	26	452
F-doses	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	18	25	28	17	41	44	38	16

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; NS: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A necessidade de CaO por 100TCH variou pouco entre os experimentos (Tabela 5.18), sendo que para a produção de 1TCH são necessários, na média dos ensaios, 0,67 kg e 0,84 kg de CaO, respectivamente, considerando a parte aérea e planta toda. Os resultados da literatura fornecem as seguintes exigências em CaO por TCH produzida: 0,36 (CATANI et al., 1959); 0,83 (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR; HAAG, 1980a); 0,16 (COLETI et al., 2006); 0,23 a 0,49 (TASSO JUNIOR et al., 2007); 0,17 (SORIANO, 2007) e 0,38 a 0,57 (SILVA, 2007). Como efeito, percebe-se que os resultados obtidos no presente trabalho são semelhante apenas com os de ORLANDO FILHO et al. (1980a), e, ainda, diferem muito dos de COLETI et al. (2006), que cultivaram o mesmo cultivar no ciclo da cana-planta (SP81 3250) em região canavieira próxima a da USA.

Tabela 5.18 - Extração de cálcio (CaO, kg 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 toneladas de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	CaO, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	22	23	11	57	4	4	8	65
40	31	23	12	65	7	3	10	75
80	34	25	15	75	8	7	15	90
120	26	29	13	68	9	6	15	87
média	28	25	13	66	7	5	12	79
F-doses	4,1**	NS	NS	5,6**	3,3*	3,3*	3,8*	6,6**
F-linear	NS	NS	NS	9,7**	8,6**	NS	9,9**	16,2***
F-quad.	10,3**	NS	NS	5,8**	NS	NS	NS	NS
CV (%)	19	23	23	11	35	40	30	11

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	CaO, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	24	22	7	53	7	10	18	75
40	34	32	11	77	6	9	15	93
80	31	29	8	68	4	9	12	84
120	35	32	9	76	7	13	20	102
média	31	29	9	68	6	10	16	89
F-doses	5,5**	NS	NS	5,4**	NS	7,5***	6,6**	5,8**
F-linear	10,3**	NS	NS	8,2**	NS	7,0**	NS	11,5***
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	13,2***	16,1***	NS
CV (%)	14	19	21	14	35	14	16	11

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

Semelhante ao observado com o Ca, para Mg as médias nas duas Usinas são muito próximas (Tabela 5.19), sendo que a exigência de MgO para produção de 1TCH foi de 0,36 kg e 0,43 kg relativos a parte aérea e a planta toda respectivamente. Outros autores verificaram os seguintes índices de exigência em MgO (kg por TCH): 0,32 (CATANI et al., 1959); 0,56 (ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR; HAAG, 1980a); 0,22 (COLETI et al., 2006); 0,37 a 0,49 (TASSO JUNIOR et al., 2007); 0,38 (SORIANO, 2007) e 0,35 a 0,5 (SILVA, 2007). Nesse caso, os resultados obtidos estão na faixa do esperado considerada a literatura.

Tabela 5.19 - Extração de magnésio (MgO, kg 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

USL								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	MgO, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	15	9	6	31	1	2	3	34
40	19	8	6	33	2	1	3	36
80	19	10	7	37	1	4	5	42
120	14	10	6	31	2	2	4	37
média	17	10	6	33	1	2	4	37
F-doses	NS	NS	NS	NS	4,2**	5,2**	3,9**	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS	8,8**	NS	5,7**	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
CV (%)	20	22	21	13	31	39	28	11

USA								
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	MgO, kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	16	11	4	31	3	5	8	42
40	22	14	5	42	2	5	8	50
80	23	14	4	41	2	5	7	50
120	24	14	4	42	2	6	8	53
média	21	13	4	39	2	5	8	49
F-doses	NS	NS	NS	4,2**	NS	NS	NS	4,6**
F-linear	NS	NS	NS	7,8**	NS	NS	NS	11,0***
F-quad.	4,9*	NS	NS	3,5*	NS	NS	NS	NS
CV (%)	16	17	27	13	35	16	18	9

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

A necessidade de SO<sub>4</sub> para a produção de 100TCH, em geral, foi semelhante entre os experimentos (Tabela 5.20), e a exigência de SO<sub>4</sub> por TCH produzida foi de 0,68 kg (USL) e 0,62 kg (USA) por TCH baseado na extração da parte aérea e considerando a planta toda esta foi de 0,85 kg (USL) e 0,81 kg (USA) por TCH. A literatura relata que para a produção de 1TCH são necessários desde 0,18 kg a 0,84 kg de SO<sub>4</sub> (CATANI et al., 1959; ORLANDO FILHO; ZAMBELLO JUNIOR; HAAG, 1980a; COLETI et al., 2006; TASSO JUNIOR et al., 2007; SILVA, 2007). Portanto, os resultados obtidos em ambas as áreas experimentais está de acordo com os comumente verificados para cana-planta nas mais diversas situações de manejo.

Tabela 5.20 - Extração de enxofre ( $\text{SO}_4^{-2}$ , kg 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	$\text{SO}_4^{-2}$ , kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	37	11	10	58	3	10	13	71
40	52	11	10	74	5	6	10	84
80	55	14	12	81	4	18	22	103
120	41	11	9	61	6	11	17	81
média	46	12	10	68	4	11	15	85
F-doses	NS	NS	NS	3,4*	4,6**	2,9*	NS	3,3*
F-linear	NS	NS	NS	NS	11,1***	NS	NS	NS
F-quad.	7,8**	NS	NS	9,2**	NS	NS	NS	5,7**
CV (%)	23	20	21	18	28	52	39	17

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA							
	Compartimentos de planta							
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea	Raízes	Rizomas	Parte Subterrânea	Planta Toda
	$\text{SO}_4^{-2}$ , kg 100TCH <sup>-1</sup>							
0	31	12	7	50	5	12	17	71
40	45	15	9	69	5	11	16	86
80	43	14	7	65	3	10	14	82
120	45	9	10	64	4	11	15	85
média	41	13	8	62	4	11	15	81
F-doses	5,4**	6,3**	4,2**	3,8**	NS	NS	NS	NS
F-linear	10,3**	4,3**	8,8**	4,3*	NS	NS	NS	NS
F-quad.	4,3*	14,3***	NS	5,1**	NS	NS	NS	NS
CV (%)	15	16	19	13	31	25	23	11

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

Com respeito à extração de B notou-se que houve pequenas diferenças entre os resultados dos experimentos (Tabela 5.21), sendo que na USL a parte área continha 120 g de B por TCH, enquanto que na USA este valor foi pouco superior (cerca de 150 g de B por TCH). No estudo de extração de micronutrientes pela cultura de cana-de-açúcar (cana-planta), há menos dados publicados em relação aos macronutrientes. Franco et al. (2007c) em experimento próximo à área experimental da USL, constatou que para a produção de 100 TCH o cultivar SP81-3250 exportou 151 g de B no ciclo de cana-planta. Entretanto, para a produção de 100 TCH foram necessários 285 e 436 g ha<sup>-1</sup> de B, respectivamente, para o acúmulo de B total na parte área (colmos, folhas secas e ponteiros) e na planta toda (parte aérea e raízes). Orlando Filho, Zambello Junior e Haag (1980b) constataram que para a produção de 100 TCH foram removidos, em média, 195 g de B pelos colmos e 311 g de B pela parte aérea. Vitti, Oliveira e Quintino (2006) apresentaram a

necessidade de 235 g de B por 100 TCH, resultado esse próximo do citado (210 g de B por 100TCH) por Malavolta (1994). Soriano (2007) verificou que 100 TCH exportavam, na média de 8 cultivares, 122 g de B. Percebe-se, pelos resultados acima descritos que a extração de B nos dois experimentos foi bem menor que as relatadas em outros trabalhos, possivelmente, devido ao comportamento varietal.

Tabela 5.21 - Extração de boro (B, g 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	B, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	46	37	19	102
40	57	33	19	109
80	75	38	20	133
120	67	51	17	135
média	62	40	19	120
F-doses	NS	NS	NS	NS
F-linear	NS	NS	NS	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS
CV (%)	47	40	21	30

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	B, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	72	36	20	128
40	74	38	14	127
80	99	46	15	161
120	96	59	19	173
média	85	45	17	147
F-doses	NS	8,4***	NS	NS
F-linear	NS	23,1***	NS	NS
F-quad.	NS	NS	NS	NS
CV (%)	47	16	38	33

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; NS: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente



A extração de Cu por 100 TCH foi mais elevada na USL do que na USA (Tabela 5.22), e, na média dos tratamentos, a parte aérea extraiu 75 g e 50 g de Cu por 100TCH na USL e USA respectivamente. Estes valores estão aquém dos citados por Malavolta (1994) para a produção de 100TCH (190 g de Cu). Vitti, Oliveira e Quintino (2006) destacam a extração de 339 g de Cu por 100 TCH. Por outro lado, Soriano (2007) constataram valores mais próximos aos obtidos nos dois experimentos na extração pelos colmos, cerca de 40 g de Cu por TCH. Cabe destacar que o trabalho de Soriano (2007) foi desenvolvido com cultivares de cana-de-açúcar lançados mais recentemente, que, possivelmente, devam ser mais eficientes na utilização do micronutriente em relação aos cultivares mais antigos que geraram as tabelas de extração de Malavolta (1994) e Vitti, Oliveira e Quintino (2006).

Tabela 5.22 - Extração de cobre (Cu, g 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Cu, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	35	18	13	67
40	51	16	13	80
80	51	20	14	85
120	38	18	13	69
<b>média</b>	44	18	13	75
<b>F-doses</b>	6,1**	NS	NS	4,7**
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	17,9***	NS	NS	12,3***
<b>CV (%)</b>	16	31	20	11
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Cu, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	22	8	8	40
40	36	13	10	59
80	37	10	9	56
120	31	11	8	50
<b>média</b>	32	10	9	50
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	3,2*
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	7,2**
<b>CV (%)</b>	28	29	32	20

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A extração de Fe para a produção de 100TCH foi bem maior na USA em relação à USL (Tabela 5.23), sendo que a parte aérea da cana-planta extraiu 4,1 kg de Fe por 100TCH na USL e 6,5 kg de Fe por 100TCH na USA. Vitti, Oliveira e Quintino (2006) relataram que a parte aérea da cana-de-açúcar acumulou 7,3 kg de Fe por 100TCH, mas a exportação pelos colmos foi de 1,4 kg de Fe por 100TCH. Malavolta (1994) citou a extração de 3,7 kg de Fe por 100 TCH. Soriano (2007) obteve a exportação (média de 8 variedades) de 1,8 kg de Fe por 100TCH. Pelo exposto, nota-se que os resultados de ambos os experimentos estão de acordo com os poucos resultados da literatura. Além disso, é importante destacar que nas condições brasileiras (para solos com altos teores de Fe) o Fe não deva ser problema para a nutrição adequada dos canaviais, com raríssimas exceções (solos orgânicos, solos coesos e solos alagadiços).

Tabela 5.23 - Extração de ferro (Fe, g 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Fe, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	882	1747	749	3378
40	1179	1836	747	3762
80	1580	2111	702	4393
120	1165	2950	601	4717
<b>média</b>	1202	2161	700	4062
<b>F-doses</b>	2,9*	NS	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	4,3*	3,4*	7,5**
<b>F-quad.</b>	4,4*	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	28	39	17	19
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Fe, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	2343	2083	1675	6100
40	2201	3649	955	6805
80	2497	3681	936	7114
120	2109	2892	901	5901
<b>média</b>	2287	3076	1116	6480
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	29	30	50	25

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; NS: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A extração de Mn por 100TCH foi bem maior na USA do que na USL (Tabela 5.24), possivelmente, esses resultados sejam devidos aos teores do micronutriente no solo (Tabela 5.2), conforme discutido anteriormente. Na USL a parte aérea das plantas extraiu em média 544 g de Mn por 100TCH. Na USA este índice foi de 2420 g de Mn por 100TCH. Orlando Filho, Zambello Junior e Haag (1980c) destacaram a extração de 1188 g de Mn por 100 TCH pelo cultivar CB41 76 no ciclo de cana-planta. Malavolta (1994) relatou a extração de 1110 g de Mn por 100 TCH. Vitti, Oliveira e Quintino (2006) apresentaram a extração de 2470 g de Mn por 100 TCH e exportação pelos colmos de 1052 g de Mn por 100 TCH. Soriano (2007) obteve a exportação de 104 g de Mn por 100 TCH. Sendo assim, pode-se inferir que a extração obtida pelas plantas cultivadas na USA são semelhantes às obtidas na maioria dos casos citados acima, exceção feita ao trabalho de Soriano (2007) em que a extração de Mn foi muito baixa. Na USL os valores obtidos estão pouco abaixo aos dos demais trabalhos.

Tabela 5.24 - Extração de manganês (Mn, g 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Mn, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	158	201	92	452
40	233	218	98	549
80	230	241	126	597
120	187	277	114	578
<b>média</b>	202	234	108	544
<b>F-doses</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-linear</b>	NS	NS	NS	NS
<b>F-quad.</b>	4,2*	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	29	28	36	22
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	700	820	313	1833
40	935	1188	366	2489
80	954	1334	248	2537
120	1118	1394	310	2822
<b>média</b>	927	1184	309	2420
<b>F-doses</b>	NS	4,3**	NS	3,6*
<b>F-linear</b>	NS	11,4***	NS	9,3**
<b>F-quad.</b>	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	26	21	34	18

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; <sup>NS</sup>: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade respectivamente

A extração de Zn para a produção de 100TCH foi semelhante nos experimentos (Tabela 5.25), com a exigência média de 220 g de Zn por TCH. Estes resultados estão um pouco abaixo dos reportados por Malavolta (1994) e Vitti, Oliveira e Quintino (2006), os quais constataram a extração de 430 g e 592 g de Zn por TCH, respectivamente. Em contrapartida, Soriano (2007) obteve a exportação média de 165 g de Zn por 100TCH, valor este que está mais próximo dos obtidos na USA e USL.

Tabela 5.25 - Extração de zinco (Zn, g 100TCH<sup>-1</sup>) pela cana-de-açúcar para a produção de 100 t de colmos relacionada à adubação nitrogenada de plantio

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USL			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas Secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Zn, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	147	55	72	274
40	171	47	67	286
80	111	44	56	211
120	89	34	48	170
média	129	45	61	235
F-doses	NS	NS	3,0*	3,9**
F-linear	5,4**	5,2*	8,7**	9,9**
F-quad.	NS	NS	NS	NS
CV (%)	35	30	21	23

Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	USA			
	Compartimentos de planta			
	Colmos	Folhas secas	Ponteiros	Parte Aérea
	Zn, g 100TCH <sup>-1</sup>			
0	40	30	50	120
40	122	57	47	226
80	120	47	43	210
120	151	63	43	257
média	108	49	46	204
F-doses	15,2*	15,2*	NS	18,2*
F-linear	36,5*	29,0*	NS	40,9*
F-quad.	NS	NS	NS	NS
CV (%)	23	15	30	14

F: análise de variância; F-linear: análise de variância da regressão linear; F-quad.: análise de variância da regressão quadrática; NS: não significativo; \*, \*\* e \*\*\* significativos a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

Na média dos tratamentos, a cana-planta apresentou a seguinte ordem decrescente de necessidade de nutrientes por 100 TCH:

USL –  $K_2O > N > SO_4 > CaO > MgO > P_2O_5 > Fe > Mn > Zn > B > Cu$

USA -  $K_2O > N > CaO > SO_4 > MgO > P_2O_5 > Fe > Mn > Zn > B > Cu$

A exportação de nutrientes por 100 TCH foi a seguinte:

USL –  $K_2O > SO_4 > N > CaO > MgO > P_2O_5 > Fe > Mn > Zn > B > Cu$

USA -  $K_2O > N > SO_4 > CaO > P_2O_5 = MgO > Fe > Mn > Zn > B > Cu$

#### 5.4 Conclusões

1. A adubação nitrogenada aumentou a extração de nutrientes pela planta toda nos dois experimentos, sendo que na USL os nutrientes incrementados foram: N, P, K, Ca, S, Cu e Fe, e na USA foram: Ca, Mg, S, Mn e Zn.
2. A aplicação de N no plantio da cana-de-açúcar proporcionou maiores acúmulos de nutrientes na parte subterrânea da cultura (raízes e rizomas), a saber: USL – N, P, Ca, Mg e S; USA – P e Ca.
3. Na média dos experimentos para a produção de 1TCH são necessários: 1,4 kg de N, 0,3 kg de  $P_2O_5$  (0,15 kg de P), 3,9 kg de  $K_2O$  (3,24 kg de K), 0,8 kg de CaO (0,60 kg de Ca), 0,4 kg de MgO (0,26 kg de Mg), 0,8 kg de  $SO_4$  (0,28 kg de S), 53 g de Fe, 15 g de Mn, 2,2 g de Zn, 1,3 g de B e 0,6 g de Cu.
4. A ordem de acúmulo de nutrientes foi de:  $K_2O > N > SO_4 = CaO > MgO > P_2O_5 > Fe > Mn > Zn > B > Cu$ .

## Referências

- ABREU, C.A.de; FERREIRA, M.E.; BORKERT, C.M. Disponibilidade e avaliação de elementos catiônicos: zinco e cobre. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P; RAIJ, B.van; ABREU, C.A. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq; FAPESP; POTAFOS, 2001. cap. 6, p.125-150.
- ALLOWAY, B.J. **Zinc in soils and crop nutrition**. Brussels: International Zinc Association, 2004. 115 p.
- BATISTA, L.F. **Aplicação de N, P e <sup>35</sup>S em dois solos de São Paulo e seus efeitos sobre a cana-de-açúcar**. 1977. 90 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1977.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V.; BARROS, N.F.de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. cap. 7, p. 375-470.
- CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.
- CATANI, R.A.; ARRUDA, H.C.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre pela cana-de-açúcar Co-419 e o seu crescimento em função da idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 16, p. 167-190, 1959.
- COLETI, J.T.; CASAGRANDE, J.C.; STUPIELLO, J.J.; RIBEIRO, L.D.; OLIVEIRA, G.R.de Remoção de Macronutrientes pela cana-planta e cana-soca, em Argissolos, variedades RB835486 e SP813250. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 24, n. 5, p. 32-36, 2006.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 13, p. 327-354.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.
- FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, 2006.
- FELLER, U.; FISCHER, A. Nitrogen-metabolism in senescing leaves. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 13, n. 3, p. 241-273, 1994.

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 521-526, 2007a.

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**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007b.

FRANCO, H.C.J.; TOALIARI, J.G.; TRIVELIN, M.O.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do <sup>10</sup>B-fertilizante pela cana-de-açúcar. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS NO CENA/USP, 13., 2007, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: CENA, 2007. 1 CD-ROM.

GAVA, G.J.C; SILVA, M. de A.S.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; PENATTI, C.P.; CAPUTO, M.M. Acumulación de fitomasa y macronutrientes em rebrotes de caña de azúcar cultivados em suelo cubierto por paja. In: CONGRESO DE LA ASOCIACION DE TÉCNICOS AZUCAREROS DE LATINOAMERICA Y EL CARIBE, 6., 2006, Guayaquil. **Anais ...** Guayaquil: ATALAC, 2006. p. 299-308.

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

MALAVOLTA, E. **Nutrient and fertilizer management in sugarcane**. Basel: International Potash Institute, 1994. 104 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2<sup>nd</sup> ed. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MOURA FILHO, G.; SILVA, L.C.da; SILVA, V.T.da; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P.; SILVA, J.V.T.da. Acúmulo e Alocação de fósforo pelas variedades RB72454, SP81-3250 e RB83594, no ciclo de cana-soca, sob gotejamento subsuperficial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais ...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, The Hague, v. 102, p. 79-83, 1987.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; KINGSTON, G.; BARBOSA, M.H.P.; VITTI, A.C. Decomposition and release of nutrients from sugarcane trash in two agricultural environments in Brazil. **Proceedings of the Australian Society os Sugar Cane Technologists**, Melbourne, v. 24, p. 40, 2002.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; HAAG, H.P. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 3-127, 1980a.

\_\_\_\_\_. Efeito do solo e da idade da planta na absorção de boro pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 93, n. 1, p. 31-41, 1980b.

\_\_\_\_\_. Acumulação de manganês pela parte aérea da cana-de-açúcar em função da idade. **Boletim Técnico Planalsucar**, Piracicaba, v.2, n.2, p. 3-30, 1980c.

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. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 39-41, 1999.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SILVA, V.M.; ALVES, G.D. Capacidade de suprimento de nitrogênio e resposta à fertilização de vinte solos de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 269-279, 1995.

SAWAN, Z.M.; HAFEZ, S.A.; BASYONY, A.E. Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelate zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 136, p. 191-198, 2001.

SILVA, L.C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em sete cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) no estado de Alagoas**. 2007. 89 p. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SILVA, L.C.da; MOURA FILHO, G.; SILVA, V.T.da; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P; ALMEIDA, C.A.B.; ALBUQUEQUER, A.W. Remoção de nitrogênio em quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Coruripe-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais ...** Gramado: SBCS, 2007a. 1 CD-ROM.

SILVA, L.C.da; MOURA FILHO, G.; SILVA, V.T.da; FERREIRA, L.C.R.; CARNAÚBA, P.J.P; ALMEIDA, C.A.B.; COSTA, J.P.V. Acúmulo de fósforo em quatro cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região de Coruripe-AL. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais ...** Gramado: SBCS, 2007b. 1 CD-ROM.

SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In. ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Álcool, 1983. cap. 4, p. 77-99.

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**, Campinas, v. 2, p. 7-15, 1990.



SOBRAL, A.F.; WEBER, H. Nutrição mineral de cana-de-açúcar (micronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1983. cap. 5, p. 103-124.

SORIANO, H.L. **Extração e eficiência de macro e micronutrientes em oito cultivares RB de cana-de-açúcar**. 2007. 19 p. Trabalho (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2007.

TASSO JUNIOR, L.C.; MARQUES, M.O.; CAMILOTTI, F.; SILVA, T. Extração de macronutrientes em cinco variedades de cana-de-açúcar cultivadas na região centro-norte do estado de São Paulo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 38-42, 2007.

TRIVELIN, P.C.O.; COLETI, J.T.; LARA CABEZAS, W.A.R. Efeito residual na soqueira de cana-de-açúcar do nitrogênio da uréia aplicada por via foliar na cana-planta. In: SEMINÁRIO SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: CENA, 1984. p. 119-124.

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**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 636-646, 2002.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 105-114, 1992.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J. de C.; PENATTI, C.; 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**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

VITTI, G. C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 37 p.

VITTI, G.C.; OLIVEIRA, D.B.de; QUINTINO, T.A. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E. NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CERES, 2006, cap. 9, p. 121-138.

## 6 PRODUÇÃO DE COLMOS E ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS NA COLHEITA DA CANA-PLANTA RELACIONADOS COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA

### Resumo

Uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar se refere à baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio. Nesse sentido, foram desenvolvidos dois experimentos em áreas comerciais das Usinas São Luiz (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico) e Santa Adélia (LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico) com o cultivar de cana-de-açúcar SP81 3250. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso e os tratamentos foram 3 doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> na forma de uréia) mais uma testemunha sem adição de N, com quatro repetições. Os fertilizantes nitrogenados foram aplicados no fundo de sulco de plantio e incorporados ao solo. Os experimentos foram instalados em 28/02/2005 e 04/04/2005, respectivamente, na Usina São Luiz (USL) e Usina Santa Adélia (USA). Durante a fase de máximo crescimento foram coletadas amostras de folhas +1 para avaliação do estado nutricional da cultura em todas as parcelas experimentais. As colheitas dos experimentos foram efetuadas em 15/06/2006 na USL e 18/07/2006 na USA. A adubação nitrogenada de plantio aumentou a produção de colmos (TCH) no experimento da USL, enquanto que na USA não houve resposta em produtividade de cana industrial. A adubação nitrogenada de plantio interferiu nos atributos tecnológicos dos colmos na USA, porém sem efeito na USL. A adubação nitrogenada de plantio aumentou significativamente a produção de açúcar por hectare nos dois experimentos. A maior margem de contribuição agrícola foi obtida com a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N. A adubação nitrogenada aumentou os teores dos nutrientes N, K, Mg e S nas folhas-diagnóstico (folha +1) da cana-de-açúcar (cana-planta).

Palavras-chave: Açúcar; Diagnose foliar; Nitrogênio; Nutrientes; *Saccharum* spp.; Ureia

### Stalk yield and technological attributes at plant cane harvest related to nitrogen fertilization

#### Abstract

A still unclear question related to sugarcane cropping refers to the low response of plant cane to nitrogen fertilization at planting. In this respect, two experiments were conducted in commercial areas of the São Luiz (Typic Eustrustox) and Santa Adélia (Arenic Kandiusults) Sugar Mills, using sugarcane cultivar SP81 3250. The experimental design was organized as random blocks and treatments consisted of 3 N rates (40, 80, and 120 kg ha<sup>-1</sup> N in the form of urea) and a control without N, with four replicates. The nitrogen fertilizers were applied to the bottom of the planting furrow and then incorporated into the soil. The experiments were installed on 02/28/2005 and on 04/04/2005, respectively, at Usina São Luiz (USL) and Usina Santa Adélia (USA). During the maximum growth stage, +1 leaf samples were collected from all experimental plots to evaluate the crop's nutritional status. The experiments were harvested on 06/15/2006 at USL and on 07/18/2006 at USA. Nitrogen fertilization at planting increased stalk yield (TSS) in

the USL experiment; however, no stalk yield response was observed at USA. Nitrogen fertilization at planting interfered with stalk technological attributes at USA, but no effect was detected at USL. Nitrogen fertilization at planting significantly increased sugar production per hectare in both experiments. The highest margin of agricultural contribution was obtained at the rate of 40 kg ha<sup>-1</sup> N. Nitrogen fertilization increased N, K, Mg, and S contents in diagnostic sugarcane leaves (+1 leaf) (plant cane).

Keywords: Foliar diagnosis; Nitrogen; Nutrients; *Saccharum* spp.; Sugar; Urea

## 6.1 Introdução

Com enfoque ao manejo nutricional da cultura de cana-de-açúcar, muitos trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do nitrogênio. O nutriente constitui apenas 1% da matéria seca total da planta, mas sua deficiência causa a redução na síntese de clorofila, de aminoácidos essenciais e da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos (ALEXANDER, 1973; EPSTEIN, 1975).

A grande importância do nitrogênio para a cana-de-açúcar diz respeito ao fato de ela ser uma *Poaceae*, de metabolismo de carbono do tipo C4, caracterizado por altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização do nitrogênio e da energia solar, sendo altamente eficiente na produção de matéria seca. Como o nitrogênio é parte constituinte de todos os aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos, participando direta ou indiretamente de vários processos bioquímicos, a sua carência promoverá a diminuição na síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, e também da energia necessária a produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização da matéria-orgânica (tanto a nativa do solo como a recém incorporada), pela fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados. Deve-se, também, considerar como fonte de nitrogênio, no ciclo de cana-planta, o nutriente contido no tolete de plantio (colmo-semente) e, nas soqueiras, as reservas em rizomas e raízes (TRIVELIN, 2000).

Entretanto, uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar se refere à baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. A literatura é bastante rica em trabalhos que

avaliaram o efeito de doses, fontes e formas de aplicação de nitrogênio na cana-de-açúcar, principalmente os seus efeitos na produtividade de colmos e nas características químicas e tecnológicas do caldo, sendo as respostas bem heterogêneas para cana-planta e relativamente homogênea para cana-soca (CARNAÚBA, 1990).

A falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada tem sido atribuída à fixação biológica do nitrogênio atmosférico; às perdas por lixiviação de N-fertilizante; ao vigor do sistema radicular da cana-planta comparada ao de soqueiras; às condições climáticas, como temperatura e pluviosidade; à melhoria da fertilidade solo, após a reforma dos canaviais, associada à calagem, ao preparo mecânico e à incorporação de restos da cultura anterior (AZEREDO et al., 1986; CARNAÚBA, 1990; URQUIAGA; CRUZ; BODDEY, 1992; ORLANDO FILHO et al., 1999).

Recentemente, em experimentos desenvolvidos em vaso com 300 kg de solo arenoso, Trivelin (2000) e Trivelin et al. (2002) verificaram que a cana-planta respondeu à adubação nitrogenada (doses equivalentes a 0, 30, 60 e 90 kg ha<sup>-1</sup> de N-uréia) em produção de colmos e rendimento em açúcar, com resposta linear na produção de matéria seca e acúmulo de N-total na parte subterrânea, parte aérea e planta toda. Bologna-Campbell (2007) trabalhando com cana-planta em vasos também constatou resposta linear significativa na produção de colmos em função das doses de N de plantio (0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N).

Em 80% de 135 experimentos, desenvolvidos em diferentes regiões canavieiras do Brasil, Azeredo et al. (1986) não encontraram resposta à fertilização com N em cana-planta. Mais recentemente, Morelli et al. (1997) recomendaram a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, exclusivamente no sulco de plantio, mesmo obtendo resposta à adubação de cana-planta em 20% de seus experimentos, em solos distróficos e de textura arenosa. Na literatura, existem citações de grande número de experimentos que não mostraram resposta da cultura à adubação com N no plantio, mas ela é recomendada e realizada, mesmo em condições de baixa expectativa de resposta. Por que isso ocorre? Seria falta de confiança nos resultados experimentais?

Entre os técnicos ligados ao setor agrícola de usinas produtoras de cana-de-açúcar, é voz corrente que, se em determinado ano não for feita a adubação dos canaviais (soqueiras) com nitrogênio, a produtividade naquela safra não será afetada de forma marcante, mas o efeito ocorrerá nos anos seguintes, com reflexo na longevidade da soqueira. Penatti, Donzelli e Forti (1997) e Orlando Filho et al. (1999) constataram esse efeito e afirmaram que a resposta da cana-

planta ao nitrogênio, se refletiu no maior vigor das soqueiras, aumentando a produção nos cortes subsequentes, entre a cana-de-açúcar com e sem adubação nitrogenada.

Como as doses de N atualmente recomendadas para cana-planta estão aquém das reais exigências da cultura, e considerando-se, em adição, que a imobilização microbiana e as perdas de N do solo reduzem a concentração do nutriente disponível à cultura, em especial no sistema com manutenção da palhada e em solos de baixa ou média fertilidade, é notório que a cana-de-açúcar, no ciclo de cana-planta, nessa condição de carência de N não teria como expressar toda a sua potencialidade produtiva.

Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio, avaliando-se a produção de colmos, massa seca, atributos tecnológicos dos colmos, rendimento de açúcar por área e a margem de contribuição agrícola.

## **6.2 Material e métodos**

Em dois experimentos (Usinas São Luiz - Pirassununga, SP e Usina Santa Adélia – Jaboticabal, SP) foi avaliada a produtividade e atributos tecnológicos da cana-planta. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram três doses de N (40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> na forma de uréia) aplicados no fundo do sulco de plantio, mais uma testemunha. Os solos das áreas foram classificados como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO eutrófico e LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico (EMBRAPA, 1999), respectivamente, nas Usinas São Luiz e Santa Adélia. O cultivar utilizado foi o SP81 3250.

Para avaliar a produtividade final da cana-planta em função da adubação nitrogenada de plantio realizou-se a colheita entre os dias 7 e 10 de junho e 11 e 13 de julho de 2006, respectivamente, nos experimentos as Usinas São Luiz (USL) e Santa Adélia (USA). Para realizar a estimativa de produção de massa seca da parte aérea colheram-se, em todas as parcelas, as plantas de cana-de-açúcar em 3 metros de linha nas quais foram separadas amostras de folhas secas, ponteiros e colmos. Nessas amostras, foi determinada a massa de material vegetal natural diretamente no campo. Todo o material foi triturado em picadora de forragem, obtendo-se subamostras que, acondicionadas em sacos plásticos fechados e identificadas, foram levadas ao CENA/USP, em Piracicaba, para as determinações de umidade. Essas amostras foram secas em

estufa a 65°C durante 72 h, para obtenção da massa seca de material vegetal. Os resultados foram extrapolados para kg ha<sup>-1</sup>, considerando o espaçamento de 1,5 m entrelinhas.

Após a colheita da parte aérea das plantas de cana-de-açúcar, foi realizada a amostragem de raízes, obtidas mediante o uso da sonda SONDA TERRA® (55 mm de diâmetro interno). Essa amostragem foi realizada na profundidade de 0-60 cm segundo Faroni e Trivelin (2006). Nessas amostras fez-se a separação das raízes do solo por peneiramento e a seco (malha da peneira - 2 mm). As raízes e rizomas separados do solo foram lavadas em água corrente, secas em estufa ventilada a 65°C e obtidas as massas de material seco. Em seguida realizou-se a moagem desse material em moinho tipo Wiley.

A produtividade de colmos por hectare (TCH) de todas as parcelas com cana-planta (4 blocos) foi avaliada mediante o corte mecânico e pesagem da cana-picada em caminhão instrumentado do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) em 16 linhas por parcela (4 eitos de 4 linhas seguidas – 240 metros). As demais linhas foram colhidas mecanicamente sem pesagem. Nessa colheita foram separadas amostras de 10 canas (colmos), por parcela, colhida seguidas na linha, destinadas à avaliação dos parâmetros tecnológicos: Brix, Pureza, Fibra, Pol do caldo, Pol da cana, Açúcares redutores (AR) e Açúcar total recuperável (ATR), realizados segundo Fernandes (2003).

Como parte da avaliação da disponibilidade de N para a cultura durante o ciclo da cana-planta, no plantio foram coletados ao acaso 30 colmos-semente, divididos em 3 subamostras (nº necessário de mudas para o plantio de 15 m de linha) e nessas determinaram-se a massa fresca, massa seca e concentrações de macro e micronutrientes segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os quais estão ilustrados na Tabela 6.1.

Para verificar o estado nutricional das plantas durante o ciclo de cana-planta, no estágio de máximo desenvolvimento da cultura, nos dias 12 e 17 de janeiro de 2006, respectivamente, nos experimentos da USL e da USA foram coletadas folhas-diagnóstico segundo Raij e Cantarella (1997). Foram coletadas aleatoriamente em cada parcela cinco folhas na posição +1 (sistema Kuijper), as quais constituíam uma amostra compostas. De cada folha (F+1) foi coletado apenas o terço médio, aproximadamente 0,2 m, excluído a nervura central. A F+1 é a primeira folha, a partir do topo da planta, que apresenta visível o ponto de separação entre limbo e bainha foliar denominado de “colarinho”, sendo denominada, também, de TVD (“Top Visible Dewlap”). Essas amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa

constante. Após a secagem foram moídas em moinho tipo Wiley e analisadas, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), para determinação das concentrações dos macronutrientes.

Para o cálculo da margem de contribuição agrícola (MCA) utilizaram-se os dados do preço do ATR do fechamento da safra 2006/2007, CCT (corte, carregamento e transporte) e custo da tonelada de uréia, fornecidos pelos departamentos agrícolas de cada Usina. O modelo de cálculo da MCA foi realizado segundo Fernandes (2003).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ao nível de 90 % de confiança. Para comparar o efeito de doses de N usou-se a análise de regressão polinomial.

Tabela 6.1 - Caracterização química (concentração) e conteúdo em massa e de nutrientes de mudas de cana-de-açúcar (SP 81-3250) dos Experimentos USL e USA

Usina São Luiz												
Material Natural	Material Seco	N	K	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— *kg feixe <sup>-1</sup> —		g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
10	2,21	3,4	7,3	0,40	0,90	0,60	1,56	3,90	2,20	85,3	11,0	3,4
— t ha <sup>-1</sup> —		kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>				
13,3	2,95	10,0	21,5	1,18	2,66	1,77	4,60	11,5	6,49	252	32,5	10,0
Usina Santa Adélia												
Massa Natural	Massa Seca	N	K	P	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
— kg feixe <sup>-1</sup> —		g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>				
9,41	2,78	2,5	2,7	0,4	0,4	0,5	0,2	4,6	1,9	54,3	24,7	3,5
— t ha <sup>-1</sup> —		kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>				
12,6	3,71	9,3	10,0	1,5	1,5	1,9	0,7	17,1	7,0	201	13	92

\* Média de 3 feixes contendo 10 canas cada

### 6.3 Resultados e discussão

O motivo pelo quais as concentrações de nutrientes são determinadas nas folhas dos vegetais é conhecido: elas são os órgãos que, como regra geral, reflete melhor o estado nutricional, isto é, respondem mais às variações no suprimento do nutriente, seja pelo solo, seja

pelo adubo (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) a diagnose foliar é um método de avaliação do estado nutricional das culturas em que se analisam determinadas folhas em períodos definidos da vida da planta. A diagnose foliar da cana-de-açúcar foi realizada com o objetivo de se investigar o real estado nutricional da cana-planta e, verificar possíveis interações da nutrição nitrogenada com as concentrações de macronutrientes na fase de máximo crescimento da cultura.

Os resultados da diagnose foliar estão apresentados na Tabela 6.2. De maneira geral, as concentrações de nutrientes obtidas nas análises químicas das folhas-diagnóstico estão na faixa de suficiência, sugerida para a cultura de cana-de-açúcar cultivada no Estado de São Paulo (RAIJ; CANTARELLA, 1997), exceção feita às concentrações de S nos dois experimentos e às concentrações de Ca na USA (que estavam abaixo do limite inferior de suficiência), e às concentrações de K na USA (que estavam acima do limite superior de suficiência). Contudo, os resultados mencionados de Ca e S estão no limiar das faixas de suficiência e não foram devidos à disponibilidade dos nutrientes no solo, pois os teores de S e Ca (Tabelas 5.1 e 5.2 do capítulo 5) variaram de médio a alto (RAIJ et al., 1997). Portanto, esses resultados são devidos, provavelmente, ao efeito de diluição, proporcionado pelo crescimento da cultura (JARRELL; BEVERLY, 1981), ocorrido na época de colheita das folhas-diagnóstico.

Na USL ocorreu diminuição nas concentrações de N na F+1 nos tratamentos com aplicação de N (Tabela 6.2), mas, como houve aumento de produtividade (Tabela 6.3), pode ter ocorrido efeito de diluição. Na USA observou-se um incremento significativo na concentração de N nas folhas-diagnóstico com as doses de N do plantio (Tabela 6.2). Porém, não houve efeito do N na produção de massa seca da cultura (Tabela 6.4), o que gerou um efeito de concentração de N nas plantas que pode caracterizar um consumo de luxo pela cultura, ou mesmo a limitação do desenvolvimento desta por outro fator.

Vale lembrar que a análise da folha-diagnóstico foi realizada para avaliar se as plantas estavam bem nutridas ou deficientes em algum elemento, não sendo possível fazer uma estimativa da extração e acúmulo de nutrientes pela cultura. Dessa forma a diluição ou concentração do nutriente na F+1 não deve ser entendida como menor ou maior absorção do elemento, e sim se este está sendo absorvido em quantidades adequadas e balanceadas com os demais.



Tabela 6.2 - Concentrações adequadas de macronutrientes na folha-diagnóstico (F+1) para os canaviais do Estado de São Paulo e concentrações de nutrientes na diagnose foliar (F+1) dos experimentos da Usinas São Luiz e Santa Adélia

		<b>Teores adequados para o Estado de São Paulo<sup>#</sup></b>					
		<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
<b>Faixa de suficiência</b>		g kg <sup>-1</sup>					
		18,0 - 25,0	10,0 - 16,0	1,5 - 3,0	2,0 - 8,0	1,0 - 3,0	1,5 - 3,0
<b>Usina São Luiz</b>							
<b>Doses de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Teores de nutrientes na diagnose foliar</b>						
	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	
	g kg <sup>-1</sup>						
<b>0</b>	20	14	1,7	2,8	1,3	1,5	
<b>40</b>	19	14	1,6	2,8	1,2	1,3	
<b>80</b>	19	14	1,7	2,8	1,3	1,5	
<b>120</b>	19	15	1,6	2,7	1,5	1,5	
<b>F - doses</b>	4,3**	3,9**	NS	NS	12,1***	NS	
<b>F - R.L.</b>	7,2**	10,8***	NS	NS	39,2***	NS	
<b>F - R.Q.</b>	8,8**	5,1**	NS	NS	25,0***	NS	
<b>C.V. (%)</b>	4	5	5	12	7	10	
<b>Usina Santa Adélia</b>							
<b>Doses de N (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Teores de nutrientes na diagnose foliar</b>						
	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>	
	g kg <sup>-1</sup>						
<b>0</b>	21	16	2,0	2,1	1,3	1,4	
<b>40</b>	20	17	1,9	1,9	1,2	1,5	
<b>80</b>	21	17	2,1	2,0	1,3	1,6	
<b>120</b>	22	17	2,1	2,0	1,3	1,8	
<b>F - doses</b>	3,19**	8,4***	2,32 <sup>NS</sup>	0,32 <sup>NS</sup>	0,30 <sup>NS</sup>	23,89***	
<b>F - R.L.</b>	6,39**	24,69***	NS	NS	NS	41,43***	
<b>F - R.Q.</b>	NS	7,44**	NS	NS	NS	NS	
<b>C.V. (%)</b>	5	4	6	18	13	6	

<sup>#</sup>Boletim Técnico 100 (RAIJ;CANTARELLA, 1997); <sup>NS</sup>- não significativo; \*\*\*, \*\* e \* significativos a 1%, 5% e 10% de probabilidade, respectivamente. RL e RQ: Regressão Linear e Quadrática respectivamente

As concentrações de K aumentaram linearmente com a adubação nitrogenada nas folhas-diagnóstico, nos dois experimentos (Tabela 6.2). Na USA as concentrações de K nas folhas +1 (Tabela 6.2) estavam acima do limite superior da faixa de suficiência sugerida para o Estado de São Paulo (Tabela 6.2). No entanto, como os teores de K no solo eram elevados no início do experimento (Tabela 5.2, apresentada no capítulo anterior), pode ter havido um consumo de luxo de K pelas plantas, o qual foi confirmado pelas extrações de K obtidas na colheita da cana-planta

(capítulo 5). Aliado a isso, a maior disponibilidade de K no solo pode ter influenciado a absorção do nutriente, devido a maior variação espacial da distribuição de K no solo (SOUZA et al., 2006).

Nos dois experimentos não houve efeito significativo das doses de N nas concentrações de P e Ca das folhas-diagnóstico (Tabela 6.2). Quanto às concentrações de Mg, não houve efeito da dose de N no experimento da USA (Tabela 6.2). Na USL ocorreu aumento linear altamente significativo no Mg (Tabela 6.2). Esse fato pode ser explicado pela participação do Mg na clorofila e, também, como ativador enzimático (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Como neste experimento ocorreu resposta às doses de N na produtividade de matéria seca é de se esperar que o Mg seja mais absorvido, por esse nutriente fazer parte da maior quantidade de clorofila, ou por fazer parte de mecanismos fisiológicos na planta. Maiores explicações a respeito da interação N e Mg na planta foram apresentados no capítulo 5.

Na USA houve aumento linear altamente significativo na concentração de S foliar com as doses de N (Tabela 6.2), porém sem resposta na USL. O enxofre nas plantas encontra-se, em sua maior parte, nas formas de cisteína, metionina, proteínas, coenzimas, tiamina, biotina e coenzima A, e sua deficiência pode interferir na síntese de proteínas regulatórias, essenciais para a manutenção da atividade celular (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). Nesse contexto, a deficiência de S pode limitar a resposta da planta à adubação nitrogenada. Isso pode ter ocorrido nos dois experimentos, principalmente na USA, já que as plantas deste experimento foram as que apresentaram as maiores concentrações de N nas folhas, sendo que as concentrações de S, se não estão abaixo da faixa considerada adequada, estão próximas ao limite inferior de 1,5 g kg<sup>-1</sup> de S (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Entretanto, o enxofre por participar de muitos compostos orgânicos (todas as proteínas vegetais contêm S do mesmo modo que todas elas possuem N) há uma relação entre a concentração de N e de S nas folhas, geralmente entre 10 e 15, o que indica nutrição adequada (PRATES et al., 2006). Segundo MALAVOLTA (1980) existe uma estequiometria muito fixa entre estes dois elementos, sendo que, em média, há aproximadamente 34 átomos de N para cada átomo de S e, para a maioria das culturas a relação entre estes nutrientes na matéria seca das plantas é da ordem de 15/1. As relações N/S nos dois experimentos foram aproximadamente de: 14; 14; 13 e 13 nos tratamentos 0, 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N respectivamente no experimento da USL, enquanto que na USA as relações foram iguais a 15; 14; 13 e 12 para esses mesmos tratamentos. Portanto, tomando-se por base as relações N/S, os resultados de N e S da diagnose foliar foram satisfatórios nos dois experimentos.

Com relação à produtividade de colmos (TCH), no experimento da USL houve aumento na TCH nos tratamentos que receberam N no plantio (Tabela 6.3). Além disso, a massa seca de colmos, da parte aérea (colmos, folhas secas e ponteiro) e total (parte aérea e raízes) apresentou resposta quadrática altamente significativa ( $p < 0,05$ ), com destaque ao tratamento com aplicação de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Na USA não foi verificado efeito da adubação nitrogenada nos parâmetros produtivos avaliados (Tabela 6.4). Contudo, na avaliação da produção de massa seca de raízes, a dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aumentou significativamente essa variável, produzindo mais de  $1000 \text{ kg ha}^{-1}$  que a testemunha (Tabela 6.4). Trivelin et al. (2002) verificaram resposta linear na produtividade de matéria seca do sistema radicular da cana-planta (SP80 1842) em função das doses de N de plantio. Bologna-Campbell (2007) também obteve resposta linear na produção de matéria seca do sistema radicular (raízes e rizomas) da cana-planta a adição de N no plantio (doses de 40, 80 e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). Esse fato pode proporcionar maior produtividade da 1ª soca (efeito residual), devido às raízes e rizomas serem os órgãos de reserva da cana-de-açúcar. Vitti et al. (2007) constataram destacado efeito residual da adubação nitrogenada de solo feita em uma 3ª soca na produtividade de colmos da soca subsequente. Penatti, Donzeli e Forti (1997) constataram efeito residual indireto da adubação nitrogenada de plantio na produtividade da cana-de-açúcar cultivada no ano seguinte.

Tabela 6.3 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), umidade do colmo e massa seca de colmo, ponteiro, folha seca, raiz, parte aérea e total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta em área experimental da Usina São Luiz

Dose de N $\text{kg ha}^{-1}$	TCH $\text{t ha}^{-1}$	Umidade %	Colmo	Ponteiro	Massa seca		Raiz	Total
					Folha Seca	Parte Aérea		
					$\text{kg ha}^{-1}$			
0	134	73	36.175	2.893	5.123	44.191	1.859	46.050
40	142	74	37.014	3.170	4.692	44.875	2.490	47.365
80	139	71	40.004	3.711	5.267	48.982	2.258	51.241
120	141	74	37.167	3.264	5.170	45.601	3.716	49.316
<b>F – doses</b>	1,9*	13,5***	5,3**	NS	NS	5,2**	NS	3,5*
<b>F - RL</b>	2,6*	NS	NS	NS	NS	4,0*	5,2**	6,3**
<b>F - RQ</b>	NS	6,6**	6,4**	NS	NS	4,7*	NS	NS
<b>CV (%)</b>	4	1	4	17	15	4	40	5

<sup>NS</sup> - não significativo; \*\*\*, \*\* e \* significativos a 1%, 5% e 10% de probabilidade respectivamente. TCH: toneladas de colmos industrializáveis por hectare; RL e RQ: Regressão Linear e Quadrática respectivamente

Tabela 6.4 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), umidade do colmo e massa seca de colmo, ponteiro, folha seca, raiz, parte aérea e total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta em área experimental da Usina Santa Adélia

Dose de N $\text{kg ha}^{-1}$	TCH	Umidade	Massa seca					
			Colmo	Ponteiro	Folha Seca	Parte Aérea	Raiz	Total
	$\text{t ha}^{-1}$	%	$\text{kg ha}^{-1}$					
<b>0</b>	145	74	37.238	4.371	6.415	48.024	1.611	49.635
<b>40</b>	144	74	38.116	3.930	6.749	48.794	2.792	51.586
<b>80</b>	147	73	40.219	3.142	6.557	49.918	1.708	51.626
<b>120</b>	146	74	38.028	4.364	6.471	48.862	2.289	51.151
<b>F – doses</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	2,8*	NS
<b>F - RL</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>F - RQ</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	2	2	6	24	16	6	32	6

<sup>NS</sup> - não significativo; \* significativo a 10% de probabilidade. TCH: toneladas de colmos industrializáveis por hectare; RL e RQ: Regressão Linear e Quadrática respectivamente

Como destacado anteriormente, a adubação nitrogenada em cana-planta é questão ainda em aberto no setor canavieiro. Porém, resultados publicados recentemente também mostraram o efeito positivo da nutrição nitrogenada na produtividade da cana-planta. Bologna-Campbell (2007) constatou resposta linear do cultivar de cana-açúcar SP80 3280 à adubação nitrogenada de plantio, sendo que o aumento médio na produção obtido na maior dose de N ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) em relação à testemunha foi de 55%. Trivelin et al. (2002) verificaram aumento linear significativo na TCH do cultivar SP80 1842 em resposta a adubação nitrogenada de plantio (doses de 30, 60 e  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N). Korndörfer et al. (2002) obtiveram resposta em sete cultivares de cana-de-açúcar a adição de  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo o incremento médio de 10 TCH. Orlando Filho et al. (1999) observaram redução de 35% na produtividade de colmos da cana-planta sem aplicação de N em relação à aplicação do nutriente. Korndörfer et al. (1997) constataram que a produtividade da cana-planta aumentou linearmente com as doses de N ( $30, 60$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ), e para cada  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de N aplicado houve um incremento médio de 3,5 TCH. Paes et al. (1997) em experimento com cana-planta de ano e meio, verificaram que a aplicação de doses de N proporcionou aumento linear na produtividade de TCH dos cultivares RB73 9359 e NA56 79, enquanto que o cultivar CB45 3 não apresentou resposta à adubação nitrogenada. Segundo esses autores, esses resultados mostraram o comportamento diferenciado entre cultivares, comprovando assim, que existem diferenças varietais quanto à eficiência de utilização do nitrogênio na produtividade de colmos. Penatti, Donzelli e Forti (1997) em nove experimentos de campo com

adubação nitrogenada de cana-planta constataram resposta significativa em 5 ensaios, sendo 3 em cana de ano e 2 em cana de ano e meio, e a maior contribuição industrial (R\$/ha) foi obtida com a dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N. Além desses trabalhos, Espironelo, Oliveira e Nagai (1977), Reis e Cabala-Rosand (1986), Espironello et al. (1987) e Orlando Filho e Rodella (1995) também verificaram resposta da cana-planta à adição de N.

Entretanto, os resultados obtidos na USA corroboram os de Azeredo et al. (1986), Bittencourt, Faganello e Salata (1986), Cantarella e Raij (1986) e Rossiello (1987) que reportaram à falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. Entretanto, o trabalho de Azeredo et al. (1986) mostrou resposta em 20% dos experimentos desenvolvidos (2 de um total de 9 ensaios), com a dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N produzindo o dobro da testemunha. Bittencourt, Faganello e Salata (1986) apesar de não obterem resposta da cana-planta à adubação nitrogenada, sugeriram que para solos que não apresentem teores de N disponíveis tão altos, a adição de 60 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio deve ser considerada como a máxima. Esses autores relataram em seus trabalhos uma ampla revisão de literatura mostrando à baixa resposta da cana-planta a adubação nitrogenada de plantio: Azeredo et al. (1986) reportaram que a adubação nitrogenada em cana-planta proporcionou incremento em produtividade em apenas 19% dos 135 experimentos citados; Bittencourt, Faganello e Salata (1986) verificaram resposta da cana-planta à adubação com N em 50% dos trabalhos revisados.

Por outro lado, devido ao elevado erro experimental, por vezes associado aos ensaios de adubação, tem feito com que estudos com pequenas respostas em produção, em razão da adubação nitrogenada, não atinjam significância estatística, conduzindo muitos técnicos a considerar que a cana-planta pode dispensar a aplicação do nutriente. No entanto, segundo Cantarella, Trivelin e Vitti, (2007) quando dados de grupos de ensaios são avaliados em conjunto, emerge um cenário diferente. Penatti e Cantarella (dados não publicados) apud Cantarella, Trivelin e Vitti (2007) reuniram 74 experimentos de campo desenvolvidos pela Copersucar e pelo Instituto Agrônomo de Campinas e observaram que a maioria desses trabalhos não apresentava, individualmente, resposta significativa à adubação nitrogenada, mas, quando analisados em conjunto, mostraram uma clara tendência de resposta, com dose econômica de 75 kg ha<sup>-1</sup> de N. Marinho e Barbosa (1996) analisando dados de 141 experimentos desenvolvidos no Nordeste do Brasil, verificaram que quando os experimentos foram analisados estatisticamente sozinhos, apenas 47% tinham apresentado resposta significativa da cana-planta a nutrição com N, porém,

quando se realizou a análise conjunta de grupo de experimentos obteve-se resposta altamente significativa em produtividade à adubação nitrogenada em cana-planta.

Neste trabalho a resposta da cana-planta à adição de N-fertilizante pode estar associada, ainda, ao tipo de solo. Azeredo et al (1994) obtiveram incrementos altamente significativos na TCH com adição de 180 kg ha<sup>-1</sup> de N num CAMBISSOLO (aumento de 68 TCH), enquanto que nos LATOSSOLOS somente ocorreram tendência de resposta. Esses resultados levaram os autores a concluir que a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada nos solos estudados esteve associada à capacidade do solo em fornecer o nutriente em função da mineralização do nitrogênio orgânico. Nessa mesma linha de raciocínio, Orlando Filho (1993) enfatizou que há três condições em que a cana-planta pode apresentar resposta à adubação nitrogenada: solos eutróficos (alta fertilidade); solos onde se cultiva a cana-de-açúcar pela primeira vez e solos sob cultivo mínimo. Sendo assim, considerando a classificação dos solos das duas áreas experimentais (OTTO, 2007), percebe-se que na USL o solo é eutrófico, e assim, poderia apresentar resposta à adição de N-fertilizante, enquanto que na USA não se verificou tal fato (solo distrófico). Além disso, os preparos do solo dos experimentos, apesar de apresentarem pequenas diferenças, foram convencionais e são solos cultivados com cana-de-açúcar há vários anos.

As diferentes respostas nos experimentos não foram devidas ao regime pluviométrico, uma vez que as pluviosidades mensais e totais foram semelhantes nos dois locais (Anexo A).

A interpretação dos resultados de respostas de N-adubo em cana-planta apresenta, em geral, uma série de dificuldades para interpretação, devido ao comportamento complexo desse nutriente no solo, aliado ao fato de não existir um método analítico eficiente e viável economicamente para a determinação da disponibilidade de N do solo às plantas.

Nesse sentido, vários fatores têm sido listados para explicar as baixas respostas a N em cana-planta, entre os quais a mineralização da matéria orgânica do solo e dos restos culturais da própria cana, favorecida pelo revolvimento do solo durante a reforma do canavial (CANTARELLA; TRIVELIN; VITTI, 2007). Zambello Junior e Orlando Filho (1981) observaram que as operações de preparo do solo aumentam a aeração do solo, numa época em que há elevação da temperatura e umidade, provocando aumento na atividade microbiana do solo, que decompõe rapidamente os restos da cultura (principalmente raízes), diminuindo a relação C/N, e assim, proporcionam maior disponibilidade de N para a cana-planta plantada entre fevereiro e março.

Segundo Salcedo, Sampaio e Alves (1985) a mineralização do N orgânico ao longo do ciclo de cana-planta talvez seja a principal fonte de N para a cultura e, o fato de a cana-soca apresentar respostas mais frequentes à fertilização nitrogenada (CARNAÚBA, 1990) poderia ser explicado pela redução no teor de N mineral no perfil do solo ao término do ciclo de cana-planta (SALCEDO; SAMPAIO, 1984), somado à possível queda na taxa de mineralização do N orgânico com o decorrer desse ciclo. De acordo com Zambello Junior e Orlando Filho (1981), em cana soca a atividade microbiana seria dificultada pela menor aeração do solo, devido à compactação e também pelas baixas condições de temperatura e umidade (características da região Centro-Sul do Brasil). A decomposição dessa matéria orgânica (restos da cultura e raízes) de alta relação C/N, junto com o período de grande exigência em N pela cultura, faria com que qualquer adição de N ao processo fosse acompanhada por uma rápida resposta, em termos de crescimento, pela soqueira. De fato, Salcedo, Sampaio e Alves (1985) estudando a mineralização do carbono e nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar, verificaram que as quantidades de N do solo mineralizados ao longo do ciclo de cana-planta foram suficientes para atender a demanda da cultura por nitrogênio.

Aliado a isso, o levantamento realizado para quantificar o estoque de nutrientes nos resíduos culturais na USA (FRANCO et al., 2007 e apresentados no capítulo 2), mostrou que elevada quantidade de N (cerca de 200 kg ha<sup>-1</sup>) foram incorporados ao solo na reforma do canavial. Ng Kee Kwong et al. (1987) verificaram, após 18 meses de permanência da palhada de cana-de-açúcar no campo, que 73 a 83% do N contido no resíduo permaneceram na matéria orgânica do solo, ou seja, houve liberação média de 25% nesse período. Bologna-Campbell (2007) quantificou que cerca de 20% do total de N acumulado pela cana-planta foi absorvido do N de resíduos culturais incorporados ao solo. Tomando por base os valores obtidos pela autora, cerca de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N presente nos resíduos culturais da USA seria absorvido pela cultura, explicando, em parte, a falta de resposta da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio.

Além desses fatores, no período de pousio do solo entre a colheita da última soca e o novo plantio, o N mineral acumula-se no perfil do solo em quantidades que variam em função da intensidade das chuvas, tipo de solo e de outros fatores (SALCEDO; SAMPAIO, 1984). Essas quantidades, porém, representam uma pequena parcela do N absorvido pela cultura.

Outros pesquisadores atribuíram a baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada de plantio à fixação biológica de nitrogênio (FBN) atmosférico realizada por organismos

diazotróficos capazes de formar associações (ou simbiose associativa), por meio de colonização radicular e dos tecidos internos das plantas, ou seja, estabelecer associações endofíticas (CANTARELA, 2007). Döbereiner et al. (1972) verificaram abundante população de bactérias fixadoras de N de vida livre nos canaviais, que aumentavam, notadamente, nas proximidades das touceiras. A energia fornecida pelos toletes de cana no plantio permite o desenvolvimento de microrganismo fixador de N na rizosfera, fornecendo um suprimento extra do nutriente, que adicionado ao solo, parece permitir o desenvolvimento adequado da cana-planta (CARNAÚBA, 1990). Nesse sentido, Urquiaga et al. (1987) e Urquiaga, Cruz e Boddey (1992) contabilizaram a contribuição da fixação biológica do nitrogênio para a cana-de-açúcar da ordem de 40 a 60% do N total da planta, cerca de 30 a 160 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo que a quantidade de N fixado variou conforme o cultivar de cana-de-açúcar. Boddey et al. (1991) verificaram, pelo balanço de <sup>15</sup>N/N, que alguns cultivares de cana-de-açúcar podem obter elevadas quantidades de N oriundo de sua associação com organismos diazotróficos, valores equivalentes a 60 a 80% do N total da planta (cerca de 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Pelo fato de não se observar resposta da cana-planta ao nitrogênio na maioria dos experimentos, a presença de microrganismos fixadores na rizosfera da cana-açúcar é uma indicação de que a fixação deve desempenhar papel importante na auto-suficiência de N (CARNAÚBA, 1990).

No entanto, o assunto de FBN em cana-de-açúcar desperta controvérsia, pois não há evidências, em condições de campo, de que a fixação biológica do N<sub>2</sub> possa garantir o suprimento de N para lavouras de média ou alta produtividade (CANTARELLA, 2007). Segundo Cantarella (2007), estudos realizados na África do Sul e na Austrália evidenciaram que a fixação biológica de N<sub>2</sub> não é uma fonte significativa deste nutriente para a cana-de-açúcar (BIGGS et al., 2002; HOEFSLOOT et al., 2005 apud CANTARELLA, 2007), embora bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> tenham sido isoladas no campo (BIGGS et al., 2002; HOEFSLOOT et al., 2005 apud CANTARELLA, 2007). E, ainda não é possível o uso de inoculantes, visto que a população de fixadores de N<sub>2</sub> em cana-de-açúcar é diversificada e não foi identificada, até o momento, uma espécie que possa ser apontada como a principal responsável pela fixação (BODDEY et al., 2003 apud CANTARELLA, 2007). Além disso, a maioria desses organismos apresenta outras formas de promoção do crescimento vegetal, como a produção de fitormônios, resistência a estresses, produção de sideróforos e antibiose, entre outras (GRAY; SMITH, 2005 apud REIS et al., 2006). Realmente, Moraes e Tornisielo (1997) avaliando o aumento de produtividade pelo cultivar SP70



1143 inoculado com a bactéria *Acetobacter diazotrophicus* constataram que a inoculação contribuiu significativamente para o aumento da produção de matéria seca, estando diretamente associada aos níveis de aplicação do nitrogênio mineral no solo, ou seja, houve uma sinergia entre o organismo diazotrófico e a nutrição nitrogenada, sendo que as plantas inoculadas produziram mais fitomassa quando cultivadas na presença de N mineral proveniente da adubação com N.

Segundo Reis et al. (2006) algumas perguntas, em relação à FBN em gramíneas, continuam sem resposta: Existe suficiente fonte de C para suportar uma população elevada de bactérias, ou estas podem ser um dreno para as plantas? Os produtos da fixação são diretamente transferidos para a planta ou somente após a morte e mineralização das células? Os números encontrados em plantas não-leguminosas ficam em torno de 10.000.000 de células por grama de matéria fresca; no caso do rízóbio, esse número chega a 100.000.000.000 de bacteróides por grama de matéria fresca. Esses números seriam suficientes? Muitos aspectos ainda precisam ser estudados, visando tornar essa associação mais eficiente.

Portanto, conforme foi mencionado acima, a fixação biológica de N<sub>2</sub> em cana-de-açúcar é questão muito mais complexa, duvidosa e sem resultados práticos até o momento, do que a realização da adubação nitrogenada de cana-planta. Atribuir a falta de resposta da cana-planta a adubação nitrogenada exclusivamente a FBN é na atualidade, no mínimo incoerente tendo em vista o conhecimento a respeito do assunto. Possivelmente, uma parcela do N total da cana-planta, realmente, seja proveniente da FBN, porém, esse valor não satisfaz as reais exigências da cultura em nitrogênio, principalmente em canaviais com alta produtividade.

Em conjunto, há de se destacar que as reservas nutricionais do tolete de plantio constituem-se em importante fonte de N para a cana-planta. Carneiro, Trivelin e Victoria (1995) procuraram demonstrar que o conteúdo de N do tolete de plantio (colmo-semente) pode contribuir para a nutrição nitrogenada da cana-de-açúcar e, juntamente com os demais fatores que disponibilizam o N à cultura, justificaria, em parte, a falta de resposta da cana-planta à fertilização nitrogenada. Porém, ao analisarmos as quantidades de N presentes nos colmos-semente dos experimentos (Tabela 6.1), constata-se que o conteúdo de N presente é baixo, cerca de 10 kg ha<sup>-1</sup>. Segundo Carneiro, Trivelin e Victoria (1995) cerca de 50% do N proveniente do colmo-semente é translocado para os novos órgãos da planta (raízes e parte aérea). Com base nesse resultado, a contribuição do N proveniente dos toletes de plantio na quantidade total de N

da planta toda foi de apenas 5 kg ha<sup>-1</sup>, não se justificando a falta de resposta da cana-planta a adubação nitrogenada na USA.

Nesse contexto, tomando-se como referência os diversos dados de literatura, é possível afirmar que a falta de resposta da cana-planta na USA e a baixa resposta na USL à adubação nitrogenada foi devido, na sua maior parte, à mineralização da matéria orgânica nativa e recém incorporada ao solo na reforma do canavial, associada ao tipo de preparo de solo (manejo convencional) e ao ciclo longo de cana-planta (cerca de 16 meses).

A umidade dos colmos, nos dois experimentos (sem significância estatística no experimento da USA) foi menor na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabelas 6.3 e 6.4), com isso a massa seca de colmos e total foi maior nesse tratamento. Trivelin et al. (2002) e Bologna-Campbell (2007) não verificaram nenhum efeito da adubação nitrogenada de plantio na umidade dos colmos. Entretanto, Trivelin et al. (1996) constataram, por todo o período de crescimento e maturação de soqueira de cana-de-açúcar SP70 1143, que a umidade da parte aérea de plantas sem adubação nitrogenada foi menor que a das fertilizadas com 100 kg ha<sup>-1</sup> de N. Segundo Silva e Casagrande (1983) o N favorece a absorção de cálcio, elemento fundamental na composição salina do citoplasma e na constituição da parede celular na forma de pectato de cálcio, resultando em maior estruturação das células e favorecendo a absorção de água, podendo afetar negativamente a qualidade tecnológica do produto (SILVA, 1983).

Os parâmetros tecnológicos analisados na colheita da cana-de-açúcar não foram alterados pela adubação nitrogenada na USL (Tabela 6.5). Resultados semelhantes foram obtidos por Orlando Filho e Zambello Junior (1980), Azeredo et al. (1986), Espironelo et al. (1987), Korndörfer et al. (1997), Orlando Filho et al. (1999), Trivelin et al. (2002), Korndörfer et al. (2002) e Bologna-Campbell (2007).

Por outro lado, os resultados da USA mostram benefício da adição de N na qualidade tecnológica dos colmos. Neste experimento todos os parâmetros tecnológicos analisados foram incrementados com as doses de 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N, com exceção do AR (Tabela 6.6), porém com tendência dos valores serem menores nas doses de 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os Açúcares redutores (AR), termo empregado para designar os açúcares (glucose e frutose) que apresentam a propriedade de reduzir o óxido de cobre do estado cúprico a cuproso, são produtos precursores de cor no processo industrial, isto é, participam de reações que aumentam a cor do açúcar, depreciando a qualidade do produto (FERNANDES, 2003), sendo que à medida que os teores de

sacarose aumentam na cana (processo de maturação) ocorre à redução desses nas plantas de cana-de-açúcar. Orlando Filho e Zambello Junior (1980) constataram que a Pol da cana correlacionou-se linearmente e de forma inversa com as percentagens de açúcares redutores.

O aumento dos atributos qualitativos devido à adição de N, foram observados, apenas, por Paes et al. (1997) que verificaram resposta linear na Pol da cana, no cultivar RB73-9359, devido às doses de N (0, 50 e 100 kg ha<sup>-1</sup>), semelhante ao ocorrido na USA.

A adubação nitrogenada está normalmente associada ao maior crescimento vegetativo, o que determina, invariavelmente, plantas com maior teor de umidade, porém com prejuízos no acúmulo de sacarose (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992). De fato, Fritz (1974 apud KORNDÖRFER; MARTINS, 1992), estudando o efeito de doses crescentes de N, observou que houve redução no teor de sacarose devido ao aumento de umidade do colmo, uma vez que a determinação da % da sacarose na matéria seca não se alterou. Nessa mesma linha de raciocínio, Innes (1960 apud KORNDÖRFER; MARTINS, 1992) afirmou que para cada unidade de aumento percentual na TCH devido ao N, ocorre um decréscimo de 0,01% no teor de açúcar dos colmos.

Outros autores também constataram os efeitos deletérios da adubação nitrogenada, sobretudo com aplicação de doses elevadas (>120 kg ha<sup>-1</sup> de N), no acúmulo de sacarose pela cana-de-açúcar semelhante ao ocorrido na USA com aplicação de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, onde o Brix, Pol Caldo, Pol cana e ATR foram menores em relação aos demais tratamentos. Silveira e Crocomo (1981) observaram decréscimo no teor de sacarose em plantas de cana-de-açúcar que se desenvolveram na presença de elevada concentração de N. Espironelo, Oliveira e Nagai (1977) constataram que o teor de açúcar, das amostras de colmos, não foi influenciado significativamente pelas doses e modos de aplicação de N, porém, os menores valores foram obtidos com as doses de 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. Espironelo et al. (1987) obtiveram efeito linear negativo no teor de sacarose em função das doses de N (0, 70, 140 e 210 kg ha<sup>-1</sup>). Orlando Filho e Zambello Junior (1980) constataram que somente à aplicação de 480 kg ha<sup>-1</sup> de N diminui a percentagem de Pol da cana.

Tabela 6.5 - Parâmetros tecnológicos avaliados na colheita de cana-de-açúcar na Usina São Luiz (USL) em função das doses de N de plantio

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Parâmetros Tecnológicos						
	Brix	Fibra	Pureza	Pol Caldo	Pol Cana	AR	ATR
	%	%	%	%	%	%	kg t <sup>-1</sup>
<b>0</b>	10,34	19,70	84,61	16,69	14,54	0,64	140,34
<b>40</b>	10,84	20,08	84,94	17,05	14,73	0,63	141,94
<b>80</b>	10,77	19,98	84,82	16,95	14,66	0,63	141,32
<b>120</b>	10,51	18,83	84,57	15,93	13,84	0,64	133,84
<b>F – doses</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>F - RL</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>F - RQ</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>CV (%)</b>	5	5	2	7	6	7	6

<sup>NS</sup> - não significativo; AR: açúcares redutores; ATR: açúcar total recuperável por tonelada de colmos; RL e RQ: Regressão Linear e Quadrática respectivamente

Tabela 6.6 - Parâmetros tecnológicos avaliados na colheita de cana-de-açúcar na Usina Santa Adélia (USA) em função das doses de N de plantio

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	Parâmetros Tecnológicos						
	Brix	Fibra	Pureza	Pol Caldo	Pol Cana	AR	ATR
	%	%	%	%	%	%	kg t <sup>-1</sup>
<b>0</b>	20,43	10,89	88,53	18,10	15,62	0,63	153,92
<b>40</b>	22,00	11,80	90,47	19,94	16,95	0,50	165,48
<b>80</b>	21,73	11,15	90,31	19,59	16,83	0,53	164,62
<b>120</b>	20,73	10,94	88,12	18,29	15,76	0,65	155,51
<b>F – doses</b>	4,6**	6,5**	3,6*	4,4**	4,2**	NS	2,9*
<b>F - RL</b>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<b>F - RQ</b>	13,1***	11,5**	10,4***	12,9***	12,3***	5,7**	8,9**
<b>CV (%)</b>	3	3	1	5	4	19	4

<sup>NS</sup> - não significativo; \*\*\*, \*\* e \* significativos a 1%, 5% e 10% de probabilidade respectivamente. AR: açúcares redutores; ATR: açúcar total recuperável por tonelada de colmos; RL e RQ: Regressão Linear e Quadrática respectivamente

A diminuição dos teores de Fibra na USA nas doses de 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup> de N é resultado direto do maior teor de Brix nos colmos. Segundo Fernandes (2003), sob o aspecto tecnológico, os colmos de cana-de-açúcar são constituídos de caldo e sólidos insolúveis em água, sendo estes denominados de fibra da cana. O caldo contém a água (umidade da cana) e os sólidos solúveis totais, que correspondem aos açúcares e não-açúcares, denominados de Brix. Portanto, existe uma relação direta antagônica entre os teores de Brix e Fibra. Korndörfer et al. (1997) verificaram redução significativa no teor de Fibra de quatro cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta) com

aplicação de nitrogênio, o que, segundo os autores, é interessante do ponto de vista da indústria sucroalcooleira, pois haverá maior rendimento na moagem desses colmos com menor teor de Fibras.

A adubação nitrogenada de cana-planta nos experimentos deste trabalho resultou em maior produção de açúcar por hectare, porém de maneira distintas. Na USL o aumento da produção de colmos (TCH) gerou maior produção de açúcar por hectare, enquanto que na USA esse aumento se deveu ao incremento na POL da cana. Na literatura há um consenso quanto aos efeitos da adição de N na produção de açúcar por área, ou seja, o teor de açúcar no colmo diminui com a adubação nitrogenada, porém a quantidade total de açúcar produzido por hectare é maior como decorrência da maior produtividade de TCH (ESPIRONELO; OLIVEIRA; SAGAI, 1977; ESPIRONELO et al., 1987; KORNDÖRFER et al., 1997; PAES et al., 1997; KORNDÖRFER et al., 2002; TRIVELIN et al., 2002; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007).

Para atestar os benefícios da adubação nitrogenada de plantio foi realizado o cálculo da margem de contribuição. De acordo com Fernandes (2003) a margem de contribuição representa a diferença entre a receita bruta obtida com os produtos e os custos variáveis do sistema de produção. A margem de contribuição pode ser analisada do ponto de vista do produtor que entrega cana para moagem (sistema agrícola) ou para a agroindústria que produz sua própria matéria-prima (sistema agroindustrial).

Neste trabalho, optou-se por utilizar a margem de contribuição agrícola (MCA), pois esta é de mais fácil execução e não necessita dos dados de receita esperada com a venda de açúcar e álcool. A MCA representa, portanto, a diferença entre a receita com a matéria-prima (TCH) entregue na indústria e os custos variáveis de corte, carregamento e transporte (CCT), tratos culturais (aplicação de uréia) e arrendamento (não considerado no cálculo).

Na Tabela 6.7 estão apresentados os dados que foram utilizados no cálculo da MCA no experimento da USL. Constata-se que a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que resultou na maior MCA, havendo desvantagens financeiras no emprego de maiores doses de N. Na USA (Tabela 6.8) o mesmo resultado foi obtido, ou seja, a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia no plantio da cana-planta (fundo de sulco) foi a que gerou maior retorno financeiro, com diferença de R\$13,00 ha<sup>-1</sup> a mais relativamente à dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Tabela 6.7 – Produtividade de açúcar (kg ha<sup>-1</sup>) e rendimento financeiro em função da adubação nitrogenada de plantio em área experimental da Usina São Luiz

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	TCH	ATR	Açúcar	Receita Bruta	Custo CCT	Custo Uréia	Custo Total	MCA
	t ha <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>
0	134	140,34	18.865	6.686	2.317	0,00	2317	4369
40	142	141,94	20.108	7.126	2.446	93,33	2539	4587
80	139	141,32	19.584	6.940	2.394	186,67	2580	4360
120	141	133,84	18.916	6.704	2.441	280,00	2721	3983

TCH: toneladas de colmos industrializáveis por hectare; ATR: açúcar total recuperável por tonelada de colmos; Açúcar = TCH x ATR; Receita Bruta = Açúcar x 0,3544 (ATR do fechamento da safra 2006/2007); CCT: corte, carregamento e transporte; CCT = R\$17,27 (preço médio da USL); Custo uréia em 02/2005 = R\$1050,00 ou R\$2,33/ kg de N; Custo Total = CCT + Uréia. MCA: Margem de contribuição agrícola

Tabela 6.8 – Produtividade de açúcar (kg ha<sup>-1</sup>) e rendimento financeiro em função da adubação nitrogenada de plantio em área experimental da Usina Santa Adélia

Dose de N kg ha <sup>-1</sup>	TCH	ATR	Açúcar	Receita Bruta	Custo CCT	Custo Uréia	Custo Total	MCA
	t ha <sup>-1</sup>	kg t <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>	R\$ ha <sup>-1</sup>
0	145	153,92	22.289	7.748	2.127	0,00	2.127	5.620
40	144	165,48	23.817	8.279	2.112	89,78	2.201	6.077
80	147	164,62	24.168	8.401	2.157	179,56	2.337	6.064
120	146	155,51	22.719	7.897	2.146	269,33	2.416	5.481

TCH: toneladas de colmos industrializáveis por hectare; ATR: açúcar total recuperável por tonelada de colmos; Açúcar = TCH x ATR; Receita Bruta = Açúcar x 0,3476 (ATR do fechamento da safra 2006/2007); CCT: custo do corte, carregamento e transporte; CCT = R\$14,69 (preço médio da USL); Custo uréia em 03/2005 = R\$1010,00 ou R\$2,24/ kg de N; Custo Total = CCT + Uréia. MCA: Margem de contribuição agrícola

Comparando o rendimento financeiro nos dois experimentos verifica-se que a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N na USA gerou um retorno de R\$457,00 ha<sup>-1</sup> enquanto na USL com esse mesmo trato cultural o retorno foi menor, da ordem de R\$218,00 ha<sup>-1</sup>. Esses resultados são devidos ao custo de CCT da USL que foi maior que o da USA, e também porque a adubação nitrogenada na USL aumentou a TCH gerando, com isso, maior custo com o CCT ha<sup>-1</sup>.

Neste contexto, com base nos resultados deste trabalho aliado aos relatados na literatura, pode-se inferir que a adubação nitrogenada em cana-planta de ano e meio, plantada entre fevereiro e abril, é prática indispensável para se obter lucro. A dose de N a ser aplicada em áreas canavieiras do Estado de São Paulo (cultivadas há vários anos com cana-de-açúcar, que será

empregado o cultivo convencional no preparo de solo para o plantio da cana-planta) deve ser semelhante à dose de melhor MCA obtida nesse trabalho (40 kg ha<sup>-1</sup> de N aplicada na forma de uréia no sulco de plantio). Outros autores também recomendam quantidades semelhantes de N (variando de 40 a 60 kg ha<sup>-1</sup>) para a cana-planta (BITTENCOURT; FAGANELLO; SALATA, 1986; MORELLI et al., 1997; PENATTI; DONZELLI; FORTI, 1997).

#### 6.4 Conclusões

1. A adubação nitrogenada de plantio aumentou a produção de colmos (TCH) no experimento da USL, enquanto que na USA não houve resposta em produtividade de cana industrial.
2. A adubação nitrogenada de plantio interferiu nos atributos tecnológicos dos colmos na USA, porém sem efeito na USL.
3. A adubação nitrogenada de plantio aumentou significativamente a produção de açúcar por hectare nos dois experimentos.
4. A maior margem de contribuição agrícola foi obtida com a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N.
5. A adubação nitrogenada aumentou as concentrações dos nutrientes N, K, Mg e S nas folhas-diagnóstico (folha +1) da cana-de-açúcar (cana planta) no estágio de máximo desenvolvimento da cultura.

#### Referências

ALEXANDER, A.G. **Sugar cane physiology**: a comprehensive study of *Saccharum* source-to-link system. Amsterdam: Elsevier, 1973. 752 p.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 4, n. 5, p. 25-29, 1986.

AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; LIMA, E.; FERNANDES, M. S.; VIEIRA, J.R. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta no norte do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 441-447, 1994.

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

BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; DOBEREINER, J. Biological nitrogen fixation associated with sugar cane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 137, n. 1, p. 111-117, 1991.

BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanco de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta**. 2007. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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

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. e; VITTI, G. C. (Ed.) **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 11, p.355-412.

CANTARELLA, H.; RAIJ, B van. Adubação nitrogenada no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO SOBRE ADUBAÇÃO NITROGENADA NO BRASIL; REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 16., 1984, Ilhéus. Ilhéus: CEPLAC; SBCS, 1986. p.47-79.

CARNAÚBA, B.A.A. O nitrogênio e a cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 8, n. 3, p. 24-41, 1990.

CARNEIRO, A.E.V.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo-semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 53, n. 2, p. 199-209, 1995.

DÖBEREINER, J.; DAY, J.M.; DART, P.J. Nitrogenase activity in the rhizosphere of sugarcane and some other tropical grasses. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 37, p. 191-196, 1972.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Trad. de E. Malavolta. São Paulo: EDUSP; Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.



ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H. de; NAGAI, V. Efeito da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (cana-planta) em anos consecutivos de plantio. I. Resultados de 1974/75 e 1975/76. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 1, n. 2, p.76-81, 1977.

ESPIRONELO, A.; COSTA, A.A.; LANDELL, M.G.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P. de; RAMOS, M.T.B. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 1, p. 247-268, 1987.

FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, 2006.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2.ed. Piracicaba: STAB, 2003. 240 p.

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**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007.

JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, p. 197-224, 1981.

KORNDÖRFER, G.H.; MARTINS, M. Importância da adubação na qualidade da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 3, p. 26-31, 1992.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C. A.; CHIMELLO, M. A.; LEONI, P. L. C. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL., 8., 2002, Recife. Piracicaba: STAB, 2002. p. 234-238.

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**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 23-26, 1997.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E., VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARINHO, M. L.; BARBOSA, G. V. S. adubação nitrogenada da cana-planta na região nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Resumos ...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 455-460.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, San Diego. 2º Ed., 1995. 889p.

MORAES, V.A. de; TORNISIELO, S.M.T. Aumento na produtividade da variedade SP70-1143 pela inoculação da bactéria *Acetobacter diazotrophicus*. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 131-139.

MORELLI, J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E.; NELLI, E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta: aplicação no solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 26-30, 1997.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 102, p. 79-93, 1987.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Influência da adubação N-P-K nas qualidades tecnológicas da cana-planta variedade CB41-76. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 96, n. 3, p. 37-44, 1980.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.S.; OLIVEIRA, E.A.A. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ, 1993. p.133-146.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A.A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 16-18, 1995.

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. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 39-41, 1999.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. Piracicaba, 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PAES, J.M.V.; MARCIANO, N.; BRITO, C.H. de; CARDOSO, A.A.; MARTINEZ, H.H.P.; MENDES, A. Estudo de espaçamentos e doses de nitrogênio na produção e em algumas características biométricas de três variedades de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 18-20, 1997.

PENATTI, C.P.; DONZELLI, J.L.; FORTI, J.A. Doses de nitrogênio em cana-planta. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 340-349.

PRATES, H.S.; LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M.F. de. O enxofre como nutriente e agente de defesa contra pragas e doenças. **Informações Agronômicas POTAFOS**, Piracicaba, n. 115, p. 8-9, 2006.

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. (IAC. Boletim, 100).

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, 1996. p. 237-239. (IAC. Boletim Técnico 100).

REIS, E.L.; CABALA-ROSAND, P. Respostas da cana-de-açúcar ao nitrogênio, fósforo e potássio e solo de tabuleiro do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 129-134, 1986.

REIS, V. M.; OLIVEIRA, A.L.M.; BALDANI, V.L.D.; OLIVARES, F.L.; BALDANI, J.I. Fixação biológica de nitrogênio simbiótica e associativa. In: FERNANDES, M.S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 6, p. 153-174.

ROSSIELLO, R.O.P. **Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.* cv. NA 56-79) em resposta à adubação nitrogenada em cambissolo**. 1987. 172 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de  $\text{NO}_3^-$ -N e  $\text{NH}_4^+$ -N no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 1103-1108, 1984.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ALVES, G.D. Mineralização do carbono e do nitrogênio em solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, n. 1, p. 33-38, 1985.

SILVA, L.C.F. Influência da adubação nitrogenada na qualidade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. cap. 11, p. 317-332.

SILVA, L.C.F.; CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1983. cap 4, p. 77-99.

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum spp.*). I. Effects of  $\text{NO}_3^-$  nitrogen concentration on the metabolism of sugar and nitrogen. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 19-33, 1981.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JR, J.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, p. 161-168, 2006.

TRIVELIN, P.C.O. **Utilização do nitrogênio pela cana-de-açúcar:** três casos estudados com o uso do traçador  $^{15}\text{N}$ . 2000. 143 p. Tese (Livre-docência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia- $^{15}\text{N}$  e uréia- $^{15}\text{N}$  aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W.; GAVA, G.J.C.; G. A. SARRIÉS 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**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 637-646, 2002.

URQUIAGA, S. C.; BOTTEON, P. T. L.; LIMA, E.; BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. Fixação biológica de nitrogênio, uma importante fonte de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4., 1987, Olinda. **Resumos ...** Piracicaba: STAB, 1987. p. 64-75.

URQUIAGA, S.; CRUZ, K.H.S.; BODDEY, R.M. Contribution of nitrogen fixation to sugar cane: nitrogen-15 and nitrogen-balance estimates. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 105-114, 1992.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O; GAVA, G.J. de C.; PENATTI, C.; 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**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 249-256, 2007.

ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANFO FILHO, J. A. Adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Boletim Técnico PLANALSUCAR**, Piracicaba, v. 3, n. 3, p. 5-26, 1981.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho de tese não esclarecem totalmente as questões quanto a resposta da cana-planta a adubação nitrogenada. Porém, tudo o que foi observado nos dois experimentos durante o ciclo da cana-planta foi importante para se chegar as seguintes considerações:

1. A cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta responde a adubação nitrogenada de plantio tanto em produtividade como no rendimento de açúcar por hectare, independente do tipo de solo. A dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N foi a que propiciou os melhores rendimentos econômicos nos dois experimentos. Esta dose é da ordem da recomendada pelo Centro de Tecnologia Canavieira (50 kg ha<sup>-1</sup> de N) para o plantio da cana-planta (PENATTI; DONZELLI; FORTI, 1997); é igual a dose sugerida por Morelli et al. (1997) e é um pouco menor do que a dose recomendada pelo Boletim Agrônomo do Estado de São Paulo (ESPIRONELO et al., 1997). Como efeito, a principal fonte de N para a cultura no ciclo de cana-planta é o N nativo mineralizado no solo e dos materiais orgânicos recém incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. Isto se confirmou pelo uso do <sup>15</sup>N-fertilizante que, na colheita da cana-planta, representou, 11% do N total acumulado pela planta toda (parte aérea e raízes) na média dos tratamentos. Além disso, o método de preparo de solo utilizado nos experimentos (cultivo convencional), o ciclo da cultura (16 meses) e pelos solos das áreas serem cultivados há muitos anos com cana-de-açúcar, proporcionaram condições para a mineralização de N nativo do solo e também do recém incorporado.

Por outro lado os resultados geraram dúvidas, a saber: O método de preparo de solo interfere na disponibilidade de N para a cana-planta? Para cana-de-ano, a resposta da cultura ao nitrogênio será a mesma? Será que as reservas nutricionais da cana-planta de ano são diferentes às da cana-planta de ano e meio para o ciclo agrícola subsequente? Como será a produtividade de socas em mesmo solo e local com cana-planta de ano e cana-planta de ano e meio? Serão semelhantes ou diferentes? A adubação nitrogenada pode apresentar interferências nesse caso?

Para esclarecer estas dúvidas, propõe-se o seguinte experimento: Avaliar métodos de preparo de solo (convencional x mínimo x direto) relacionados a adubação nitrogenada de plantio sobre a produtividade e rendimento de açúcar de cana-plantas de ano e ano e meio. Espera-se com esse experimento provar que áreas preparadas pelo método de cultivo mínimo do solo, a probabilidade de resposta da cana-planta a adubação nitrogenada é maior em relação à áreas

cultivadas sob o método de preparo convencional de solo. E, ainda, comparar a cana-de-ano com a cana-de-ano e meio, tendo em vista o menor tempo para a mineralização de N na cana-planta de ano (12 meses). Será que a cana-planta de ano cultivada sob cultivo mínimo apresentará reduzida resposta a adubação nitrogenada?

Pelo exposto, com base nos resultados deste trabalho e da literatura, recomenda-se para a cana-planta de ano e meio, com preparo de solo no sistema convencional, a aplicação de 40 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de N, que podem ser aplicados juntamente aos demais nutrientes na adubação de plantio (fundo de sulco).

2. A exigência nutricional da cana-planta de ano e meio, cultivada com preparo convencional de solo, foi de 1,4 kg de N para cada TCH produzida, considerando a extração da planta toda. Com base apenas na extração da parte aérea, há a necessidade de 1,0 kg de N por TCH.

3. Há sinergia entre a adubação nitrogenada e a absorção de outros nutrientes pela cana-planta, sendo que houve maior acúmulo de nutrientes com aplicação de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N.

4. A adubação nitrogenada aumentou a produção de raízes, e também a quantidade de nutrientes nos órgãos de reserva da planta (raízes e rizomas). Caso as soqueiras das parcelas adubadas com N produzam mais que as plantas da testemunha, estaria assim, comprovado uma das hipóteses deste trabalho.

5. Por que não se aplicar doses maiores de N na cana-planta? Os resultados de aproveitamento do nitrogênio proveniente do fertilizante pela cana-planta mostraram que a recuperação do <sup>15</sup>N-fertilizante, na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, foi menor do que a obtida com a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de N. Porém, esse fato não foi devido a perdas de N por lixiviação (GUIBERTO et al., 2007), e sim muito provavelmente pelas perdas de N pela parte aérea das plantas ocorridas durante o desenvolvimento da cultura. Nesse caso, há de se destacar que a cultura de cana-de-açúcar após os primeiros seis meses de crescimento, está em permanente fase de maturação, haja visto que as folhas mais velhas começam a senescer e isso ocorre frequentemente até a colheita da cultura. Diferentemente de outras culturas, nas quais o período de maturação e senescência é bem definido e, portanto, as perdas de N pela parte aérea são mais simples de serem mensuradas.

Neste particular, é necessário realizar um experimento para se determinar qual órgão da cana-de-açúcar representa, realmente, a abundância isotópica média da planta toda.

## Referências

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, 1996. p.237-239. (IAC. Boletim, 100).

GHIBERTO, P.J.; LIBARDI, P.L.; BRITO, A.S.; TRIVELIN, P.C.O. Lixiviação de nitrogênio em um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Anais ...** Gramado: SBCS, 2007. 1 CD-ROM.

MORELLI, J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E.; NELLI, E. Parcelamento da adubação nitrogenada em cana-planta: aplicação no solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 6, p. 26-30, 1997.

PENATTI, C.P.; DONZELLI, J.L.; FORTI, J.A. Doses de nitrogênio em cana-planta. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., 1997, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 340-349.

**ANEXO**



Anexo A - Dados meteorológicos obtidos por estação automática instalada próxima a área dos experimentos

Usina São Luiz																		
Índices	Meteorológicos	2005										2006						
		fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho
T Max		31	30	30	27	26	25	29	27	31	30	29	31	31	31	29	26	26
T Min	°C	17	19	17	13	12	10	12	15	18	17	18	19	19	19	15	11	10
T Med		23	23	23	19	18	17	20	21	24	23	23	24	24	24	21	17	17
Umax		93	92	93	93	94	92	89	90	90	93	94	92	95	95	94	94	94
U Min	%	43	48	42	43	45	42	27	45	41	44	49	41	49	46	42	40	34
Umed		73	76	74	73	75	72	61	71	69	72	76	71	79	77	75	73	70
radiação	MJ/m2	639	570	526	448	405	419	529	431	578	644	624	708	528	629	541	459	430
pluviosidade	mm	20	192	33	57	11	18	1	56	79	56	233	177	320	202	53	3	0

Usina Santa Adélia																	
Índices	Meteorológicos	2005										2006					
		abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho
T Max		30	27	27	25	29	29	32	31	29	31	30	31	29	26	27	28
T Min	°C	19	15	14	13	15	16	19	19	19	20	20	20	16	12	12	12
T Med		24	27	20	18	22	22	25	24	23	24	24	24	22	18	19	19
Umax		100	100	100	100	94	87	86	90	94	93	95	94	92	91	89	86
U Min	%	55	57	59	56	36	39	34	41	50	45	51	49	43	36	32	28
Umed		87	87	88	84	67	66	63	69	77	74	81	79	72	67	64	59
radiação	MJ/m2	597	489	415	428	541	455	514	620	622	681	530	584	556	488	448	473
pluviosidade	mm	87	82	33	40	0	85	105	27	166	229	450	244	7	0	13	0

T Max: temperatura máxima; T Min: temperatura mínima; T Med: temperatura média; U Max: umidade relativa máxima; U Min: umidade relativa mínima; T Med: umidade relativa média; radiação solar.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)