

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

**Eficiência agronômica das adubações nitrogenadas de plantio e após
o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**

Carlos Eduardo Faroni

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

Piracicaba

2008

Carlos Eduardo Faroni
Engenheiro Agrônomo

**Eficiência agronômica das adubações nitrogenadas de plantio e após
o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar**

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**

Faroni, Carlos Eduardo

Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar / Carlos Eduardo Faroni. - - Piracicaba, 2008.

190 p. : il.

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

1. Adubação 2. Biometria 3. Cana-de-açúcar 4. Fertilizantes nitrogenados
5. Produtividade 6. Sistema radicular I. Título

CDD 633.61
F237e

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

Aos meus pais,

Sílvia e José Carlos,

Pela confiança e incentivo.

À amada,

Georgia,

Pela presença constante, carinho e apoio.

OFEREÇO

Ao meu avô

Geraldo Ribeiro Tavares (*in memoriam*)

Homem simples e dedicado a família.

Amigo fiel que deixou exemplos de humanidade e muita saudade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pela dedicação, incentivo e amizade durante os anos de minha pós-graduação e pelo privilégio de tê-lo como orientador e exemplo de pesquisador.

À ESALQ, por minha formação, pelas amizades e por todas as oportunidades de crescimento profissional e pessoal durante os períodos de graduação e pós-graduação.

Ao Departamento de Ciência do Solo e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela excelência no ensino da ciência do solo.

Ao CENA, minha segunda casa, e em especial ao Laboratório de Isótopos Estáveis pelo acolhimento, apoio e estrutura que me foram dispostos.

Ao CNPq e à FAPESP pela concessão das bolsas de estudos nos períodos de março/2005 a fevereiro/2006 e de março/2006 a agosto/2007 respectivamente.

Ao Prof. Dr. Albertino Bendassolli pelos ensinamentos e pelo apoio.

Ao Prof. Dr. Raul Machado Neto por orientar minha iniciação científica e por despertar minha vocação para a pesquisa.

Aos Professores Dr. Takashi Muraoka e Dr. Jorge de Castro Kiehl, e ao Pesquisador Dr. Glauber José de Castro Gava pelas críticas e sugestões apresentadas em meu exame de qualificação.

À Profa. Dra. Sônia Maria De Stefano Piedade pela amizade e auxílio nas análises estatísticas.

Aos meus grandes amigos e colegas de pós-graduação: Dr. André Cesar Vitti, M.Sc. Gleuber Mariano Teixeira (Mandai), Dr. Anderson Lange, Dra. Tatiele Fenilli, Dr. Isabela Rodrigues Bologna (Toca), Dr. Henrique Coutinho Junqueira Franco, M.Sc. Virgínia Damin e M.Sc. Rafael Otto (Purpurina) pelo apoio incondicional e por serem minha família em Piracicaba.

Em especial ao André, ao Henrique e ao Otto pela equipe que formamos durante o desenvolvimento de nossos projetos e pela participação direta em todos os trabalhos, razão de sucesso dessa tese.

Aos amigos do LIE: Carlão, Renatão, Bibian, Alexandre, Diego, Alexssandra, Claudinéia, Josiane e Felipe Nolasco pelo companheirismo.

Aos funcionários do Laboratório de Isótopos Estáveis: Pingin, Clélber, Hugo, Miguel, Magda, Bento, Juliana e Glauco pelo auxílio e convívio harmonioso.

Aos estagiários: Caroline Lopes, Matheus O. Trivelin, João G. Tovajar, Rafael T. Schiavuzzo (*in memoriam*), Viviane C. Martins, Danilo A. Ferreira, Diego J. de Campos pelo apoio indispensável e pela oportunidade de ensinar e aprender.

Ao grande amigo e companheiro de todas as horas João Paulo Campos de Araújo (Coroiña) pelo divertido convívio por todos esses anos.

À Sra. Samira e ao Sr. Jairo Campos de Araújo pela amizade e pelas palavras de apoio, incentivo e carinho.

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 esse trabalho dificilmente seria realizado.

Ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), especialmente aos Srs. José Anderson Forti, Caio Fortes, Claudimir Pedro Penatti e José Luiz Donzelli pela parceria no Projeto e apoio nas avaliações de campo.

A todas as pessoas aqui citadas ou não, anônimas ou não, e que fizeram parte de mais um capítulo da vida que se encerra, porque, independe do tamanho de suas participações, todos tiveram um papel fundamental na minha história.

MUITO OBRIGADO.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	15
Referências	22
2 ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-PLANTA) EM EXPERIMENTOS COM ¹⁵ N	27
Resumo	27
Abstract	27
2.1 Introdução	28
2.2 Material e métodos	30
2.3 Resultados e discussão.....	33
2.4 Conclusões.....	42
Referências	43
3 ADUBAÇÃO NITROGENADA E O ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA)	45
Resumo	45
Abstract	45
3.1 Introdução	46
3.2 Material e métodos	48
3.3 Resultados e discussões.....	51
3.4 Conclusões.....	69
Referências	70
4 ÍNDICES BIOMÉTRICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA) RELACIONADOS À ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	73
Resumo	73
Abstract	73
4.1 Introdução	74
4.2 Material e métodos	75
4.3 Resultados e discussões.....	80

4.3.1 Experimento USL.....	84
4.3.2 Experimento USA	89
4.4 Conclusões	93
Referências.....	93
5 APROVEITAMENTO PELA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA) DAS ADUBAÇÕES NITROGENADAS DE PLANTIO (EFEITO RESIDUAL) E DO PRIMEIRO CICLO DE SOQUEIRA.....	97
Resumo	97
Abstract.....	98
5.1 Introdução.....	99
5.2 Material e métodos	100
5.3 Resultados e discussões	104
5.3.1 Efeito residual do N da adubação de plantio na primeira soqueira.....	104
5.3.1.1 Produção de fitomassa pela cana-soca	104
5.3.1.2 Teor e acúmulo de N na parte aérea da planta	106
5.3.1.3 Recuperação do N da adubação de plantio na primeira soqueira	109
5.3.2 Aproveitamento pela cana-soca do N da palha da cana-planta.....	112
5.3.3 Efeito na soqueira do N da adubação de cana-soca e interação com a adubação de plantio	115
5.3.3.1 Produção de fitomassa	115
5.3.3.2 Teor e acúmulo de N na planta.....	118
5.3.3.3 Aproveitamento e recuperação do N da adubação de cana-soca	122
5.3.4 Balanço de ¹⁵ N no sistema solo-planta	126
5.4 Conclusões	132
Referências.....	132
6 PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA- SOCA) RELACIONADOS COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA.....	139
Resumo	139
Abstract.....	140
6.1 Introdução.....	141
6.2 Material e métodos	143

6.3 Resultados e discussões.....	147
6.3.1 Análise climatológica do ciclo de cana-soca	148
6.3.1.1 Experimento USL	148
6.3.1.2 Experimento USA.....	151
6.3.2 Avaliação da produtividade da cana-soca.....	152
6.3.2.1 Experimento USL	153
6.3.2.2 Experimento USA.....	160
6.3.3 Avaliação dos parâmetros tecnológicos da cana-soca.....	166
6.3.3.1 Experimento USL	166
6.3.3.2 Experimento USA.....	169
6.3.4 Margens de contribuição agrícola e agroindustrial da cana-soca.....	173
6.3.4.1 Experimento USL	173
6.3.4.2 Experimento USA.....	176
6.4 Conclusões.....	178
Referências	179
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	187
Referências	190

RESUMO

Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar

As energias renováveis substituirão gradualmente as energias não renováveis por questões de sustentabilidade econômica e racionalização no uso dos recursos naturais. Sendo assim, a proposta do presente trabalho foi estudar mais detalhadamente a fertilização nitrogenada da cana-de-açúcar, cultura que pode contribuir para que o país seja modelo na produção e utilização de biocombustíveis renováveis para o mundo. O conhecimento atual a respeito das respostas da cana-de-açúcar à fertilização com N foi conseguido por meio de experimentos, na sua grande maioria, em uma única safra. O aproveitamento e redistribuição de N do sistema radicular da cana-planta para a parte aérea da cana-soca e sua influência na produtividade da soqueira devem ser melhor estudados. Para tal, foram instalados dois experimentos: um em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e outro em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, ambos no Estado de São Paulo. O cultivar plantado foi o SP81-3250. O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos (parcelas) de cana-planta constituídos de três doses de N: 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, na forma de uréia, mais uma testemunha sem N, e os sub-tratamentos de cana-soca, aplicados em subparcelas após o corte da cana-planta, três doses de N: 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, mais uma testemunha sem N. Dos resultados obtidos destaca-se que no ciclo de cana-soca a adubação nitrogenada incrementou apenas os teores de S, Cu e Mn nas folhas-diagnóstico, contudo, sem haver interação significativa das adubações nitrogenadas de cana-planta e cana-soca nos teores dos nutrientes nas folhas-diagnóstico. As avaliações biométricas mostraram que as adubações nitrogenadas elevaram a taxa de produção de matéria seca na época de máximo desenvolvimento da cana-soca. Porém, não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade em fitomassa seca e no acúmulo de N do primeiro ciclo de cana-soca, apesar de a recuperação (%) da uréia-¹⁵N aplicada no plantio pela parte aérea da soqueira, na média dos experimentos, ter sido de 4,18%, 5,04% e 3,54%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Na média dos experimentos a recuperação (%) pela cana-soca do N da palha residual da colheita da cana-planta foi de 9%. Houve aumento da recuperação (kg ha⁻¹) de N na cana-soca com a maior dose de soqueira, independente do tratamento de cana-planta, mas a eficiência de utilização do adubo nitrogenado (%) foi igual para ambas as doses. Na média dos experimentos, 37% do adubo nitrogenado foram recuperados na planta, 29% no solo e 34% não foram recuperados. Não houve interação significativa das doses de N de cana-planta e de cana-soca nos parâmetros tecnológicos da soca, mas houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade de colmos industrializáveis (TCH) no segundo corte. A recuperação do N do plantio pela cana-soca e o conseqüente aumento na produtividade (TCH) confirmam que a planta faz uso do N residual presente nas reservas do sistema radicular e no solo, mostrando que a adubação nitrogenada não pode ser considerada apenas para uma safra agrícola.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*; Nitrogênio; Efeito residual; Produtividade; Cana-soca

ABSTRACT

Agronomic efficiency of nitrogen fertilization at planting and after the first harvest, evaluated during the first sugarcane ratoon cultivation

Renewable energy sources will gradually replace non-renewable sources due to economic sustainability reasons and to the rational use of natural resources. Consequently, this study aimed to investigate sugarcane nitrogen fertilization in detail, which may help the country to become a world model in the production and use of renewable biofuels. The current knowledge about sugarcane responses to N fertilization has been acquired by means of experiments conducted, for their most part, in a single cropping season. The utilization and redistribution of N from the plant cane root system into the above-ground part of ratoon cane, and its influence on ratoon productivity must be studied in greater detail. To achieve that, two experiments were installed, one on a TYPIC HAPLUDOX SOIL and the other on a RHODIC HAPLUDOX SOIL, both in the State of São Paulo. Cultivar SP81-3250 was planted. A completely-randomized-block experimental design was adopted, with four replicates. The plant cane treatments (plots) consisted of three N doses: 40, 80, and 120 kg ha⁻¹, in the form of urea, and a control without N. Ratoon cane sub-treatments, applied as subplots after the plant cane was harvested, consisted of three N doses: 50, 100, and 150 kg ha⁻¹, in the form of ammonium sulfate, and a control without N. From the results obtained, it should be highlighted that, in the ratoon cane cycle, nitrogen fertilization only increased S, Cu, and Mn contents in diagnostic leaves, without significant interaction between plant cane and ratoon cane nitrogen fertilization on the nutrient contents of diagnostic leaves. Biometric evaluations showed that the nitrogen fertilizations increased dry matter production rate in the maximum ratoon cane development season. However, no residual effect of nitrogen fertilization at planting was observed on dry phytomass productivity and on N accumulation in the first ratoon cane cycle, although recovery (%) of urea applied at planting by the above-ground part of the ratoon, on the average of the experiments, was 4.18%, 5.04%, and 3.54% for the N doses of 40, 80, and 120 kg ha⁻¹, respectively. On the average of the experiments, N recovery (%) by ratoon cane from the residual trash resulting from plant cane harvest was 9%. N recovery (kg ha⁻¹) increased in ratoon cane as ratoon dose increased, regardless of plant cane treatment, but nitrogen fertilizer utilization efficiency (%) was identical for both doses. On the average of the experiments, 37% of the nitrogen fertilizer were recovered from the plant, 29% from the soil, and 34% were not recovered. There was no significant interaction between N doses in plant cane and ratoon cane on the technological parameters of the ratoon, but there was a residual effect of nitrogen fertilization at planting on millable cane yield (TSS) in the second harvest. Planting-N recovery by ratoon cane and the resulting yield increase (TSS) confirm that sugarcane plants use the residual N found in root system reserves and in the soil, demonstrating that nitrogen fertilization should not be taken into consideration in just a single cropping cycle.

Keywords: *Saccharum spp.*; Nitrogen; Residual effect; Productivity; Ratoon cane

1 INTRODUÇÃO

A agroindústria sucroalcooleira gera para o Brasil sete bilhões de dólares por ano, um milhão de empregos diretos e o seqüestro de 20% das emissões de carbono que o setor de combustíveis fósseis emite no país (RODRIGUES, 2004; BRASIL, 2007). O setor também movimentava anualmente 40 bilhões de reais (2,35% do PIB), gera outros 3,6 milhões de empregos indiretos (72 mil agricultores), recolhe 12 bilhões de reais em impostos e taxas e investe mais de quatro bilhões de reais por ano (BRASIL, 2007).

Notoriamente, a cana-de-açúcar tem grande importância econômica, social e ambiental, fazendo do país o maior produtor mundial com área plantada da ordem de sete milhões de hectares e produção de 475 milhões de toneladas na safra 07/08. A região Centro-Sul concentra 87% da produção, da qual mais de 67% concentra-se no Estado de São Paulo (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2007), para o qual a cadeia de produção de açúcar e álcool responde por 40% do emprego rural e 35% da renda agrícola (CARVALHO, 2002).

A demanda por açúcar tem crescido entre 1,5% a 2% ao ano. Na safra 2006/07 o Brasil exportou cerca de 19,5 milhões de toneladas de açúcar (dois terços da produção). O volume exportado significa mais de 45% do mercado mundial livre de açúcar, o que faz do país o maior produtor e exportador do mundo (UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR - UNICA, 2007).

Já o etanol, no país, é consumido puro (álcool hidratado) ou misturando à gasolina (álcool anidro) na proporção de 20% a 25%, representando um consumo de mais de 13 bilhões de litros deste combustível renovável em 2006, que substituiu mais de 40% do consumo da gasolina (UNICA, 2007). Hoje esse valor já é maior que 50%. Com o advento dos veículos bicombustíveis a venda de automóveis que podem utilizar álcool combustível foi de 1,7 milhão de unidades, o que correspondeu a 72% dos veículos produzidos no país em 2007 (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA, 2008).

O setor produtivo sucroalcooleiro contribui e tem condições de ampliar sua atuação como fornecedor de energia limpa e renovável, tanto em combustível, como na co-geração de eletricidade advinda da queima do bagaço e da palha. As usinas e destilarias brasileiras geram energia elétrica para uso próprio e ainda produzem

excedentes, vendidos às concessionárias de energia, utilizados para completar a demanda energética do país.

O Brasil é o único país no mundo que tem mais de 80% dos seus recursos energéticos baseados no uso de fontes de energia renováveis e não-poluentes (UNICA, 2007). Neste sentido, o cultivo ou preparo reduzido na cultura da cana-de-açúcar tem caráter conservacionista. Neste sistema o solo é revolvido o mínimo possível, mesmo na reforma do canavial, mantendo-se uma camada de resíduos da cultura na superfície, a fim de reduzir as perdas por erosão. Esta prática contribui para a melhoria da fertilidade do solo além de reduzir custos na reforma do canavial e no manejo entre os cortes da cultura.

Outros benefícios da manutenção da palhada no sistema são a disponibilização de nutrientes ao longo dos ciclos agrícolas da cultura (anos-safra), o aumento do teor de matéria orgânica do solo, com conseqüentes benefícios quanto a maior retenção de água e sua menor variação com o tempo, e o aumento da atividade das macro e micro faunas do solo. No sistema convencional, com queima da palha, o nitrogênio e o enxofre, especialmente, são emitidos para a atmosfera, em parte, na forma de óxidos, o que exaure o solo nesses elementos essenciais, além de poluir a atmosfera (TRIVELIN, 2000).

Segundo Wood (1991) 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, com resultados positivos há mais de vinte anos na Austrália, comparativamente àquela com queima empregada de modo intensivo. A produção de palha de um canavial sob colheita mecanizada, que inclui as folhas, as bainhas e o ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmos, pode variar de 10 a 30 t ha⁻¹ de material seco. Esse material pode conter de 40 a 80 kg ha⁻¹ de N, potencialmente disponíveis à cultura após ação dos microrganismos do solo (ABRAMO FILHO et al., 1993; TRIVELIN et al., 1995; TRIVELIN et al., 1996; OLIVEIRA et al., 1999).

Um entrave ao crescimento do setor sucroalcooleiro, mas que também é responsável por sua atual eficiência e otimização, é a prática de subsídios agrícolas pelos países consumidores que tem sido muito prejudicial ao desenvolvimento sustentável no mundo. O setor sucroalcooleiro evoluiu rapidamente no Brasil nos

últimos 15 anos, reduzindo custos e aumentando sua competitividade, sendo que esta condição implicou no uso restrito de insumos (RODRIGUES, 2004).

Apesar de as perspectivas para o setor serem animadoras quanto à quebra dos subsídios do açúcar europeu e a conquista de novos mercados consumidores, esse quadro político-econômico de comércio exterior influenciou os níveis de produtividade hoje alcançados no país. A produtividade brasileira média na safra 2007/2008 foi de 79 t ha^{-1} , muito abaixo do potencial produtivo dos cultivares de cana-de-açúcar plantados atualmente. Na região Centro-Sul, mais tecnificada e onde se localizam a maioria das unidades industriais do país, a produtividade média é da ordem de 83 t ha^{-1} , valor que apesar de ser maior que a média nacional fica aquém do desejado (CONAB, 2007). Por meio de pesquisas sobre novos cultivares, manejos agrícolas, correções e fertilizações adequadas do sistema, a produtividade atual pode ser aumentada.

Neste contexto, segundo Trivelin (2000), as maiores limitações dos ambientes indicados para a produção da cana-de-açúcar no Brasil não são a radiação solar, a temperatura ou mesmo a disponibilidade hídrica, mas sim a disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes minerais nos solos, com destaque ao nitrogênio. A cana-de-açúcar é uma cultura que sob condições adequadas de suprimento de água possui elevada taxa de fotossíntese líquida que resulta em eficiência no aproveitamento da energia solar para a produção de fitomassa, assim como, no uso eficiente do nitrogênio (CÂMARA, 1993).

São muitos os trabalhos encontrados na literatura que mostram a importância do nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar. O nutriente está em cerca de 1% da fitomassa 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, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA et al., 1997). Apesar de o nitrogênio contribuir com essa pequena porcentagem da fitomassa seca da cana-de-açúcar, seu papel é tão importante quanto ao do carbono, hidrogênio e oxigênio que juntos constituem mais de 90% de sua massa seca.

No solo, o nitrogênio disponível às plantas é suprido pela mineralização da matéria orgânica, fixação biológica e adição de fertilizantes nitrogenados. Também podem ser

consideradas fontes de nitrogênio do solo às plantas a água de irrigação ou de chuva que contém quantidades variáveis de nitrogênio mineral; a amônia da atmosfera, que pode ser absorvida pelas folhas; o nutriente contido no tolete de plantio (colmo-mente) e, nas soqueiras, a reserva em rizomas e raízes (TRIVELIN, 2000). Trivelin et al. (1984) verificaram que na primeira rebrota da cana-de-açúcar houve redistribuição do nitrogênio (^{15}N) acumulado em rizomas e raízes, ficando a parte aérea e a subterrânea da rebrota com partes iguais desse nitrogênio.

Uma questão não esclarecida na cultura da cana-de-açúcar é baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada. Verifica-se, na literatura sobre o assunto, que a resposta em produtividade da cultura às doses de N em experimentos individualizados com cana-planta é pouco expressiva, havendo falta de significância estatística na maioria dos casos, considerada a condição de queima do canavial previamente a colheita.

Para as rebrotas, no manejo com queima, a maioria dos experimentos, mesmo individualizados, mostraram resposta. A reduzida 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 e aumento da mineralização do N nativo do 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, 1989; URQUIAGA et al., 1992; ORLANDO FILHO et al., 1999).

Na maioria dos estudos de resposta da cana-de-açúcar à adubação com nitrogênio, tanto em cana-planta, como em soqueiras, as fertilizações foram avaliadas pela produção do ciclo (ano/safra) da cultura em que se fez a adubação. Nesse sentido, a cana-de-açúcar vem sendo considerada como uma cultura anual, sendo raros os trabalhos como o de Orlando Filho et al. (1999) que mantiveram as parcelas experimentais por quatro anos consecutivos no campo para avaliar o efeito cumulativo de adubações com doses de N na produtividade da cana-planta e três socas. Malavolta (1994) fez menção de resultados não publicados nos quais verificou o efeito indireto da adubação nitrogenada no plantio da cana-de-açúcar na produtividade das rebrotas.

Entre os técnicos ligados ao setor agrícola sucroalcooleiro é voz corrente que se em determinado ano não for realizada a adubação dos canaviais 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 et al. (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.

Qual seria a possibilidade de a 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 produtividade dos cortes subseqüentes? Caso essa questão 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 (TRIVELIN et al. 2002a; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; FRANCO et al., 2007).

Trabalhos com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ^{15}N evidenciaram ser variável a utilização do N de fertilizantes aplicados ao solo pela cultura da cana-de-açúcar. Em estudos realizados nas principais regiões produtora de cana-de-açúcar no mundo foram encontradas recuperações de 14 a 48% do N dos fertilizantes para diferentes fontes e modos de aplicação (TAKAHASHI, 1964; WONG YOU CHEONG et al., 1980; CHAPMAN et al., 1994). No Brasil, Bittencourt et al. (1986), Camargo (1989), Carnaúba (1989), Gava (1999), Oliveira et al. (1999), Ruschel et al. (1978), Salcedo e Sampaio (1984); Sampaio e Salcedo (1987), Sampaio et al. (1984), Trivelin et al. (1995, 1996) e Vitti (1998) obtiveram recuperação de fertilizantes nitrogenados (sulfato de amônio, uréia e aquamônia) de 0,2 a 54% em cana-planta e soqueiras.

Na cana-soca a cobertura do solo com resíduos culturais pode dificultar a escarificação do solo na entrelinha, como é usual em canaviais queimados antes da colheita, como também a aplicação do fertilizante nitrogenado em profundidade no solo. Em algumas situações é necessária a aplicação do fertilizante nitrogenado sobre a palhada. A uréia quando aplicada em superfície, sobre a palhada, pode ter sua eficiência agrônômica diminuída como resultado das perdas de amônia por volatilização

(LARA CABEZAS et al. 1987; TRIVELIN et al., 1998; OLIVEIRA et al., 1999; TRIVELIN et al., 2002b).

Nessas condições, os produtores de cana-de-açúcar no país, em especial no Estado de São Paulo, têm lançado mão de outras fontes nitrogenadas como o nitrato de amônio e o Uran. Na Austrália, o sulfato de amônio foi considerado a melhor fonte de N para ser aplicada em superfície, em solo coberto com palhada de cana-de-açúcar, nas fertilizações de canas-soca devido às reduzidas perdas de amônia por volatilização (WOOD, 1991). No Estado de São Paulo o sulfato de amônio apresenta maior custo por unidade de N se comparado a outros fertilizantes nitrogenados, embora estudos com diversas culturas sempre evidenciem aumento de produção quando usada a fonte contendo enxofre.

Todos estes 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 uma safra, mas o efeito aditivo da fertilização em safras consecutivas (ciclo agrícola), uma vez que é uma cultura de manejo semi-perene que, certamente, depende tanto dos nutrientes a ela disponibilizados pelas vias de entrada no agrossistema como das reservas nutricionais do colmo-semente, no plantio, e das raízes e rizomas, nas rebrotas, e do N estocado na matéria orgânica do solo, especialmente quando se trata do sistema de cultivo mínimo sem queima desde a implantação da cultura.

Hoje, a opção pelas energias limpas e renováveis trata-se de questão de prioridade financeira, sendo um fator de sustentabilidade e sobrevivência do processo produtivo, e não apenas de demonstração de conscientização ambiental. Sendo assim, a proposta do presente trabalho foi estudar mais detalhadamente a fertilização nitrogenada da cana-de-açúcar, a qual pode contribuir para que o país seja modelo na produção e utilização de alimento e energia renovável para o mundo.

O conhecimento atual a respeito das respostas da cana-de-açúcar à fertilização com N foi conseguido por meio de experimentos, na sua grande maioria, em uma única safra de cana-planta ou socas. Por seu manejo semi-perene e sua dependência das reservas energéticas e nutricionais do sistema radicular para sustentação e vigor da rebrota, a seguinte hipótese é formulada:

Existe uma relação direta das reservas do sistema radicular com o manejo da fertilização nitrogenada, como: doses, fontes e modos de aplicação dos fertilizantes que contém este nutriente, e a grandeza dessas reservas evidenciam relações diretas com o rendimento da cultura no ciclo subsequente.

Com base nessa hipótese, o presente trabalho teve por objetivos:

- a. Avaliar o aproveitamento e a redistribuição de N do sistema radicular da cana-planta para a parte aérea da cana-soca, e sua influência na produtividade da soqueira em função das adubações nitrogenadas realizadas no plantio;
- b. Avaliar o aproveitamento do N e a produtividade da cana-soca (parte aérea e sistema radicular) em relação às adubações nitrogenadas realizadas após o corte, na 1ª soca, no sistema de colheita sem queima do canavial;
- c. Determinar as curvas de crescimento da parte aérea da cana-soca e o acúmulo de N nas diferentes partes da planta
- d. Determinar as reservas de nitrogênio contidas no sistema radicular da cana-de-açúcar após o corte da parte aérea da 1ª soca.

A experimentação baseada nos objetivos citados e a discussão de seus resultados serão apresentadas em 5 capítulos, a saber:

1. Estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar (cana-planta) em experimentos com ^{15}N
2. Adubação nitrogenada e o estado nutricional da cultura de cana-de-açúcar (cana-soca)
3. Índices biométricos da cana-de-açúcar (cana-soca) relacionados à adubação nitrogenada
4. Aproveitamento pela cana-de-açúcar (cana-soca) das adubações nitrogenadas de plantio (efeito residual) e do primeiro ciclo de soqueira
5. Produtividade e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar (cana-soca) relacionados com a adubação nitrogenada

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, n. 67, p. 23-25, 1993.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES -. **Estatísticas/10 - produção por tipo e combustível**. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 02 fev. 2008.

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.

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.

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

CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura de cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ; FEALQ, 1993. p. 209-225.

CAMARGO, P.B. de. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes uréia (¹⁵N) e aquamônia (¹⁵N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CARNAÚBA, B.A.A. **Eficiência de utilização e efeito residual de uréia-¹⁵N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), em condições de campo**. 1989. 193 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

CARVALHO, L.C.C. Cenário sucroalcooleiro. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, p. 12-13, 2002.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C.; SAFFIGNA, P.G. The recovery of ¹⁵N 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.

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

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.

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.

GAVA, G.J.C. **Utilização do nitrogênio da uréia (^{15}N) e da palhada (^{15}N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo.** 1999. 81 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTÓRIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; PÍCCOLO, M.C. Volatilização de amônia da uréia- ^{15}N e aquamônia- ^{15}N aplicadas na cultura da cana-de-açúcar em condições de campo. In: CONGRESSO NACIONAL DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4.; CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., 1987, Olinda. **Anais...** Olinda: STAB, 1987. p. 50-59.

MALAVOLTA, E. **Fertilizing for high yield sugarcane.** Basel: International Potash Institute, 1994. 104 p.

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

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, n. 4, p. 803-809, 1999.

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, v. 1, n. 1, p. 4-7, 2004.

RUSCHEL, A.P.; MATSUI, E.; ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. Closed system nitrogen balance studies in sugarcane utilizing ^{15}N -ammonium sulfate. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS CONGRESS, 16., 1977, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ISSCT, 1978. p. 1539-1547.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Eficiência de utilização de uréia- ^{15}N pela cana-soca em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: SEMINÁRIO REGIONAL SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CENA, 1984. p. 205-209.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H. Eficiência de utilização de uréia- ^{15}N por cana-planta e três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4., CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., 1987. Olinda. **Anais...** Olinda: STAB, 1987. p. 46-49.

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

TAKAHASHI, D.T. Nitrogen field studies with sugarcane. **Hawaiian Planter's Record**, Honolulu, v. 57, n. 2, p. 198-222, 1964.

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

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

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- ^{15}N e uréia- ^{15}N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte II: Perdas por volatilização de amônia e recuperação do ^{15}N aplicado ao solo. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16 n. 3, p. 23-29, 1998.

TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; VITTI, A.C.; GAVA, G.J.C.; BENDASSOLLI, J.A. Perdas de nitrogênio da uréia no sistema solo-planta em dois ciclos de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 193-201, 2002a.

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, 2002b.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**: respostas às questões mais frequentes. São Paulo, 2007. 70 p.

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. **Utilização pela cana-de-açúcar (cana planta) do nitrogênio da uréia (^{15}N) e do mineralizado no solo em sistemas de manejo com e sem a queima**. 1998. 93 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

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.

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 ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-PLANTA) EM EXPERIMENTOS COM ¹⁵N

Resumo

Estudos com isótopos estáveis são cada vez mais comuns pela qualidade e confiabilidade dos resultados obtidos e por não apresentarem risco ao homem e ao ambiente. No entanto, é necessário o uso de microparcelsas para diminuir o custo da pesquisa. Por suas áreas serem muito reduzidas em relação à parcela onde está inserida, o objetivo deste trabalho foi o de comparar o estado nutricional de plantas de microparcelsas com uso de fertilizante-¹⁵N com as plantas do restante das parcelas experimentais, na fase de máximo desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, em experimentos com doses de N. Foram instalados três experimentos, no Estado de São Paulo, com três doses de N e uma testemunha, com quatro repetições, em delineamento de blocos completos casualizados. Nas parcelas (48 linhas de 15 m cada) foram instaladas microparcelsas de 3 m² com fertilizante-¹⁵N. Na época de máximo desenvolvimento da cultura foram coletadas folhas-diagnóstico para a avaliação do estado nutricional da cana-planta em todas as parcelas e microparcelsas. Nessas folhas foram determinadas as concentrações de macronutrientes e estes resultados foram submetidos a análises de variância. Não houve diferença entre os teores de N, P, Ca, Mg e S das folhas-diagnóstico entre as parcelas e as microparcelsas, as quais foram consideradas representativas da área experimental. A adubação nitrogenada aumentou os teores dos nutrientes nas folhas-diagnóstico, variações estas que devem ser consideradas na avaliação nutricional da cultura quando experimentos dessa natureza forem realizados.

Palavras-chave: Diagnose foliar; Microparcelsa; Cana-planta; Adubação nitrogenada

Nutritional status of sugar cane (plant cane) in experiments with ¹⁵N

Abstract

Studies with stable as opposed to radioactive isotopes are becoming more common because of safety of operation and quality and reliability of their results. However, the use of microplots is necessary in order to decrease costs. As microplots are small compared to regular plot areas, it is necessary to know if nutritional data based on microplot samples can adequately represent the whole area; therefore the objective of this work was to compare the nutritional status of microplot sugar cane plants at their maximum development stage with those of the regular plots in experiments with N rates. Three experiments were set up in the state of São Paulo, with three rates of N (40, 80, and 120 kg ha⁻¹ N) and a control, with four repetitions, in a randomized complete block design. Microplots of 3 m² containing ¹⁵N-fertilizer (5.04% atoms ¹⁵N) were included in the main plots formed by 48 lines of cane 1.5 m apart. At the time of sugar cane maximum development stage diagnostic leaves were collected in both main plots and

microplots in order to evaluate the nutritional status of plants by analyzing the total concentration of macronutrients. There were no difference in N, P, Ca, Mg, and S concentration of diagnostic leaves from the main plots and microplots, so that the latter can, thus be considered representative of the experimental area. Increase in nitrogen fertilizer rates brought about increases in concentration not only of N but also of P, Ca, Mg, and S in diagnostic leaves.

Keywords: Diagnostic leaves; Microplot; Plant cane; Nitrogen fertilizer

2.1 Introdução

A preocupação da sociedade mundial com o ambiente e as conseqüências do efeito estufa para o clima do planeta colocam em questão o uso de combustíveis fósseis, que são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Vários países estão buscando reduzir o uso dessas fontes de energia, seja pela substituição por biocombustíveis, ou uso de outras fontes menos poluentes. A cana-de-açúcar é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis atuais, com grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial (MAULEN et al., 2001).

Um dos aspectos responsáveis pela alta produtividade da cana-de-açúcar é a adequada nutrição da cultura, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros (DIAS, 1997). No entanto, são poucos os trabalhos que têm sido desenvolvidos com cana-de-açúcar enfocando a exigência nutricional e a exportação de macronutrientes pelos cultivares modernos, os quais sofreram significativa interferência genética pelo melhoramento vegetal (PRADO et al., 2002).

Com enfoque ao manejo nutricional da cultura, muitos trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do nitrogênio para a cana-de-açúcar. O nutriente constitui cerca de 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 (DILLEWIJN, 1952; ALEXANDER, 1973; EPSTEIN, 1975). Sendo assim, dentre os fatores limitantes do meio à produtividade da cana de açúcar, nas regiões canavieiras do Brasil, a disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes minerais nos solos, com destaque ao nitrogênio, é o que tem limitado mais a produtividade da cultura (TRIVELIN, 2000).

Com o objetivo de se entender o ciclo do N no sistema solo-planta e seu efeito no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar no Brasil, foi dado início, em 1983, a trabalhos com o uso do método do traçador isotópico para nitrogênio (^{15}N) no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo. Essa metodologia de pesquisa possibilita quantificar as taxas de transferência do nutriente nos diferentes compartimentos do sistema, podendo ser empregada em estudos quando as técnicas clássicas são insuficientes para o entendimento e quantificação de processos no ciclo do N (TRIVELIN, 2000).

Antes da realização dos trabalhos nessa linha de pesquisa, pelo alto custo e baixa disponibilidade de isótopos na época, foi necessário definir um modelo de parcelas reduzidas que receberiam o adubo marcado com o objetivo de diminuir o custo de pesquisas. Por este motivo foi definido um modelo de microparcela com um segmento de linha de cana-de-açúcar com 2 m de comprimento que receberia o fertilizante- ^{15}N . Trivelin et al. (1994) definiram, para esse novo modelo de parcela, o comprimento da bordadura, o local de amostragem das plantas, dentro e fora da parcela, e os cálculos para determinar a recuperação do N derivado do fertilizante.

Apesar de hoje esse tipo de microparcela já ser de uso comum, os solos cultivados com cana-de-açúcar submetidos ao mesmo sistema de manejo, em locais com pequena variação de relevo, segundo Souza et al. (2006), manifestam variabilidade espacial diferenciada de atributos como pH, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, capacidade de troca catiônica e saturação por bases. Essa variabilidade é condicionada pela posição dos solos na paisagem ou no declive, mesmo que o relevo mude pouco, como no caso de uma microparcela marcada com ^{15}N , em relação ao restante da parcela experimental que pode ser de até 1000 m² em experimentos com cana-de-açúcar.

Nesse contexto, surgiu, então, o seguinte questionamento: se as plantas de uma microparcela, em função da variabilidade das características químicas do solo a pequenas distâncias, poderiam apresentar absorção diferenciada, principalmente dos macronutrientes, em relação à parcela experimental na qual ela está inserida e não representá-la fidedignamente. Esse problema poderia ser mais expressivo em

experimentos com doses de N, as quais interferem no desenvolvimento das plantas e na absorção dos demais nutrientes.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi o de comparar o estado nutricional de plantas de cana-de-açúcar de microparcels, que receberam adubo marcado com ^{15}N , com o das plantas das parcelas principais sem ^{15}N -fertilizante, na fase de máximo desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, em três experimentos com doses de N.

2.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no Estado de São Paulo, em três áreas comerciais de cana-de-açúcar, após a reforma do canavial, com o plantio do cultivar SP81-3250, nas usinas: São Luiz (USL), no município de Pirassununga; Santa Adélia (USA) e São Martinho (USM), no município de Pradópolis. O cultivar plantado é bem aceito por suas características agrônômicas, principalmente por ser produtivo e rico em açúcares e se desenvolver bem em ambientes de produção de média fertilidade do solo. Os solos das áreas experimentais são um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico na USL e um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na USA, ambos de textura média, e um LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico na USM, de textura argilosa. As características químicas dos solos, antes do plantio e após o 1º corte são apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Características químicas dos solos das áreas experimentais

profundidade m	experimento	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K ----- mmol _c dm ⁻³	Ca	Mg	H+Al ----- mmol _c dm ⁻³	S.B.	CTC	V %	S mg dm ⁻³
0,00-0,25	USL 1	20	5,5	9	2,4	29	8	20	39,4	59,6	66	6
	USL 2	21	5,9	5	1,9	35	9	15	45,4	60,4	75	2
	USA 1	16	5,1	15	3,9	11	5	28	19,9	47,7	42	4
	USA 2	21	5,4	15	3,2	21	12	22	35,8	57,7	62	2
	USM 1	31	5,2	42	3,1	31	9	34	43,1	77,4	56	6
	USM 2	35	5,2	48	4,3	39	11	41	54,5	95,5	57	7
0,25-0,50	USL 1	13	4,7	6	1,0	10	3	31	14,0	44,8	31	45
	USL 2	16	5,2	2	1,4	14	4	19	19,1	38,6	49	12
	USA 1	11	4,2	5	1,8	4	1	34	6,8	41,1	17	38
	USA 2	16	4,5	6	2,2	9	4	31	15,1	46,2	32	22
	USM 1	18	5,6	12	0,5	24	6	22	30,5	53,0	58	22
	USM 2	28	5,4	34	2,4	36	9	32	47,4	79,5	57	18

USL - Usina São Luiz. USA - Usina Santa Adélia. USM - Usina São Martinho.

Os números 1 e 2, à frente da identificação dos experimentos, indicam a primeira (antes do plantio - fevereiro/março de 2005) e a segunda (após a colheita - setembro/outubro de 2006) época de amostragem de terra respectivamente.

Na USL, as operações no preparo do solo realizadas antes do plantio foram: gradeação, subsolagem, gradeação para incorporação de calcário dolomítico e gesso agrícola, ambos na dose de 2 t ha^{-1} cada, calculadas com base na análise de terra (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e gradeação leve para o nivelamento do solo antes da sulcação. A instalação do experimento ocorreu entre 21 e 24 de fevereiro de 2005.

As operações de reforma do canal na USA foram: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 4 L ha^{-1} do herbicida glifosato; aração profunda e incorporação dos resíduos vegetais e de 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico ao solo e gradeação para o nivelamento do solo antes da sulcação e plantio. O experimento foi instalado entre 4 e 8 de abril de 2005. As principais operações de preparo do solo para o plantio realizadas na USM foram: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 5 L ha^{-1} do herbicida glifosato, subsolagem e sulcação, não sendo necessária a aplicação de corretivos, com base na análise química de terra. A instalação do experimento ocorreu entre 1 e 4 de março de 2005.

O delineamento experimental, para cada área, foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos de três doses de N: 40, 80 e 120 kg ha^{-1} na forma de uréia, aplicadas manualmente no fundo do sulco de plantio, mais uma testemunha sem aplicação de N. As parcelas experimentais foram compostas por 48 linhas (sulcos) espaçadas entre si por 1,5 m. No plantio foram aplicados no fundo de sulco, além da uréia, em todas as parcelas dos experimentos, cloreto de potássio e superfosfato simples, na dose de 120 kg ha^{-1} , respectivamente, de K_2O e P_2O_5 .

No interior de cada parcela, foram instaladas microparcelsas, com dimensões de 2 m de comprimento e 1,5 m de largura, totalizando 3 m^2 cada, as quais receberam uréia marcada com ^{15}N (5,04% em átomos de ^{15}N) nas mesmas doses dos respectivos tratamentos, sendo nos 13 m restantes da linha aplicada uréia comercial, como no restante da parcela. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado com 30 mudas de canas (colmos) em 15 m de sulco, cruzando-se os 'pés' com as pontas das mudas, o que proporcionou uma distribuição de 17 a 20 gemas por metro linear de sulco, que foram cobertas mecanicamente.

Na fase de máximo desenvolvimento da cultura, nos dias 12, 17 e 18 de janeiro de 2006, respectivamente, nos experimentos USL, USA e USM, foram coletadas, segundo (RAIJ; CANTARELLA, 1997), as folhas-diagnóstico para avaliação do estado nutricional da cultura, tanto para as parcelas, quanto para as microparcels com ^{15}N . Segundo a descrição morfológica da cultura e o sistema Kuijper de descrição das folhas citados por Dillewijn (1952) foram coletadas amostras compostas do terço médio de folhas +1 (F+1), aproximadamente 0,2 m, excluído a nervura central. A F+1, também denominada de TVD (Top Visible Dewlap), é a primeira folha, a partir do topo da planta, apresentando o colarinho visível.

Em cada parcela foram coletadas, aleatoriamente, quatro amostras compostas por cinco folhas cada. Em cada microparcela foi coletada uma amostra composta de cinco folhas. 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 Willey e analisadas, segundo Malavolta et al. (1997), para determinação dos teores dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S).

Os experimentos das USL, USA e USM foram colhidos, sem a queima dos canaviais, respectivamente, nos dias 24 de junho, 26 de julho e 10 de agosto de 2006. A estimativa da produtividade de matéria seca de cada área foi feita pela colheita das plantas de cana-de-açúcar no metro central das microparcels e em posições contíguas (1 m) nas duas linhas adjacentes a ela.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ao nível de 95 % de confiança, dentro de cada área experimental, e entre elas fazendo-se a análise conjunta dos experimentos (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002). Para comparar os teores foliares dos nutrientes das parcelas com os das microparcels foi realizado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e para comparar o efeito de doses de N nos teores foliares de nutrientes usou-se a análise de regressão polinomial para os dados em que a análise de variância foi significativa.

2.3 Resultados e discussão

Os teores de nutrientes nos solos nas três áreas experimentais (Tabela 2.1) variaram de médio a alto (RAIJ; CANTARELLA, 1997), tanto antes do plantio quanto após a colheita não representando possíveis problemas de disponibilidade de nutrientes à cultura, com exceção do P de 0,0 a 0,5 m e de K e Mg de 0,25 a 0,50 m de profundidade na USL, e do S de 0,0 a 0,25m e de P e Mg de 0,25 a 0,5m de profundidade na USA. No entanto, esses baixos teores não interferiram nas concentrações foliares (Tabelas 2.2 a 2.7) que se enquadraram como adequados para o Estado de São Paulo, segundo Raji e Cantarella (1997), com exceção aos teores de S em mais da metade das observações que ficaram pouco abaixo do limite mínimo de 1,5 g kg⁻¹(Tabela 2.7). Os teores de K (Tabela 2.3), na USA, superaram os valores da faixa considerada adequada que é de 10 a 16 g kg⁻¹ de K.

As produtividades das áreas experimentais, quantificadas em fitomassa seca da parte aérea, respectivamente para a testemunha e doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, foram respectivamente de: 44191, 44875, 48982 e 45601 kg ha⁻¹ na USL, com efeito estatístico significativo para doses (F=5,146 e p<0,05%); 48024, 48794, 49918 e 48862 kg ha⁻¹ na USA, sem diferença estatística significativa entre os valores (F=0,322); e 58237, 60383, 59583 e 66711 kg ha⁻¹ na USM, com efeito estatístico significativo para doses (F=3,32 e p<0,1%). Sendo assim, as doses de N no plantio aumentaram a produtividade em matéria seca na USL e na USM, o que não ocorreu na USA.

Não houve diferença nos teores de N das folhas-diagnóstico entre as microparcels e o restante das parcelas experimentais em que estas estavam inseridas, nos diferentes locais e tratamentos (doses de N) (Tabela 2.2). Nas três áreas experimentais houve efeito significativo para as doses de N na concentração do elemento nas folhas-diagnóstico e para a regressão dos teores. Não houve interação entre os resultados na microparcela e na parcela e as doses de N, sendo que a média das duas primeiras representou o comportamento da cultura nas áreas experimentais (Figura 2.1a).

Na USL observou-se uma diminuição dos teores de N na F+1, com as doses de N (Figura 2.1), mas como houve aumento de produtividade pode ter ocorrido um efeito de diluição, ou seja, a concentração do nutriente foi diluída com o maior crescimento da

planta (JARRELL; BEVERLY, 1981). Já na USA observou-se um incremento significativo do teor de N nas folhas-diagnóstico com as doses de N do plantio (Figura 2.1). Não houve efeito significativo dessas mesmas doses na produção de fitomassa seca da cultura, 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. Na USM houve aumento da produtividade e dos teores de N nas F+1 com as doses de N. Esse evento pode ter explicação na maior disponibilidade de N nativo do solo e da matéria orgânica da área que foi superior em mais de 50% da encontrada na USL.

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

Tabela 2.2 - Teores de N em folhas +1, nas três áreas experimentais, na microparcela (micro) e parcela

Dose de N	Teores de N nos locais								
	-----USL-----			-----USA-----			-----USM-----		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ de N								
0	20,3	20,1	20,2a	20,5	21,1	20,8ab	17,9	19,5	18,7b
40	19,1	18,6	18,9b	19,9	20,7	20,3b	19,3	18,2	18,7ab
80	19,4	19,3	19,4ab	21,6	21,0	21,3ab	20,3	20,0	20,1a
120	19,8	18,7	19,2ab	21,9	21,8	21,8a	20,1	19,6	19,8ab
média	19,6A	19,2A	19,4	20,9A	21,1A	21,0	19,4A	19,3A	19,3
CV (%)	4	4	4	6	3	5	5	6	5
F bloco	0,52 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,76 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,28 ^{ns}
F tratamento	-----	-----	3,24 ^{ns}	-----	-----	0,38 ^{ns}	-----	-----	0,058 ^{ns}
F dose	2,04 ^{ns}	2,92 ^{ns}	4,31*	2,03 ^{ns}	2,36 ^{ns}	3,19*	6,27*	2,15 ^{ns}	4,14*
F trat. x dose	-----	-----	0,75 ^{ns}	-----	-----	0,78 ^{ns}	-----	-----	2,67 ^{ns}
F reg. 1º grau	0,62 ^{ns}	3,97 ^{ns}	7,20*	4,02 ^{ns}	3,22 ^{ns}	6,39*	14,8**	0,72 ^{ns}	10,81**
F reg. 2º grau	4,77 ^{ns}	0,94 ^{ns}	8,81*	0,44 ^{ns}	3,88 ^{ns}	1,97 ^{ns}	3,76 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,39 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

O K foi o nutriente que maior variação apresentou nas folhas-diagnóstico, inclusive entre a microparcela e a parcela na USA (Tabela 2.3), inclusive com efeito positivo da dose de N (Figura 2.1b). A USA foi a que apresentou as maiores quantidades de K no solo e nas folhas, inclusive acima da faixa de teores relatados para o Estado de São Paulo. Esse fato pode ter influenciado na absorção do nutriente por uma maior variação espacial da distribuição K no solo (SOUZA et al., 2006) e sua alta mobilidade na planta por não fazer parte de nenhum componente estrutural (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). Na USL e na USM não houve diferença nos teores de K nas F+1 entre microparcela e parcela (Tabela 2.3). Na USL houve efeito significativo das doses de N na concentração de K nas folhas-diagnóstico (Figura 2.1b).

Os teores de P não diferiram estatisticamente entre a microparcela e a parcela nas áreas experimentais (Tabela 2.4). Também não houve efeito significativo das doses de N no teor de P na USL e na USA. No entanto esse efeito foi altamente significativo na USM (Figura 2.1c), inclusive com interação com o local de coleta da F+1, sendo o aumento do teor de P no tecido das folhas da microparcela, com as doses de N, tão significativo que estendeu esse efeito para a média. Possivelmente isso tenha ocorrido pelo alto teor do nutriente no solo (Tabela 2.1), que foi absorvido em maiores quantidades, estimulado pelas doses de N, que se refletiram na produtividade e absorção de outros nutrientes. O P é um elemento essencial para a produção de nucleotídeos e ácidos nucléicos, e para a aquisição e utilização de energia como açúcares fosfatados e adenosinas fosfatadas (AMP, ADP e ATP) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Tabela 2.3 - Teores de K em folhas +1, nas três áreas experimentais, na microparcela (micro) e parcela

Dose de N	Teores foliares de K nos locais								
	-----USL-----			-----USA-----			-----USM-----		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ de K								
0	13,6	13,7	13,6a	16,2	15,1	15,6b	14,4	13,4	13,9a
40	13,7	14,0	13,8ab	17,0	16,0	16,5a	13,3	13,4	13,3a
80	13,4	13,8	13,6b	17,5	16,5	17,0a	13,2	12,9	13,0a
120	14,9	14,2	14,6a	17,4	16,3	16,8a	13,7	13,3	13,5a
média	13,9A	13,9A	13,9	17,0A	16,0B	16,5	13,6A	13,2A	13,4
CV (%)	4	5	5	3	4	4	3	7	5
F bloco	7,67**	1,47 ^{ns}	4,24*	0,15 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,87 ^{ns}	8,36*	2,52 ^{ns}	6,27**
F tratamento	-----	-----	0,06 ^{ns}	-----	-----	24,68**	-----	-----	2,319 ^{ns}
F dose	6,70*	0,62 ^{ns}	3,92*	6,42*	3,18 ^{ns}	8,4**	6,45*	0,29 ^{ns}	2,16 ^{ns}
F trat. x dose	-----	-----	1,011 ^{ns}	-----	-----	0,02 ^{ns}	-----	-----	0,90 ^{ns}
F reg. 1º grau	10,09*	0,95 ^{ns}	10,76**	15,07**	6,66*	24,69**	5,75*	0,20 ^{ns}	2,78 ^{ns}
F reg. 2º grau	6,87*	0,098 ^{ns}	5,07*	4,11 ^{ns}	2,82 ^{ns}	7,44*	13,46**	0,18 ^{ns}	5,63*

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.4 - Teores de P em folhas +1, nas três áreas experimentais, na microparcela (micro) e parcela

Dose de N	Teores foliares de P nos locais								
	-----USL-----			-----USA-----			-----USM-----		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ de P								
0	1,7	1,7	1,7a	1,9	2,0	2,0a	1,8c	2,0a	1,9b
40	1,6	1,6	1,6a	1,9	2,0	1,9a	1,9bc	1,9a	1,9b
80	1,7	1,7	1,7a	2,1	2,0	2,1a	2,0ab	2,1a	2,0a
120	1,7	1,6	1,6a	2,1	2,1	2,1a	2,1a	2,0a	2,0a
média	1,7A	1,7A	1,7	2,0A	2,0A	2,0	1,9A	2,0A	2,0
CV (%)	6	4	5	8	4	6	5	4	4
F bloco	5,50*	3,00 ^{ns}	7,1**	1,16 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,53 ^{ns}	2,61s	1,72 ^{ns}	3,92*
F tratamento	-----	-----	0,16 ^{ns}	-----	-----	0,17 ^{ns}	-----	-----	2,16 ^{ns}
F dose	0,17 ^{ns}	3,71 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,30 ^{ns}	2,75 ^{ns}	2,32 ^{ns}	13,74**	2,67 ^{ns}	12,84**
F trat. x dose	-----	-----	0,67 ^{ns}	-----	-----	0,48 ^{ns}	-----	-----	3,57
F reg. 1º grau	0,05 ^{ns}	6,78*	3,82 ^{ns}	2,48 ^{ns}	7,13*	7,20*	33,45**	4,55 ^{ns}	15,00**
F reg. 2º grau	0,25 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,55 ^{ns}	0,10 ^{ns}	1,11 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,29 ^{ns}	4,55 ^s	0,33 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

Para os teores de Ca na folha diagnóstico na microparcela e na parcela, só houve diferença no experimento USM, sendo maior o teor do nutriente encontrado na parcela (Tabela 2.5). No entanto, a faixa de variação dos teores de Ca em plantas de cana-de-açúcar é um dos mais amplos, podendo variar de 2 a 8 g kg⁻¹ de Ca (RAIJ; CANTARELLA, 1997). Neste caso a diferença das médias foi de 0,2 g kg⁻¹ de Ca. Na USM houve resposta linear do teor do nutriente nas folhas, sendo que este aumentou com as doses de N (Figura 2.1d). O Ca é um nutriente estrutural que se liga a polissacarídeos na parede celular, é ativador e regulador enzimático e serve como contra-íon na absorção de outros íons (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Por essas características é esperado seu aumento no tecido vegetal em pleno desenvolvimento e a alta disponibilidade de íons no solo como é o caso da USM. Na USL e na USA não houve efeito das doses de N no teor foliar de Ca, sendo ele o elemento que apresentou os maiores coeficientes de variação nas áreas estudadas (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Teores de Ca em folhas +1, nas três áreas experimentais, na microparcela (micro) e parcela

Dose de N kg ha ⁻¹	Teores foliares de Ca nos locais								
	-----USL-----			-----USA-----			-----USM-----		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
	g kg ⁻¹ de Ca								
0	2,7	2,9	2,8a	1,9	2,3	2,1a	2,3	2,8	2,6b
40	3,0	2,6	2,8a	1,8	2,0	1,9a	2,7	3,1	2,9b
80	2,8	2,9	2,8a	2,0	2,0	2,0a	3,8	4,0	3,9a
120	2,8	2,6	2,7a	2,0	2,0	2,0a	3,9	3,8	3,8a
média	2,8A	2,7A	2,8	1,9A	2,1A	2,0	3,2B	3,4A	3,3
CV (%)	12	9	12	25	11	18	9	7	10
F bloco	1,15 ^{ns}	3,41 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,17 ^{ns}	2,13 ^{ns}	4,02	0,63 ^{ns}
F tratamento	-----	-----	0,11 ^{ns}	-----	-----	1,74 ^{ns}	-----	-----	4,80*
F dose	0,54 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,32 ^{ns}	32,89**	19,33**	33,01**
F trat. x dose	-----	-----	1,34 ^{ns}	-----	-----	0,29 ^{ns}	-----	-----	1,35 ^{ns}
F reg. 1º grau	0,07 ^{ns}	1,86 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}	88,68**	46,62**	82,06**
F reg. 2º grau	0,80 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,97 ^{ns}	2,58 ^{ns}	2,48 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

Os teores de Mg e S não diferiram entre a parcela e a microparcela em nenhuma das áreas. No experimento USA não houve efeito da dose de N no teor de Mg foliar (Tabela 2.6), o que na USL ocorreu com o S (Tabela 2.7). Na USL e na USM houve aumento linear e altamente significativo no teor de Mg na F+1 com as doses de N (Figura 2.1e). Esse fato pode ser explicado pela participação do Mg na clorofila e como ativador enzimático (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Como esses experimentos apresentaram respostas às doses de N com aumento de produtividade de matéria seca é de se esperar que o Mg seja mais absorvido, ou para fazer parte da maior quantidade de clorofila, ou por fazer parte de mecanismos fisiológicos da planta.

Na USA e na USM houve aumento linear e altamente significativo no teor de S foliar com as doses de N (Figura 2.1f). O enxofre nas plantas encontra-se, em sua maior parte, nas formas de cisteína, metionina, proteínas, coenzimas, tiamina, biotina e co-enzima A, e sua deficiência pode interferir na síntese de proteínas regulatórias, essenciais para a manutenção da atividade celular (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). Com isso, a deficiência de S pode limitar a resposta da planta a adubação nitrogenada, o que pode ter ocorrido nas áreas experimentais, principalmente na USA, já que as plantas de sua área experimental foram as que apresentaram as maiores concentrações de N nas folhas, sendo que os teores de S, se não estão abaixo da faixa considerada adequada, estão próximos ao limite inferior de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ de S (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

Tabela 2.6 - Teores de Mg em folhas +1, nas três áreas experimentais, na microparcela (micro) e parcela

Dose de N kg ha ⁻¹	Teores foliares de Mg nos locais								
	-----USL-----			-----USA-----			-----USM-----		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
	----- g kg ⁻¹ de Mg -----								
0	1,3	1,3	1,3b	1,2	1,4	1,3a	1,0	1,2	1,1b
40	1,3	1,2	1,2b	1,2	1,3	1,2a	1,3	1,3	1,3b
80	1,3	1,3	1,3b	1,3	1,3	1,3a	1,8	1,8	1,8a
120	1,5	1,5	1,5a	1,2	1,3	1,3a	1,8	1,8	1,8a
média	1,3A	1,3A	1,3	1,2A	1,3A	1,3	1,5A	1,5A	1,5
CV (%)	5	8	7	15	11	13	9	17	10
F bloco	4,4*	2,05 ^{ns}	3,99*	0,33 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,39 ^{ns}	4,52*	0,57 ^{ns}	4,91**
F tratamento	-----	-----	0,01 ^{ns}	-----	-----	3,14 ^s	-----	-----	1,45 ^{ns}
F dose	8,67**	6,35*	12,08**	0,33 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,30 ^{ns}	35,49**	5,11*	50,27**
F trat. x dose	-----	-----	1,35 ^{ns}	-----	-----	0,71 ^{ns}	-----	-----	0,68 ^{ns}
F reg. 1º grau	17,97**	11,92**	39,20**	0,35 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,01 ^{ns}	92,02**	13,80**	89,26**
F reg. 2º grau	6,04*	5,03*	25,00**	0,28 ^{ns}	0,25 ^s	0,04 ^{ns}	6,31*	0,85 ^{ns}	2,36 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.7 - Teores de S em folhas +1, nas três áreas experimentais, na microparcela (micro) e parcela

Dose de N kg ha ⁻¹	Teor foliar de S nos locais								
	-----USL-----			-----USA-----			-----USM-----		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
	----- g kg ⁻¹ de S -----								
0	1,5	1,4	1,5a	1,4	1,4	1,4b	1,2	1,4	1,3b
40	1,3	1,3	1,3a	1,5	1,5	1,5b	1,3	1,4	1,3b
80	1,5	1,4	1,5a	1,7	1,6	1,6a	1,3	1,3	1,3b
120	1,5	1,4	1,5a	1,8	1,8	1,8a	1,5	1,5	1,5a
média	1,5A	1,4A	1,4	1,6A	1,6A	1,6	1,3A	1,4A	1,4
CV (%)	11,7	8,7	10,3	6,9	6,1	6,2	6,4	6,8	6,6
F bloco	2,15 ^{ns}	1,81 ^{ns}	3,12	0,41 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,36 ^{ns}
F tratamento	-----	-----	0,51 ^{ns}	-----	-----	1,62 ^{ns}	-----	-----	3,92 ^{ns}
F dose	1,52 ^{ns}	0,59 ^{ns}	2,05 ^{ns}	14,04**	8,63**	23,89**	6,03*	2,67 ^{ns}	7,00**
F trat. x dose	-----	-----	0,361 ^{ns}	-----	-----	2,67 ^{ns}	-----	-----	1,36 ^{ns}
F reg. 1º grau	0,32 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	39,31**	23,45**	41,43**	16,47**	1,69 ^{ns}	9,956*
F reg. 2º grau	1,058 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,20 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,78 ^s	5,65*	1,99 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

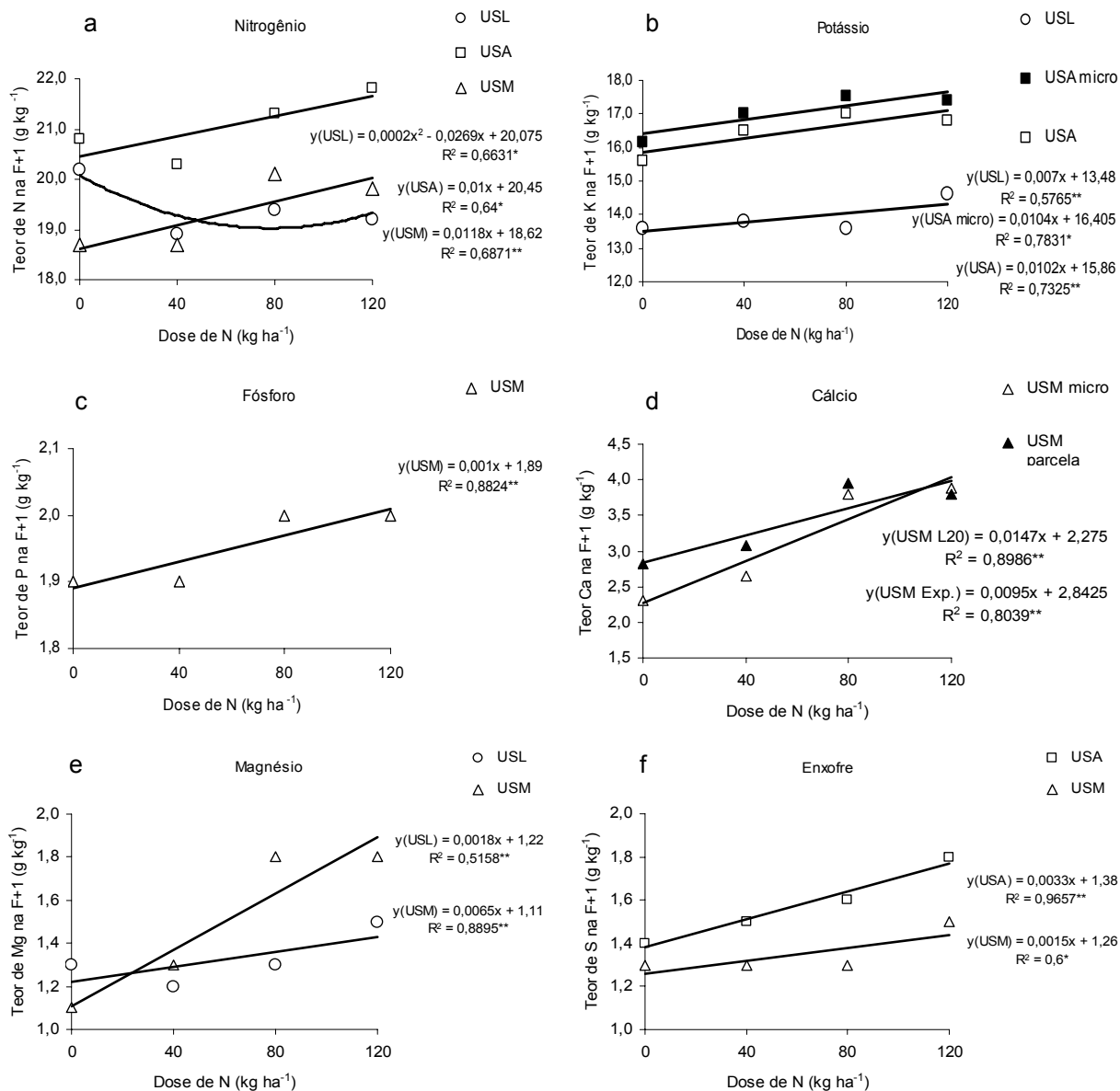


Figura 2.1 - Regressões dos teores de macronutrientes nas folhas-diagnóstico (F+1) da cana-de-açúcar, nas áreas USL, USA e USM, que responderam significativamente à adubação nitrogenada de plantio

Na análise conjunta dos experimentos, o único nutriente que diferiu entre a microparcela e a parcela foi o K, possivelmente pelas razões já citadas para o experimento USA, que tiveram um peso maior quando os dados foram analisados conjuntamente (Tabela 2.8). As doses de N do plantio tiveram efeito significativo no acúmulo de todos os nutrientes nas folhas-diagnóstico da cana-de-açúcar (Figuras 2.2a e 2.2b). Com a análise conjunta foi possível identificar o comportamento geral dos nutrientes no solo e sua absorção pelas plantas. No entanto, a análise isolada dos

experimentos é importante para identificar quando os resultados de algum deles são muito expressivos e podem exercer maior peso na análise.

Tabela 2.8 - Teores de macronutrientes nas folhas +1, na análise conjunta dos experimentos, na microparcela marcada (micro), na parcela e na média

Dose de N	Teores foliares de								
	N			K			P		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ de N			g kg ⁻¹ de K			g kg ⁻¹ de P		
0	19,5	20,2	19,9a	14,7	14,1	14,4a	1,8	1,9	1,8ab
40	19,4	19,2	19,3b	14,7	14,5	14,6a	1,8	1,8	1,7b
80	20,4	20,1	20,3a	14,7	14,4	14,5a	1,9	1,9	1,9a
120	20,6	20,0	20,3a	15,3	14,6	14,9a	1,9	1,9	1,9a
média	20,0A	19,9A	19,9	14,8A	14,4B	14,6	1,9A	1,9A	1,9
CV (%)	6	6	5	12	10	5	11	10	6
F tratamento	-----	-----	0,34 ^{ns}	-----	-----	8,48 ^{**}	-----	-----	1,15 ^{ns}
F dose	2,55 ^{ns}	1,63 ^{ns}	6,12 ^{**}	0,362 ^{ns}	0,28 ^{ns}	2,37 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,48 ^{ns}	5,36 ^{**}
F reg. 1º grau	6,09 [*]	0,04 ^{ns}	3,60 [*]	0,62 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,26 ^{ns}	4,25 [*]	0,30 ^s	3,71 [*]
F reg. 2º grau	0,99 ^{ns}	1,72 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,13 ^s	0,18 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,17 ^{ns}

Dose de N	Teores foliares de								
	Ca			Mg			S		
	micro	parcela	média	micro	parcela	média	micro	parcela	média
	g kg ⁻¹ de Ca			g kg ⁻¹ de Mg			g kg ⁻¹ de S		
0	2,3	2,7	2,5b	1,1	1,3	1,2b	1,4	1,4	1,4bc
40	2,5	2,6	2,5b	1,3	1,2	1,2b	1,4	1,4	1,4c
80	2,8	2,9	2,9a	1,5	1,5	1,5a	1,5	1,4	1,5b
120	2,9	2,8	2,8a	1,5	1,5	1,5a	1,6	1,6	1,6a
média	2,6A	2,7A	2,7	1,3A	1,4A	1,4	1,5A	1,5A	1,5
CV (%)	27	25	12	17	16	11	13	9	8
F tratamento	-----	-----	3,66 ^{ns}	-----	-----	3,271 ^{ns}	-----	-----	0,06 ^{ns}
F dose	1,88 ^{ns}	0,66 ^{ns}	9,75 ^{**}	6,43 ^{**}	4,87 ^{**}	23,60 ^{**}	4,80 ^{**}	3,82 [*]	13,57 ^{**}
F reg. 1º grau	5,21 [*]	0,76 ^{ns}	5,20 [*]	17,88 ^{**}	10,82 ^{**}	28,55 ^{**}	12,45 ^{**}	7,15 [*]	19,66 ^{**}
F reg. 2º grau	0,13 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,38 ^{ns}	4,27 [*]	2,91 ^{ns}

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúsculas nas colunas dentro de cada área experimental não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade; ** e * equivalem a significâncias de 99% e 95% respectivamente; ^{ns} não significativo.

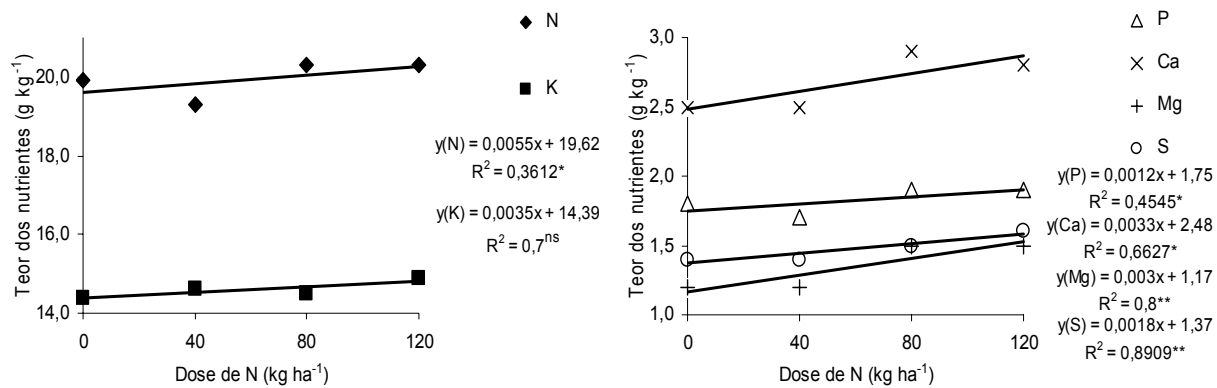


Figura 2.2 - Análise conjunta dos teores de macronutrientes nas folhas-diagnóstico (F+1) da cana-de-açúcar das áreas experimentais que responderam significativamente à adubação nitrogenada de plantio

Outro fato que pode ter influenciado nessas análises, não somente na conjunta, mas também em cada experimento, é a folha-diagnóstico a ser amostrada. Prado et al. (2002) relataram alguns problemas entre a diagnose foliar de cana-de-açúcar e seu real estado nutricional, possivelmente por terem usado a terceira folha com o colarinho visível (F+3), como recomendada por muitos autores (GALLO et al., 1968; RAIJ, 1991; MALAVOLTA et al., 1997), sendo que esta folha foi coletada precocemente, aos 4 meses de idade da planta, podendo haver divergência quanto a parte da planta a ser amostrada e a interpretação do seu estado nutricional. A opção, neste trabalho, por amostrar a F+1 levou em conta a época de amostragem das folhas, entre 9 e 10 meses de idade da planta, período de máximo desenvolvimento e extração de nutrientes do solo. A F+1 é a folha madura mais nova e com maiores chances de não ter sofrido injúrias mecânicas ou causadas por pragas e doenças, as quais podem alterar seus teores normais de nutrientes.

2.4 Conclusões

Os teores dos nutrientes N, P, Ca, Mg e S nas folhas-diagnóstico (F+1) colhidas na fase de máximo crescimento da cultura de cana-de-açúcar não diferiram entre locais amostrados: microparcelsas e parcelas experimentais.

A adubação nitrogenada aumentou os teores dos nutrientes N, P, Ca, Mg e S nas folhas-diagnóstico (F+1) da cana-de-açúcar (cana-planta) na época de máximo desenvolvimento da cultura.

Referências

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

DIAS, F.L.F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 1997. 64 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.

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: Ed. Planta, 2006. 403 p.

GALLO, J.R.; HIROCE, R.; ALVAREZ, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo pela análise foliar. **Bragantia**, Campinas, v. 27, p. 365-382, 1968.

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

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 das plantas**: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

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

MAULEN, R.F.; MAZZA, J.A.; MARTA JR., G.B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, p. 295-301, 2001.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.A. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 129-135, 2002.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

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. cap. 22. p. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

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}N** . 2000. 143 p. Tese (Livre-Docência) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

3 ADUBAÇÃO NITROGENADA E O ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA)

Resumo

O entendimento da dinâmica do nitrogênio no agroecossistema determina possibilidades e estratégias de manejo nutricional para a cana-de-açúcar em diferentes condições edafo-climáticas, as quais busquem aumento da produtividade agrícola e a sustentabilidade do sistema de produção. Por esse motivo, o objetivo do trabalho foi avaliar o estado nutricional da cana-soca, por meio da diagnose foliar, submetida a doses de nitrogênio nas fertilizações de cana-planta e cana-soca, buscando-se verificar uma possível interação dessas adubações nos teores foliares de macro e micronutrientes. Foram instalados dois experimentos: um em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico e outro em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico nas Usinas São Luiz e Santa Adélia respectivamente, ambas no Estado de São Paulo. O cultivar plantado foi o SP81-3250. O delineamento experimental para cana-planta e para cana-soca foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos (parcelas) de cana-planta constituídos de três doses de N: 40, 80 e 120 kg ha⁻¹, na forma de uréia, além de uma testemunha, e os sub-tratamentos de cana-soca, testemunha e três doses de N: 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, aplicadas em subparcelas dentro das parcelas que receberam os tratamentos de cana-planta. Na fase de máximo desenvolvimento da cana-soca foram amostradas folhas-diagnóstico (F+1) para avaliação do estado nutricional da cultura em cada subparcela, em que foram determinados os teores de macronutrientes e micronutrientes. Os teores dos nutrientes N, P, K, Ca, B, Fe e Zn nas folhas-diagnóstico (F+1) da cana-soca não diferiram com o aumento das doses de N. A adubação nitrogenada, com sulfato de amônio, incrementou os teores de S, Cu e Mn nas folhas-diagnóstico da cana-soca. Os teores do nutriente Mg nas folhas-diagnóstico, na época de máximo desenvolvimento da cultura, são dependentes do teor de Mg no solo. Não houve interação significativa das adubações nitrogenadas de cana-planta e cana-soca nos teores de macro e micronutrientes nas folhas-diagnóstico da cana-soca, na época de máximo desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: Folhas-diagnóstico; Macronutrientes; Micronutrientes; Nitrogênio

Nitrogen fertilization and nutritional condition of the sugarcane crop (ratoon)

Abstract

Understanding nitrogen fate in the agroecosystem determines sugarcane nutritional management possibilities and strategies under different edaphic-climatic conditions, in order to provide increased agricultural productivity and sustainability of the production system. Consequently, the objective of this study was to evaluate the nutritional

condition of ratoon by means of leaf diagnosis, when submitted to nitrogen fertilization doses as plant cane and ratoon, in order to identify a potential interaction between such fertilizations on leaf macro and micronutrient contents. Two experiments were installed, one on a TYPIC HAPLUDOX SOIL (*Latosolo Vermelho-Amarelo Distrófico*) and the other on a RHODIC HAPLUDOX (*Latosolo Vermelho Distrófico*) at *Usina São Luiz* and *Usina Santa Adélia*, respectively, both in the State of São Paulo. Cultivar SP81-3250 was planted. A completely-randomized-block experimental design was adopted for plant cane and ratoon cane, with four replicates. Plant cane treatments (plots) consisted of three N doses, 40, 80, and 120 kg ha⁻¹, in the form of urea, in addition to a control, while ratoon sub-treatments comprised a control and three N doses, 50, 100, and 150 kg ha⁻¹, in the form of ammonium sulfate, applied as subplots within the plots that received plant cane treatments. Diagnostic leaves (F+1) were sampled at the ratoon maximum development stage, to evaluate the crop's nutritional status in each subplot, by means of macronutrient and micronutrient content determinations. N, P, K, Ca, B, Fe, and Zn contents in the ratoon diagnostic leaves (F+1) did not differ as N dose increased. Nitrogen fertilization with ammonium sulfate increased S, Cu, and Mn contents in the ratoon diagnostic leaves. Mg contents in diagnostic leaves during the crop's maximum development season depends on the soil's Mg content. No significant interaction of nitrogen fertilization in plant cane and ratoon was found on macro and micronutrient contents in ratoon diagnostic leaves, during the crop's maximum development season.

Keywords: Diagnostic leaves; Macronutrients; Micronutrients; Nitrogen

3.1 Introdução

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar, mas o álcool será o principal propulsor do crescimento do setor sucroalcooleiro em decorrência do aumento da demanda gerada pelo crescimento da frota de veículos bicombustíveis e, também, devido à valorização do combustível no mercado internacional (UNICA, 2007). Por ser renovável, o biocombustível derivado da cana-de-açúcar é a alternativa energética que mais atende às preocupações das economias mundiais, polui menos e pode reduzir a dependência do petróleo.

Das culturas utilizadas para a produção industrial de etanol, a cana-de-açúcar, principalmente a cultivada no Brasil, 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 etanol produzido a partir do milho (RODRIGUES, 2004).

Um dos aspectos responsáveis por essa alta produtividade é a adequada nutrição da cultura, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros (DIAS, 1997). São raros os trabalhos que têm sido desenvolvidos com cana-de-açúcar enfocando a exigência nutricional e a exportação de macronutrientes, especialmente nos cultivares mais modernos, os quais sofreram significativa interferência genética por melhoramento vegetal (PRADO et al., 2002).

Vários fatores interferem na produção e maturação da cultura da cana-de-açúcar, sendo os principais a interação edafo-climática, o manejo da cultura e o cultivar escolhido (CESAR et al., 1987). Esses fatores que interferem na produção e qualidade da cana-de-açúcar precisam ser constantemente estudados sob diferentes aspectos.

As quantidades absorvidas de macro e micronutrientes pela cana-de-açúcar são influenciadas por diversos fatores como o solo e o clima, em especial a pluviosidade, fertilizações minerais, o cultivar, o ciclo da cultura (cana-planta ou soqueiras), pragas e doenças entre outros (FAUCONENNIER; BASSEREAU, 1975 apud TASSO JUNIOR et al., 2007). O conteúdo de nutrientes na cana-de-açúcar obedece, de forma geral, a seguinte ordem decrescente,: Si>K>N>P>Ca>S>Mg>Cl>Fe>Zn>Mn>Cu>B>Mo (MALAVOLTA,1994).

Com enfoque ao manejo nutricional da cultura, muitos trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do N para a cana-de-açúcar. Não há função na vida da planta da qual o N não participe (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Sua deficiência causa a redução na síntese de clorofila, de aminoácidos essenciais e da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos (MALAVOLTA, 1994). Apesar de o nitrogênio contribuir com 1%, em média, na matéria seca da cana-de-açúcar, seu papel é tão importante quanto a do carbono, hidrogênio e oxigênio, que constituem, juntos, mais de 90% da fitomassa seca da planta (EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA et al.,1997).

O nitrogênio pode mostrar interação com outros elementos. Sua presença ou suprimento pode mostrar aumento (sinergismo) ou diminuição (inibição, antagonismo) no teor de outros elementos e reciprocamente. Os casos mais comuns de sinergismos são: N x S, N x Ca, N x Mg, N x Zn, N x Cu e N x Mn. Os de antagonismo: N x B e N x S-SO₄ (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

Sendo assim, as maiores limitações do ambiente na produtividade da cana-de-açúcar, nas regiões canavieiras do Brasil, se relacionam mais à disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes minerais nos solos, com destaque ao nitrogênio, que à radiação solar, à temperatura ou mesmo a disponibilidade de água (TRIVELIN, 2000).

A intensidade com que ocorrem as diferentes formas de ganhos e perdas de nitrogênio no agrossistema pode refletir-se em curto, médio e longo prazo na produção dos canaviais, uma vez que a cana-de-açúcar é uma cultura semiperene. O perfeito entendimento da dinâmica do nitrogênio, nesse sistema, determina possibilidades de manejo dessa cultura, em condições variadas do meio, principalmente solo e clima, com o uso de cultivares melhorados que resultem em ganhos na produtividade agrícola e na sustentabilidade do agrossistema.

Diante deste cenário, o objetivo do trabalho foi avaliar o estado nutricional da cana-soca, por meio da diagnose foliar, em cana-de-açúcar submetida a doses de nitrogênio nas fertilizações de cana-planta e cana-soca, buscando-se verificar uma possível interação dessas adubações nos teores foliares de macro e micronutrientes.

3.2 Material e métodos

O experimento foi desenvolvido no Estado de São Paulo, em duas áreas comerciais de cana-de-açúcar, após a reforma do canavial, com o plantio do cultivar SP81-3250, nas usinas: São Luiz (USL), no município de Pirassununga; e Santa Adélia (USA), no município de Jaboticabal. O cultivar plantado é bem aceito por suas características agrônômicas, principalmente por ser produtivo e rico em açúcares e se desenvolver bem em ambientes de produção de média a baixa fertilidade do solo. Os solos das áreas experimentais são um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico na USL e um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico na USA, ambos de textura média (EMBRAPA, 1999). As amostragens de solo foram feitas em todas as subparcelas, antes da adubação da cana-soca, de 0,00-0,25 m e de 0,25-0,50 m, com o uso de sondas amostradoras de terra. As características químicas dos solos após o corte da cana-planta são apresentadas nas Tabelas 3.1 e 3.2.

Tabela 3.1 - Características químicas dos solos das áreas experimentais

profundidade m	experimento	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K -----mmol _c dm ⁻³ -----	Ca	Mg	H+Al	S.B.	CTC	V %	S mg dm ⁻³
0,00-0,25	USL	21	5,9	5	1,9	35	9	15	45,4	60,4	75	2
0,25-0,50	USL	16	5,2	2	1,4	14	4	19	19,1	38,6	49	12
0,00-0,25	USA	21	5,4	15	3,2	21	12	22	35,8	57,7	62	2
0,25-0,50	USA	16	4,5	6	2,2	9	4	31	15,1	46,2	32	22

USL - Usina São Luiz. USA - Usina Santa Adélia.

Tabela 3.2 - Teores de micronutrientes nos solos das áreas experimentais

profundidade m	experimento	B	Cu	Fe mg dm ⁻³	Mn	Zn
0,00-0,25	USL	0,13	0,8	18,8	3,0	0,3
0,25-0,50	USL	0,11	0,7	15,3	0,8	0,2
0,00-0,25	USA	0,24	0,7	16,0	20,4	0,5
0,25-0,50	USA	0,21	0,4	11,0	9,4	0,4

USL - Usina São Luiz. USA - Usina Santa Adélia.

Na USL, as operações no preparo do solo realizadas antes do plantio foram: gradeação, subsolagem, gradeação para incorporação de calcário dolomítico e gesso agrícola, ambos na dose de 2 t ha⁻¹ cada, calculadas com base na análise de terra (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e gradeação leve para o nivelamento do solo antes da sulcação. A instalação do experimento ocorreu entre 21 e 24 de fevereiro de 2005. As operações de reforma do canavial na USA foram: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 4 L ha⁻¹ do herbicida glifosato; aração profunda e incorporação dos resíduos vegetais e de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico ao solo e gradeação para o nivelamento do solo antes da sulcação e plantio. O experimento foi instalado entre 4 e 8 de abril de 2005.

O delineamento experimental, nos dois experimentos, foi o de blocos completos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos de cana-planta constituídos de três doses de N: 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ na forma de uréia, aplicadas manualmente no fundo do sulco de plantio, mais uma testemunha sem aplicação de N. As parcelas experimentais foram compostas por 48 linhas (sulcos) espaçadas entre si por 1,5 m. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado com 30 mudas de canas (colmos) em 15 m de sulco, cruzando-se os 'pés' com as pontas das mudas, o que proporcionou uma

distribuição de 17 a 20 gemas por metro linear de sulco, que foram cobertas mecanicamente.

No plantio foram aplicados no fundo de sulco, além da uréia, em todas as parcelas dos experimentos, cloreto de potássio e superfosfato simples, na dose de 120 kg ha^{-1} , respectivamente, de K_2O e P_2O_5 . O delineamento experimental para a cana-soca foi igual ao utilizado na cana-planta, só que as parcelas de 48 linhas foram divididas em 4 subparcelas de 12 linhas que receberam, de forma randomizada, três doses de N: 50, 100 e 150 kg ha^{-1} na forma de sulfato de amônio, aplicadas manualmente sobre a palha residual da colheita e a 0,2 m da linha de cana-de-açúcar, mais uma testemunha sem aplicação de N. Foram aplicados de forma geral nos experimentos 150 kg ha^{-1} de K_2O e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 no experimento da Usina São Luiz, devido aos baixos teores de P no solo, como diagnosticado pela análise de terra realizada após a colheita da cana-planta.

Na fase de máximo desenvolvimento da cana-soca, nos dias 23 e 24 de janeiro de 2007, respectivamente, nos experimentos USA e USL, foram coletadas, segundo Raij e Cantarella (1997), as folhas-diagnóstico para avaliação do estado nutricional da cultura. Segundo a descrição morfológica da cultura e o sistema Kuijper de descrição das folhas citados por Dillewijn (1952) foram coletadas amostras compostas do terço médio de folhas +1 (F+1), aproximadamente 0,2 m, excluído a nervura central. A F+1, também denominada de TVD (Top Visible Dewlap), é a primeira folha, a partir do topo da planta, apresentando o colarinho visível.

Em cada subparcela da cana-soca foram coletadas, aleatoriamente, uma amostra composta por cinco folhas cada. Essas amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem peso constante, em seguida foram moídas em moinho tipo Willey e analisadas, segundo Malavolta et al. (1997), para determinação dos teores dos macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); e dos micronutrientes: ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B).

No ciclo de cana-planta a produtividade em colmos (TCH) da cana-de-açúcar no tratamento testemunha e em resposta às doses de 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N foi de 134,

132, 139 e 141 t ha⁻¹, no experimento USL, colhido em junho de 2006; e de 145, 144, 147 e 146 t ha⁻¹, no experimento USA, colhido em julho de 2006 (FRANCO, 2008).

No ciclo de cana-soca, os experimentos das USL e USA foram colhidos, sem a queima dos canaviais, respectivamente, nos dias 27 de junho e 17 de julho de 2007. A estimativa da produtividade de cada subparcela, de cada área experimental, foi feita pela colheita mecânica das plantas e pesagem das quatro linhas centrais da parcela por um transbordo instrumentado com células de carga.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, utilizando o teste F ao nível de 90% de confiança, dentro de cada área experimental, e para as respostas e interações significativas foram realizadas análises de regressão até o nível de 10% de probabilidade.

3.3 Resultados e discussões

A adubação nitrogenada teve efeito significativo na produtividade da cana-soca na USL, tanto considerando somente os tratamentos na cana-planta, quanto se considerado isoladamente os de cana-soca, não havendo interação significativa entre eles (Tabela 3.3). Independentemente dos tratamentos de cana-planta houve aumento linear da produtividade com a aplicação de N na cana-soca. Para os tratamentos aplicados na cana-planta, houve maior incremento de produtividade entre as doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N. Isolando-se os tratamentos de cana-planta, apenas na dose de 80 kg ha⁻¹ de N houve efeito das doses de N em cana-soca, sendo este linear.

Já na USA houve efeito dos tratamentos na produtividade apenas da cana-soca (Tabela 3.4), mas da mesma forma que na USL esse foi linear e altamente significativo. Considerando as doses de N aplicadas na cana-soca, dentro de cada dose de N de plantio, houve efeito significativo apenas nas parcelas que receberam 40 kg ha⁻¹ de N, sendo esse efeito quadrático e com a maior produtividade obtida com dose próxima a 100 kg ha⁻¹ de N na soqueira.

Tabela 3.3 - Produtividade da cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira, no experimento USL

Tratamentos na soqueira (kg ha ⁻¹ de N)	Tratamentos na cana-planta (kg ha ⁻¹ de N)				Média
	0	40	80	120	
	TCH (Mg ha ⁻¹)				
0	75,56	81,39	82,5	75,69	78,79
50	80,70	88,20	76,67	78,89	81,12
100	85,28	83,89	88,89	85,56	85,91
150	78,89	90,14	88,89	87,78	86,43
Média	80,10	85,90	84,24	81,99	83,06
CV (%)	6	11	7	8	9
F - blocos	2,11 ^{ns}	0,41 ^{ns}	2,34 ^{ns}	1,20 ^{ns}	1,29 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	3,83*
F - soca	2,58 ^{ns}	0,67 ^{ns}	3,75*	2,65 ^{ns}	4,23*
F - interação	-----	-----	-----	-----	1,13 ^{ns}
F 1º grau	1,67 ^{ns}	1,02 ^{ns}	5,35**	7,68**	11,71***
F 2º grau	5,22**	0,01 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,25 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.4 - Produtividade da cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira, no experimento USA

Tratamentos na soqueira (kg ha ⁻¹ de N)	Tratamentos na cana-planta (kg ha ⁻¹ de N)				Média
	0	40	80	120	
	TCH (Mg ha ⁻¹)				
0	116,25	108,50	120,00	111,50	114,06
50	118,75	120,25	123,00	121,50	120,88
100	113,50	125,00	122,00	122,75	120,81
150	122,50	119,00	122,75	123,50	121,94
Média	117,75	118,19	121,94	119,81	119,42
CV (%)	8	6	5	7	7
F - blocos	0,42 ^{ns}	2,30 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,78 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,88 ^{ns}
F - soca	0,61 ^{ns}	3,48*	0,24 ^{ns}	1,55 ^{ns}	2,84**
F - interação	-----	-----	-----	-----	0,89 ^{ns}
F 1º grau	0,38 ^{ns}	4,72*	0,33 ^{ns}	3,44*	6,22**
F 2º grau	0,44 ^{ns}	5,66**	0,16 ^{ns}	1,06 ^{ns}	2,27 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Essas observações a cerca da produtividade das áreas experimentais são relevantes já que o aumento ou diminuição da produtividade pode diluir ou concentrar, respectivamente, os teores dos nutrientes nos tecidos foliares (JARRELL; BEVERLY, 1981). Além de aumentar a produtividade de colmos de cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada pode ainda gerar efeito sinérgico na absorção de outros nutrientes (FRANCO et al., 2007, FRANCO, 2008). Dessa forma, não somente a adubação nitrogenada passa a ser uma variável da pesquisa, mas também o incremento de produtividade estimulado por ela.

A adubação nitrogenada aumenta a extração de macro e micronutrientes pela planta de cana-de-açúcar. A aplicação de N no plantio das áreas experimentais proporcionou maiores acúmulos de nutrientes na parte subterrânea da cultura (raízes e rizomas), o que pode influenciar nos teores foliares da rebrota (FRANCO, 2008).

Em relação aos teores foliares de N das plantas do experimento da USL, não houve efeito significativo da adubação nitrogenada (Tabela 3.5). Os coeficientes de variação para este teste foram baixos e também não houve diferença entre os blocos, o que atribui confiabilidade à análise. Nessa condição a absorção de N foi proporcional à produtividade, mostrando que o nutriente nitrogênio poderia ser limitante ao desenvolvimento das plantas, já que sua adição incrementou a produtividade.

Na USA as doses de N aplicadas à cana-soca, na média, também não alteraram os teores foliares de N (Tabela 3.6). No entanto, nos tratamentos 0 e 40 kg ha⁻¹ de N em cana-planta houve efeito das doses de N na cana-soca nos teores foliares de N. Possivelmente esse fato tenha ocorrido por uma limitação da disponibilidade de nitrogênio às plantas destes tratamentos, os quais apresentam parcelas que receberam as menores doses de N na cana-planta e na cana-soca. Em ambas as áreas experimentais os teores foliares de N se encontram adequados. Doravante, todos os teores foliares de nutrientes deste trabalho serão comparados aos valores sugeridos como adequados por Raij e Cantarella (1997) e os valores de nutrientes no solo comparados aos sugeridos por Raij et al. (1997).

Tabela 3.5 - Teores de N na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ de N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	N (g kg ⁻¹)				
0	19,6	20,6	21,6	21,1	20,7
50	19,4	20,5	21,3	19,7	20,2
100	20,5	21,5	20,7	20,6	20,8
150	21,3	21	20,3	20,9	20,9
média	20,2	20,9	21	20,6	20,7
CV%	8	3	6		6
F - Blocos	1,88 ^{ns}	1,46 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,79 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,83 ^{ns}
F - soca	1,11 ^{ns}	1,97 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,96 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,16 ^{ns}
F 1 ^o grau	2,76 ^{ns}	2,26 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,44 ^{ns}
F 2 ^o grau	0,36 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,01 ^{ns}	2,57 ^{ns}	0,68 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.6 - Teores de N na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	N (g kg ⁻¹)				
0	21,1	19,3	19,8	20,8	20,2
50	20,4	20,6	20,8	19,5	20,3
100	21,8	20,6	20,2	21,3	21,0
150	21,2	19,9	20,5	20,0	20,4
média	21,1	20,1	20,3	20,4	20,5
CV%	3	3	5	5	4
F - Blocos	2,07 ^{ns}	1,91 ^{ns}	3,78*	0,25 ^{ns}	0,27 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	1,77 ^{ns}
F - soca	3,42*	4,85**	0,75 ^{ns}	2,18 ^{ns}	2,41 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	2,01 ^{ns}
F 1 ^o grau	1,76 ^{ns}	1,83 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,07 ^{ns}	1,19 ^{ns}
F 2 ^o grau	0,03 ^{ns}	12,48***	0,53 ^{ns}	0,00 ^{ns}	2,11 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Diversos trabalhos encontrados na literatura mostram a importância do N para a cana-de-açúcar, principalmente para as soqueiras. Fundamentalmente, sua deficiência reduz a síntese de clorofila, de aminoácidos e da energia que utiliza para produzir carboidratos e esqueletos carbônicos (MALAVOLTA et al., 1997).

Quando se eleva o teor de N na planta, a cana-de-açúcar produz mais fitomassa e esse aumento do nutriente nas folhas está relacionado ao aumento do seu conteúdo no

solo ou no fornecimento de N pela adubação (CLEMENTS et al., 1941; BOLTON; BROWN, 1980). Em ambas as áreas experimentais não houve aumento nos teores foliares com a adubação nitrogenada porque a cana-soca respondeu com aumento de produtividade o que diluiu a maior quantidade de nitrogênio absorvido.

Os teores de K na folha-diagnóstico são adequados e não foram alterados pelos tratamentos de cana-planta ou de cana-soca, tanto na USL (Tabela 3.7), quanto na USA (Tabela 3.8). Apenas no tratamento testemunha de cana-planta da USL houve um incremento quadrático do teor de K nas folhas com a adubação nitrogenada de cana-soca. Em ambas as áreas experimentais os teores de K no solo foram médios ou altos, mesmo antes da adubação potássica, mas a maior disponibilidade de K no solo não influenciou a absorção do nutriente, possivelmente devido à maior variação espacial da distribuição de K no solo (SOUZA et al., 2006).

De qualquer forma, o nutriente não foi limitante ao desenvolvimento e foi absorvido proporcionalmente ao desenvolvimento da planta. Na USA, onde o teor de K no solo era alto, os teores foliares foram superiores, inclusive acima dos considerados adequados, o que, possivelmente, indica consumo de luxo pela cultura.

Tabela 3.7 - Teores de K na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	K (g kg ⁻¹)				
0	12,7	15,1	13,1	14,3	13,8
50	13,9	13,4	13,4	13,6	13,6
100	14,7	13,6	14,8	13,4	14,1
150	13,4	13,6	13,9	13,5	13,6
média	13,7	13,9	13,8	13,7	13,8
CV%	6	10	7	8	7,9
F - Blocos	7,95***	0,58 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,04 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,08 ^{ns}
F - soca	3,65*	1,35 ^{ns}	1,95 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,82 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,98 ^{ns}
F 1º grau	2,19 ^{ns}	2,11 ^{ns}	2,39 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,02 ^{ns}
F 2º grau	8,10**	1,48 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,21 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.8 - Teores de K na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	K (g kg ⁻¹)				
0	16,6	17,0	17,0	16,8	16,9
50	16,4	15,9	17,1	18,1	16,9
100	14,8	16,8	17,0	17,7	16,6
150	17,5	18,6	17,0	16,6	17,4
média	16,3	17,1	17,0	17,3	16,9
CV%	13	8	5	10	10
F - Blocos	0,48 ^{ns}	2,15 ^{ns}	2,50 ^{ns}	0,60 ^{ns}	3,77*
F - planta	-----	-----	-----	-----	1,93 ^{ns}
F - soca	1,13 ^{ns}	2,48 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,77 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,29 ^{ns}
F 1º grau	0,07 ^{ns}	3,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,58 ^{ns}
F 2º grau	1,92 ^{ns}	4,21*	0,01 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,02 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

O K é absorvido pelas raízes na forma iônica, sendo o processo essencialmente ativo, sendo que o máximo da absorção se dá na presença de Ca²⁺ (MALAVOLTA et al., 1997). Em ambos os experimentos, nem o K, nem o Ca, foram limitantes no solo (Tabela 3.2), o que criou uma condição adequada para a máxima absorção do K.

Os teores foliares de P, na média dos tratamentos com N no ciclo de cana-planta, também não foram influenciados significativamente pela adubação nitrogenada de soqueira nas duas áreas experimentais (Tabelas 3.9 e 3.10). Os tratamentos de cana-planta na USL foram exceção e reduziram os teores foliares de P em função de seu baixo teor no solo, apesar destes ainda se enquadrarem em faixas adequadas. Essa diluição do P nas folhas foi causada pela menor disponibilidade no solo o que levou à diluição do nutriente nos tecidos foliares com o incremento da produtividade gerado pela adubação nitrogenada.

Essas observações contrastam com o acúmulo de P pela cana-planta, nas mesmas áreas experimentais, o que foi constatado por Franco (2008). O P é um elemento essencial para a produção de nucleotídeos e ácidos nucléicos, e para a aquisição e utilização de energia como açúcares fosfatados e adenosinas fosfatadas (AMP, ADP e ATP) (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O baixo teor no solo da USL poderia ter limitado a produção e a resposta a adubação nitrogenada aplicada a cana-soca. No entanto, a adubação com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ realizada na soqueira foi suficiente para

suprir a demanda da planta, o que fica comprovado pelos teores foliares encontrados na cana-soca, apesar destes serem inferiores ao da USA.

Tabela 3.9 - Teores de P na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	P (g kg ⁻¹)				
0	1,9	2,0	1,8	2,0	1,9
50	2,0	1,9	1,9	1,8	1,9
100	2,1	2,0	1,8	1,8	1,9
150	2,0	1,7	1,8	1,9	1,8
média	2,0	1,9	1,8	1,9	1,9
CV%	11	7	8	7	8
F - Blocos	0,05 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,85 ^{ns}	1,59 ^{ns}	3,45*
F - planta	-----	-----	-----	-----	6,51**
F - soca	0,23 ^{ns}	3,41*	0,54 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,88 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,22 ^{ns}
F 1º grau	0,38 ^{ns}	5,16*	0,14 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,37 ^{ns}
F 2º grau	0,21 ^{ns}	1,37 ^{ns}	1,34 ^{ns}	5,02*	0,21 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.10 - Teores de P na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	P (g kg ⁻¹)				
0	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,3	2,4	2,3
100	2,4	2,5	2,2	2,7	2,5
150	2,5	2,3	2,3	2,4	2,4
média	2,4	2,4	2,3	2,5	2,4
CV%	7	7	6	7	7
F - Blocos	0,78 ^{ns}	2,11 ^{ns}	4,42**	0,14 ^{ns}	0,67 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	2,12 ^{ns}
F - soca	1,04 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,27 ^{ns}	2,31 ^{ns}	1,39 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,56 ^{ns}
F 1º grau	1,25 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,25 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
F 2º grau	1,56 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,37 ^{ns}	-

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os teores foliares de Ca são próximos ao limite inferior de adequação segundo Rajj e Cantarella (1997), apesar de os teores do nutriente nos solos das áreas experimentais serem altos, principalmente na USA (Tabelas 3.11 e 3.12). Esse mesmo fenômeno foi observado por Franco (2008) para o ciclo de cana-planta. No entanto, em nenhuma das áreas experimentais houve efeito significativo da adubação nitrogenada nos teores foliares de Ca, o que mostra a suficiência do nutriente encontrado no solo que não foi limitante às respostas de produtividade da cana-soca. Possivelmente, os baixos teores de Ca nas folhas-diagnóstico sejam característica do cultivar utilizado no estudo, o qual pode ser pouco exigente no nutriente.

O Ca é um nutriente estrutural que se liga a polissacarídeos na parede celular, é ativador e regulador enzimático e serve como contra-íon na absorção de outros íons (EPSTEIN; BLOOM, 2006). A resposta da cana-de-açúcar a nitrogênio é extremamente dependente da disponibilidade de Ca. Quando as células crescem, estimuladas pelo N, aumenta a superfície de contato entre elas, aumentando também a necessidade do suprimento de Ca (MALAVOLTA et al., 1997).

Tabela 3.11 - Teores de Ca na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Ca (g kg ⁻¹)				
0	2,8	2,6	2,6	2,9	2,7
50	3,0	3,1	3,0	2,4	2,9
100	2,7	2,9	2,9	2,6	2,8
150	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8
média	2,9	2,9	2,8	2,7	2,8
CV%	7	12	14	13	12
F - Blocos	8,30***	0,30 ^{ns}	3,06*	0,02 ^{ns}	1,10 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,44 ^{ns}
F - soca	1,03 ^{ns}	1,44 ^{ns}	0,51 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,55 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,23 ^{ns}
F 1º grau	0,01 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}
F 2º grau	0,03 ^{ns}	2,95 ^{ns}	1,20 ^{ns}	3,01 ^{ns}	0,36 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.12 - Teores de Ca na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Ca (g kg ⁻¹)				
0	2,0	2,0	1,8	1,9	1,9
50	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8
100	2,3	1,9	1,7	2,2	2,0
150	1,9	1,8	2,0	1,8	1,9
média	2,0	1,9	1,8	1,9	1,9
CV%	17	16	9	13	15
F - Blocos	3,80*	3,23*	8,24***	0,53 ^{ns}	0,39 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,47 ^{ns}
F - soca	1,16 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,49 ^{ns}	1,92 ^{ns}	1,14 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,07 ^{ns}
F 1º grau	0,05 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,01 ^{ns}
F 2º grau	0,84 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,78 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,19 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os teores de Mg nas folhas amostradas nas duas áreas experimentais apresentavam-se adequados. Os teores no solo também, apesar dos encontrados em subsuperfície serem baixos. Na USL não houve efeito dos tratamentos nos teores de Mg foliares, apesar da tendência de resposta para as doses de N aplicadas tanto em cana-planta, quanto em cana-soca, ser de redução linear nos teores de Mg. Nesse caso pode ter ocorrido efeito de diluição do nutriente pelo aumento da massa de material seco produzido, e a não compensação na absorção de mais nutriente. Assim, pode ter ocorrido deficiência de Mg, ou sua indisponibilização no solo, para a adequada nutrição da planta.

Essa diluição do teor de Mg na folha-diagnóstico pode ser um indicativo da diminuição da produção de clorofila, já que 10% do Mg total da folha pode estar na clorofila (MALAVOLTA et al., 1997). Além da participação do Mg na clorofila, ele tem grande participação na fisiologia da planta como ativador enzimático (MALAVOLTA et al., 1997; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Na USA houve efeito dos tratamentos com N na cana-soca nos teores de Mg das folhas amostradas, na média dos tratamentos de cana-planta e nas doses 40 e 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 3.14). Na dose de 40 kg ha⁻¹ de N, e na média dos tratamentos aplicados à cana-planta, as respostas foram quadráticas, com um máximo acúmulo de Mg nos tecidos foliares ao redor da dose de 100 kg ha⁻¹ de N na cana-soca. Os teores

no solo e nas folhas das plantas do experimento da USA foram sensivelmente superiores aos da USL, o que reafirma a hipótese de que os teores desse nutriente no solo da USL foram insuficientes para a adequada nutrição da cultura.

Tabela 3.13 - Teores de Mg na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Mg (g kg ⁻¹)				
0	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4
50	1,5	1,4	1,4	1,2	1,4
100	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3
150	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
média	1,4	1,3	1,3	1,2	1,3
CV%	10	14	13	14	13
F - Blocos	3,10*	0,14 ^{ns}	4,54**	0,02 ^{ns}	2,46 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	2,08 ^{ns}
F - soca	0,94 ^{ns}	1,33 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,80 ^{ns}	2,33 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	0,55 ^{ns}
F 1º grau	2,25 ^{ns}	2,80 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,50 ^{ns}	5,71**
F 2º grau	0,28 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,68 ^{ns}	0,24 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.14 - Teores de Mg na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Mg (g kg ⁻¹)				
0	1,6	1,4	1,4	1,5	1,4
50	1,5	1,6	1,4	1,4	1,5
100	1,7	1,6	1,4	1,7	1,6
150	1,5	1,1	1,5	1,4	1,4
média	1,5	1,4	1,4	1,5	1,5
CV%	11	10	11	8	10
F - Blocos	1,88 ^{ns}	2,92 ^{ns}	6,24**	1,04 ^{ns}	0,41 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,88 ^{ns}
F - soca	0,86 ^{ns}	8,29***	0,44 ^{ns}	4,22**	5,12***
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	2,37 ^{ns}
F 1º grau	0,04 ^{ns}	4,00 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,10 ^{ns}
F 2º grau	0,56 ^{ns}	20,01***	0,01 ^{ns}	0,73 ^{ns}	4,96**

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os teores de S encontrados nas duas áreas experimentais são baixos na superfície e altos na subsuperfície, onde o S se concentra (Tabela 3.1). Apesar disso, os teores foliares de S foram adequados na USL e na USA (Tabelas 3.15 e 3.16 respectivamente). Na USL, na média dos tratamentos de cana-planta, houve efeito significativo das doses de N aplicadas na cana-soca. Apesar de o incremento ser pouco em valor absoluto, este foi suficiente para alterar os teores foliares de S linearmente. Vale lembrar que a fonte de adubo nitrogenado utilizado na adubação da soqueira foi o sulfato de amônio, o qual apresenta 24% de enxofre. Dessa forma, quanto maior a dose de N aplicada, maior a dose de S.

No entanto, um estudo desenvolvido por Trivelin e colaboradores em 2007 (comunicação pessoal) com fontes e doses de N demonstrou que a adubação nitrogenada aumenta os teores foliares de S, mesmo quando esse nutriente não faz parte do adubo. Foram avaliados, no trabalho citado, o efeito do N da uréia (U), do cloreto de amônio (CA), do nitrato de amônio (NA) e do sulfato de amônio (SA) na produtividade e nos teores foliares de nutrientes no cultivar SP89-1115. Todos os adubos nitrogenados, com exceção da uréia, aumentaram os teores foliares de S em relação à testemunha, na seguinte ordem decrescente: SA = CA > NA = U. Os teores de S no solo desse experimento eram altos.

Tabela 3.15 - Teores de S na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	S (g kg ⁻¹)				
0	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5
50	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5
100	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
150	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6
média	1,5	1,5	1,6	1,6	1,6
CV%	6	6	8	8	7
F - Blocos	1,57 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,44 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	1,70 ^{ns}
F - soca	1,99 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,97 ^{ns}	3,79 ^{**}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,02 ^{ns}
F 1º grau	4,60 [*]	1,61 ^{ns}	3,21 ^{ns}	2,28 ^{ns}	10,99 ^{***}
F 2º grau	0,08 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,45 ^{ns}	3,52 [*]	0,01 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.16 - Teores de S na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	S (g kg ⁻¹)				
0	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5
50	1,5	1,5	1,6	1,7	1,6
100	1,6	1,7	1,6	1,9	1,7
150	1,7	1,7	1,6	1,8	1,7
média	1,6	1,6	1,6	1,7	1,6
CV%	5	5	5	7	6
F - Blocos	0,65 ^{ns}	6,04 ^{**}	0,91 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,22 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	6,09 ^{**}
F - soca	5,61 ^{**}	7,03 ^{***}	1,18 ^{ns}	3,03 [*]	10,05 ^{***}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,56 ^{ns}
F 1 ^o grau	13,23 ^{***}	17,97 ^{***}	2,45 ^{ns}	4,74 [*]	16,96 ^{***}
F 2 ^o grau	3,52 [*]	0,12 ^{ns}	0,10 ^{ns}	3,63 [*]	-

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Já na USA houve efeito significativo das doses de N na cana-planta e na cana-soca nos teores foliares de S, apesar de não haver interação entre elas (Tabela 3.16). Houve aumento linear nos teores de S das folhas-diagnóstico com as doses de N, com exceção do tratamento 80 kg ha⁻¹ de N na cana-planta. Esse fato mostra a alta dependência de S pela planta quando esta absorve mais N e incrementa sua produtividade. 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 fina 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. Esse S encontra-se, em sua maior parte, nas formas de cisteína, metionina, proteínas, coenzimas, tiamina, biotina e co-enzima A, e sua deficiência pode interferir na síntese de proteínas regulatórias, essenciais para a manutenção da atividade celular (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). Em ambas as áreas experimentais, a relação N:S variou ao redor de 13, pouco abaixo dos sugeridos por Malavolta (1980).

Na USL os teores de B no solo e nas folhas-diagnóstico se encontravam baixos (Tabelas 3.2 e 3.17). Apesar disso, não houve limitação aparente ao aumento de desenvolvimento da cultura com as doses de N, nem mesmo diluição dos teores foliares

com o aumento da produção de fitomassa seca. Franco et al. (2007), nas mesmas condições experimentais não observaram resposta da cana-planta, em produtividade ou em qualidade tecnológica, à adubação com boro.

Na USA os teores de B no solo eram médios (RAIJ et al., 1997), mas os teores foliares continuaram baixos como na USL, e sem resposta significativa de mudança de teores foliares de B com as adubações nitrogenadas, apesar de haver uma tendência de aumento na absorção do nutriente com as doses de N em cana-soca (Tabela 3.18). No entanto, os coeficientes de variação desse trabalho foram altos, o que interferiu no resultado estatístico. Outra vez pode ser atribuída ao cultivar uma menor exigência nutricional, já que os baixos teores no solo não limitaram o aumento de produtividade com a adubação nitrogenada nos dois experimentos.

O B é um nutriente de extrema importância na nutrição das plantas, e para a utilização do N pela cana-de-açúcar não é diferente. Tem papel fundamental no crescimento meristemático, no metabolismo dos carboidratos, no funcionamento das membranas celulares e nos hormônios vegetais (MALAVOLTA et al., 1997). No caso da cana-de-açúcar, o desenvolvimento de raízes, o transporte de açúcares e o metabolismo do Ca para uma adequada formação da parede celular são os papéis fundamentais do B (VITTI et al., 2006).

Tabela 3.17 - Teores de B na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	B (mg kg ⁻¹)				
0	7	6	7	7	7
50	8	7	7	8	7
100	7	7	7	6	7
150	8	7	7	7	7
média	7	7	7	7	7
CV%	20	165,5	19	17	18
F - Blocos	0,23 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,54 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,68 ^{ns}
F - soca	0,15 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,71 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	0,16 ^{ns}
F 1 ^o grau	0,09 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,64 ^{ns}
F 2 ^o grau	0,36 ^{ns}	-	0,03 ^{ns}	-	0,01 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.18 - Teores de B na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	B (mg kg ⁻¹)				
0	7	6	7	6	7
50	7	6	7	6	6
100	7	7	9	8	8
150	10	7	6	7	8
média	8	6	7	7	7
CV%	33	29	35	20	30
F - Blocos	2,55 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,21 ^{ns}	2,54 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	1,81 ^{ns}
F - soca	2,14 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,56 ^{ns}	2,48 ^{ns}	1,33 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,10 ^{ns}
F 1 ^o grau	3,86*	0,61 ^{ns}	0,03 ^{ns}	2,45 ^{ns}	3,27*
F 2 ^o grau	2,14 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,69 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os teores de Cu no solo eram médios nas duas áreas experimentais (Tabela 3.2). Apesar disso, os teores foliares de Cu, em ambas as áreas, foram baixos (Tabelas 3.19 e 3.20). Na USL houve efeito dos tratamentos de cana-planta, ou seja, houve aumento dos teores foliares de Cu com o aumento das doses de N no plantio (Tabela 3.19). Esse efeito já não foi observado para as doses de N em cana-soca. No entanto, como houve aumento de produtividade e os teores foliares não diminuíram, os teores de Cu no solo podem não ter sido limitantes à produtividade. Na USA houve efeito das doses de N na cana-planta e na cana-soca nos teores foliares de Cu da cana-soca, embora não tenha ocorrido interação entre as adubações (Tabela 3.20).

Deve-se atentar que cerca de 70% do Cu das folhas estão nos cloroplastos como proteínas complexas que participam ativamente da fotossíntese (MALAVOLTA et al., 1997). O Cu é, também, um importante ativador enzimático que participa dos processos fisiológicos de metabolismo do N pela planta.

Tabela 3.19 - Teores de Cu na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Cu (mg kg ⁻¹)				
0	5	5	6	6	6
50	5	5	6	6	6
100	5	6	6	6	6
150	6	6	6	6	6
média	5	6	6	6	6
CV%	4	7	9	7	11
F - Blocos	0,18 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,98 ^{ns}	2,14 ^{ns}	1,40 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	6,91 ^{**}
F - soca	1,06 ^{ns}	10,20 ^{***}	0,22 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,96 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,68 ^{ns}
F 1º grau	1,91 ^{ns}	17,64 ^{***}	0,39 ^{ns}	2,31 ^{ns}	3,37 [*]
F 2º grau	1,06 ^{ns}	-	0,22 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,80 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.20 - Teores de Cu na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Cu (mg kg ⁻¹)				
0	5	5	6	6	6
50	5	5	6	6	6
100	5	6	6	6	6
150	6	6	6	6	6
média	5	6	6	6	6
CV%	6	11	8	9	13
F - Blocos	1,50 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,98 ^{ns}	0,58 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	15,74 ^{***}
F - soca	4,50 ^{**}	0,67 ^{ns}	1,73 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,83 [*]
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,39 ^{ns}
F 1º grau	0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}	4,42 [*]	0,39 ^{ns}	1,82 ^{ns}
F 2º grau	2,25 ^{ns}	1,65 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,98 ^{ns}	1,34 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os teores de Fe são considerados altos no solo das duas áreas experimentais, fato que não limitou sua absorção pelas plantas as quais apresentaram teores foliares de Fe adequados (Tabelas 3.2, 3.21 e 3.22). As doses de N de cana-planta da USL incrementaram os teores foliares de Fe da cana-soca, apesar de os tratamentos de cana-soca não terem apresentado a mesma significância (Tabela 3.21). Já na USA não foi observado efeitos significativos dos tratamentos nos teores foliares de Fe da cana-

soca (Tabela 3.22). Esse aumento do teor no tecido foliar pode ser explicado pelo fato de o ferro ser o metal chave para as transformações energéticas necessárias para síntese e outros processos vitais das células (VITTI et al., 2006). Com o aumento das doses de N e estímulo ao crescimento e a disponibilidade do micronutriente no solo é normal que sua absorção fosse incrementada.

Tabela 3.21 - Teores de Fe na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Fe (mg kg ⁻¹)				
0	52	58	58	68	59
50	50	57	64	64	59
100	55	60	62	65	60
150	71	63	63	62	65
média	57	60	62	65	61
CV%	24	12	8	10	12
F - Blocos	0,10 ^{ns}	0,94 ^{ns}	2,38 ^{ns}	0,48 ^{ns}	2,54 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	6,43 ^{***}
F - soca	1,86 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,64 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,28 ^{ns}
F 1 ^o grau	3,95*	1,30 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,19 ^{ns}	3,89*
F 2 ^o grau	1,62 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,98 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.22 - Teores de Fe na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Fe (mg kg ⁻¹)				
0	66	58	63	76	65
50	62	78	69	63	68
100	67	69	62	69	67
150	64	61	65	63	63
média	65	66	65	68	66
CV%	13	25	8	12	16
F - Blocos	2,19 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,22 ^{ns}	6,95 ^{**}
F - planta	-----	-----	-----	-----	1,01 ^{ns}
F - soca	0,25 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,29 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,65 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,36 ^{ns}
F 1 ^o grau	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	3,19 ^{ns}	0,46 ^{ns}
F 2 ^o grau	0,01 ^{ns}	2,89 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,51 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

O teor de Mn no solo da USL é médio a baixo (Tabela 3.2). Possivelmente por esse motivo seu teor no tecido foliar também se apresentou abaixo do nível adequado sugerido por Raij e Cantarella (1997). Apesar disso, as doses de N aplicadas incrementaram significativamente os teores foliares de Mn e não limitaram a produção. Sendo assim, nos tratamentos mais produtivos houve aumento na absorção de Mn. O manganês atua na fotossíntese como outros micronutrientes e está envolvido na estrutura, funcionamento e multiplicação dos cloroplastos (VITTI et al., 2006). Outro papel importante do Mn na fisiologia da cana-de-açúcar e o metabolismo do N é sua participação na redução do nitrato, já que a redutase do nitrito contém Mn (MALAVOLTA et al., 1997).

Na USA, onde os teores de Mn no solo eram altos, os teores foliares apresentaram-se adequados e responderam significativamente com aumento de concentração nas folhas com as doses de N aplicadas na cana-soca (Tabela 3.24). Esse fato reafirma o aumento da absorção de Mn com a elevação das doses de adubação nitrogenada.

Tabela 3.23 - Teores de Mn na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Mn (mg kg ⁻¹)				
0	23	21	24	27	24
50	20	20	27	20	22
100	18	25	25	24	23
150	26	27	31	25	27
média	22	23	27	24	24
CV%	14	18	11	17	15
F - Blocos	1,88 ^{ns}	1,88 ^{ns}	2,15 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,98 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	3,61*
F - soca	5,27**	2,39 ^{ns}	4,26**	2,16 ^{ns}	6,96***
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,86 ^{ns}
F 1º grau	0,78 ^{ns}	5,99**	6,51**	0,03 ^{ns}	5,09**
F 2º grau	13,08***	0,69 ^{ns}	1,23 ^{ns}	4,39*	8,95***

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.24 - Teores de Mn na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Mn (mg kg ⁻¹)				
0	61	60	55	60	59
50	65	55	60	53	58
100	58	57	55	62	58
150	68	62	73	64	66
média	63	58	61	59	60
CV%	15	15	9	14	14
F - Blocos	0,96 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,31 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	0,77 ^{ns}
F - soca	0,71 ^{ns}	0,55 ^{ns}	8,96 ^{***}	1,29 ^{ns}	3,94 ^{**}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,05 ^{ns}
F 1 ^o grau	0,34 ^{ns}	0,11 ^{ns}	14,58 ^{***}	1,16 ^{ns}	5,68 ^{**}
F 2 ^o grau	0,40 ^{ns}	1,49 ^{ns}	5,46 ^{**}	1,12 ^{ns}	5,56 ^{**}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os teores de zinco nos solos eram baixos (RAIJ et al., 1997), mas, apesar desse fato, os teores foliares de Zn da plantas na USL e na USA foram adequados e muito próximos (Tabelas 3.2, 3.25 e 3.26). Não houve resposta significativa dos tratamentos com N nos teores foliares de Zn nas áreas experimentais, com exceção do tratamento com 40 kg ha⁻¹ de N aplicado à cana-planta da USL, que respondeu linearmente às doses de N em cana-soca, aumentando os teores foliares de Zn (Tabela 3.25).

Tabela 3.25 - Teores de Zn na F+1 da cana-soca, no experimento USL

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Zn (mg kg ⁻¹)				
0	13	12	14	14	13
50	13	12	15	13	13
100	13	15	15	14	14
150	13	14	16	14	14
média	13	13	15	14	14
CV%	11	8	7	6	9
F - Blocos	0,12 ^{ns}	1,39 ^{ns}	4,62 ^{**}	6,45 ^{**}	3,20 [*]
F - planta	-----	-----	-----	-----	2,95 ^{ns}
F - soca	0,03 ^{ns}	4,32 ^{**}	1,90 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,95 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	1,57 ^{ns}
F 1 ^o grau	0,01 ^{ns}	7,42 [*]	3,80 [*]	0,02 ^{ns}	3,33 ^{ns}
F 2 ^o grau	0,03 ^{ns}	1,97 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,05 ^{ns}

F - análise de variância; F 1^o grau - análise de variância da regressão linear, F 2^o grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 3.26 - Teores de Zn na F+1 da cana-soca, no experimento USA

Kg ha ⁻¹ N cana-soca	Kg ha ⁻¹ N cana-planta				média
	0	40	80	120	
	Zn (mg kg ⁻¹)				
0	13	12	12	14	13
50	12	17	13	14	14
100	13	14	13	15	14
150	13	14	13	14	13
média	13	14	13	14	14
CV%	10	30	12	9	18
F - Blocos	1,15 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,68 ^{ns}
F - planta	-----	-----	-----	-----	1,50 ^{ns}
F - soca	1,04 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,48 ^{ns}
F planta x F soca	-----	-----	-----	-----	0,67 ^{ns}
F 1º grau	0,82 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,36 ^{ns}
F 2º grau	1,47 ^{ns}	1,38 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,06 ^{ns}

F - análise de variância; F 1º grau - análise de variância da regressão linear, F 2º grau - análise de variância da regressão quadrática; ^{ns} - não significativo; ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

O Zn é fundamental para a síntese do triptofano, precursor do ácido indol-acético (AIA), aumenta os níveis de RNA nas células e participa da redução do nitrato e da síntese de aminoácidos (MALAVOLTA et al., 1997). Sendo assim é indispensável à assimilação do adubo nitrogenado e incremento da produção de fitomassa.

3.4 Conclusões

A adubação nitrogenada de cana-soca aumentou a produtividade em ambos os experimentos, não havendo interação de efeitos com a adubação nitrogenada de plantio.

No experimento USL a adubação nitrogenada de plantio incrementou a produtividade da cana-soca, principalmente nas doses de 40 e 80 kg ha⁻¹, o que não ocorreu no experimento USA

Os teores dos nutrientes N, P, K, Ca, B, Fe e Zn nas folhas-diagnóstico (F+1) colhidas na fase de máximo crescimento da cultura de cana-de-açúcar (cana-soca) não diferiram com o aumento da produtividade estimulada pela adubação nitrogenada.

A adubação nitrogenada, com sulfato de amônio, incrementou os teores de S, Cu e Mn nas folhas-diagnóstico (F+1) colhidas na fase de máximo crescimento da cultura de cana-de-açúcar (cana-soca).

Os teores do nutriente Mg nas folhas-diagnóstico (F+1) da cana-de-açúcar (cana-soca) na época de máximo desenvolvimento da cultura é dependente do teor de Mg no solo.

Não houve interação significativa das adubações nitrogenadas de cana-planta e cana-soca nos teores de macro e micronutrientes nas folhas-diagnóstico (F+1) da cana-de-açúcar (cana-soca) na época de máximo desenvolvimento da cultura.

Referências

- BOLTON, J.K.; BROWN, R.H. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. V. Response of *Panicum maximum*, *Panicum milioides* and tallfescue (*Festuca arundinaceae*) to nitrogen nutrition. **Plant Physiology**, New York, v. 66, p. 97-100, 1980.
- CESAR, M.A.A.; DELGADO, A.A.; CAMARGO, A.P. de; BISSOLI, B.M.A.; SILVA, F.C. da. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 6, p. 32-38, 1987.
- CLEMENTS, H.F.; MARTIN, S.P.; MORIGUCHI, S. Composition of sugar cane plants grow in deficiency nutrient solution. **Hawaiian Planters' Record**, Honolulu, n. 45, p. 227-239. 1941.
- DIAS, F.L.F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 1997. 64 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.
- DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 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.
- 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: Ed. Planta, 2006. 403 p.

FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; TOALIARI, J.G.; TRIVELIN, M.O.; TRIVELIN, P.C.O. Resposta da cana-de-açúcar a adubação com boro. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS NO CENA/USP, 12., 2006, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba: CENA, 2006. 1 CD-ROM.

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

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

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

_____. **Fertilizing for high yield sugarcane**. Basel: IPI, 1994. 104 p. (Bulletin, 14).

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 6, p. 189-249.

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

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

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 129-135, 2002.

PRATES, H.S.; LAVRES JUNIOR, J.; MORAES, M.F. de. O enxofre como nutriente e agente de defesa contra pragas e doenças. **Informações Agrônômicas 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. cap. 22, p. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 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. cap. 1, p.1-42. (IAC. Boletim, 100).

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

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

TASSO JÚNIOR, L.C. **Caracterização agrotecnológica de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) na região centro-norte do Estado de São Paulo**. 2007. 167 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2007.

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

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil**: respostas às questões mais freqüentes. São Paulo, 2007. 70 p.

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

4 ÍNDICES BIOMÉTRICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA) RELACIONADOS À ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

O acúmulo de fitomassa de um cultivo agrícola depende de sua interação com fatores do ambiente e essas interações podem ser entendidas por meio da análise quantitativa do crescimento. A análise de crescimento é o método padrão para avaliar a produtividade biológica de uma cultura e sua utilização na avaliação da adubação nitrogenada reveste-se de importância para o entendimento desse manejo agrícola. Pelo exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e acúmulo de fitomassa da parte aérea da cultura da cana-de-açúcar (cana-soca) em função das adubações nitrogenadas de plantio (efeito residual) e de soqueira. A análise de crescimento foi realizada em dois experimentos: um na Usina São Luiz (USL), em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, e outro na Usina Santa Adélia (USA), em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, no Estado de São Paulo. O cultivar plantado foi o SP81-3250. O delineamento experimental para o ciclo de cana-planta, para ambas as áreas experimentais foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de uma testemunha, sem adição de N-mineral, e uma dose de 120 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia. O delineamento experimental para a cana-soca foi o mesmo utilizado na cana-planta, só que as parcelas de 48 linhas foram divididas em 4 subparcelas de 12 linhas que receberam, de forma randomizada, três doses de N: 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, mais uma testemunha sem aplicação de N. As amostragens de fitomassa foram feitas durante o desenvolvimento da cana-soca por meio de biometrias. O sistema radicular também foi amostrado nos tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ de N na cana-planta e 0 e 150 kg ha⁻¹ de N na cana-soca. Os resultados mostraram que a fase de máximo crescimento da cana-soca ocorreu de novembro a abril no experimento USL, e de novembro a maio no experimento USA. O início da fase de máximo desenvolvimento e acúmulo de fitomassa coincidiu com o período entre a primavera e verão, em que a evapotranspiração real se aproximou da potencial, independentemente da época de corte no inverno. A taxa de produção de matéria seca (TPMS) variou com a adubação nitrogenada, a qual elevou as TPMS médias e máximas. A adubação nitrogenada da cana-planta interferiu no período de acúmulo de fitomassa da cana-soca, fazendo com que diminuíssem as diferenças de acúmulo entre os tratamentos com doses de N aplicadas na soqueira.

Palavras-chave: Acúmulo de fitomassa; Ureia; Sulfato de amônio; Biometria

Biometric indices of sugarcane (ratoon) in relation to nitrogen fertilization

Abstract

Phytomass accumulation in an agricultural crop depends on the crop's interaction with environmental factors. An understanding about such interactions can be achieved

by means of quantitative growth analysis. Growth analysis is the standard method employed to evaluate the biological productivity of a crop. Its use in nitrogen fertilization evaluations is important to understand this type of agricultural management. Based on what has been explained above, the objective of this study was to evaluate sugarcane (ratoon) growth and phytomass accumulation in the above-ground part as a function of nitrogen fertilizations at planting (residual effect) and during the ratoon stage. Growth analysis was performed in two experiments, one at *Usina São Luiz* (USL), on a TYPIC HAPLUDOX SOIL, and the other at *Usina Santa Adélia* (USA), on a RHODIC HAPLUDOX SOIL, in the State of São Paulo. The SP81-3250 sugarcane variety was planted. A randomized-block experimental design was adopted for the plant cane cycle, in both experiment areas, with four replicates. The treatments consisted of a control without addition of mineral N and a 120 kg ha⁻¹ N dose, in the form of urea. The same experimental design used with plant cane was adopted for ratoon, but the 48-row plots were divided into four 12-row sub-plots that received three N doses applied at random, 50, 100, or 150 kg ha⁻¹, in the form of ammonium sulfate, in addition to a control without N application. Phytomass samples were obtained over the ratoon development period by measuring biometric attributes. The root system was also sampled in the 0 and 120 kg ha⁻¹ N treatments for plant cane and in the 0 and 150 kg ha⁻¹ N treatments for ratoon. The results showed that the ratoon maximum growth stage occurred from November to April in the USL experiment, and from November to May in the USA experiment. The beginning of the maximum-development and phytomass-accumulation stages coincided with the period between Spring and Summer, in which actual evapotranspiration was near potential evapotranspiration, regardless of harvesting season in the Winter. Dry matter production rate (DMPR) varied with nitrogen fertilization, which increased the average and maximum DMPR values. Plant cane nitrogen fertilization interfered with the ratoon phytomass accumulation period, decreasing the accumulation differences between the treatments involving N doses applied to the ratoon.

Keywords: Phytomass accumulation; Urea; Ammonium sulfate; Biometry

4.1 Introdução

A cana-de-açúcar, por ser uma cultura de ciclo fotossintético C4, responde à radiação solar e temperatura com aumento na taxa de fotossíntese, desde que a disponibilidade de água, nutrientes e a concentração de O₂ e CO₂ na atmosfera não sejam limitantes (SEGATO et al., 2006). O estresse de N na cana-de-açúcar, mesmo que não se manifeste por sintomas visuais, reduzirá a atividade enzimática da Rubisco muito mais que a atividade da PEPCarboxilase. Plantas de cana-de-açúcar com conteúdo de nitrogênio que não supre suas atividades básicas de assimilação do CO₂ têm sua produção reduzida (MEINZER; ZHU, 1998).

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, e também da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, refletindo diretamente no desenvolvimento e rendimento da cultura (MALAVOLTA et al., 1997). Ainda, segundo Dillewijn (1952), a cana-soca é mais exigente em nitrogênio, em unidade de nutriente por unidade de massa produzida, que a cana-planta, assim, a cana-soca apresenta maior resposta à adubação nitrogenada em relação à cana-planta.

Nesse contexto, 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. Esta análise é realizada por meio de avaliações seqüenciais do acúmulo de fitomassa ou de índices fisiológicos dela obtidos (GAVA et al., 2001). A taxa de produção de matéria seca (TPMS) é o índice que avalia o crescimento do vegetal relacionando a quantidade de fitomassa seca acumulada, em razão da área de solo, por unidade de tempo (LUCCHESI, 1984), e não requer conhecimento da área foliar da planta para sua avaliação.

O acúmulo de fitomassa depende da interação da cultura com o ambiente e essas interações podem ser entendidas por meio da análise quantitativa do crescimento (MACHADO et al., 1982). A análise de crescimento é o método padrão para avaliar a produtividade biológica de uma cultura e sua utilização na avaliação da adubação nitrogenada é importante para o entendimento desse manejo agrícola (MAGALHÃES, 1979).

Pelo exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e acúmulo de fitomassa da parte aérea da cultura da cana-de-açúcar (cana-soca) em função das adubações nitrogenadas de plantio (efeito residual) e de soqueira.

4.2 Material e métodos

A análise de crescimento foi realizada em dois experimentos, um na Usina São Luiz (USL), em Pirassununga-SP, e outro na Usina Santa Adélia (USA), em Jaboticabal-SP, as quais são descritas a seguir.

No experimento USL foi plantado o cultivar SP81-3250 e o solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (EMBRAPA, 1999), de textura média. As operações no preparo do solo realizadas antes do plantio foram: gradeação, subsolagem, gradeação para incorporação de calcário dolomítico e gesso agrícola, ambos na dose de 2 t ha^{-1} cada, calculadas com base na análise de terra (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e gradeação leve para o nivelamento do solo antes da sulcação. A instalação do experimento ocorreu entre 21 e 24 de fevereiro de 2005 e a colheita da cana-planta foi realizada no dia 24 de junho de 2006.

No experimento USA foi plantada o mesmo cultivar SP81-3250 e o solo da área classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (EMBRAPA, 1999), textura média. As operações de reforma do canavial na USA foram: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 4 L ha^{-1} do herbicida glifosato; aração profunda e incorporação dos resíduos vegetais e de 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico ao solo e gradeação para o nivelamento do solo antes da sulcação e plantio. O experimento foi instalado entre 4 e 8 de abril de 2005 e a colheita da cana-planta foi realizada no dia 26 de julho de 2006.

O delineamento experimental para o ciclo de cana-planta, para ambas as áreas experimentais foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de uma testemunha (T1), sem adição de N-mineral, e três doses de N na forma de uréia: 40 (T2), 80 (T3) e 120 (T4) kg ha^{-1} de N, aplicadas no sulco de plantio. As parcelas foram distribuídas em 48 sulcos de 15 m de comprimento cada. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado com 30 mudas de canas (colmos) em 15m de sulco, cruzando-se os 'pés' com as pontas das mudas, o que proporcionou uma distribuição de 17 a 20 gemas por metro linear de sulco, que foram cobertas mecanicamente com, aproximadamente, 0,1 m de solo. Foi aplicado manualmente, no fundo dos sulcos de plantio, cloreto de potássio e o superfosfato simples nas doses de 120 kg ha^{-1} de K_2O e de P_2O_5 respectivamente. As doses de N-uréia também foram aplicadas manualmente no sulco de plantio e incorporadas ao solo.

O delineamento experimental para a cana-soca foi o mesmo utilizado na cana-planta, só que as parcelas de 48 linhas foram divididas em 4 subparcelas de 12 linhas que receberam, de forma randomizada, três doses de N: 50, 100 e 150 kg ha^{-1} na forma

de sulfato de amônio, aplicadas manualmente sobre a palha residual da colheita e a 0,2 m da linha de cana-de-açúcar, mais uma testemunha sem aplicação de N. Foram aplicados de forma geral nos experimentos 150 kg ha⁻¹ de K₂O e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no experimento da Usina São Luiz, o qual se mostrou com baixo teor de P no solo, diagnosticados pela análise de terra realizada após a colheita da cana-planta.

Após a colheita da cana-planta dos experimentos foram realizadas amostragens de solo em todas as subparcelas, por tratamento de cana-planta, antes da adubação da cana-soca, de 0,00-0,25m e de 0,25-0,50m, com o uso de sondas amostradoras de terra. As características químicas dos solos após o corte da cana-planta são apresentadas nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Tabela 4.1 - Análise química de terra do experimento USL após a colheita da cana-planta

prof. m	tratamento cana-planta	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	S.B.	CTC	V %	S mg dm ⁻³
0,00-0,25	T1	21	5,9	6	1,7	33	8	15	42,7	57,9	74	2
	T2	21	5,9	5	1,8	34	9	15	44,6	59,4	75	1
	T3	21	5,9	6	1,9	35	9	15	44,9	59,7	75	2
	T4	22	5,9	6	2,1	38	9	15	49,4	64,6	76	3
0,25-0,50	T1	16	5,1	1	1,5	13	4	20	18,2	37,9	48	13
	T2	16	5,2	2	1,4	15	4	20	20,4	40,1	50	11
	T3	16	5,2	2	1,4	14	4	19	19,4	38,2	51	9
	T4	16	5,1	2	1,5	13	4	20	18,2	38,1	48	16

Tabela 4.2 - Análise química de terra do experimento USA após a colheita da cana-planta

prof. m	tratamento cana-planta	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	S.B.	CTC	V %	S mg dm ⁻³
0,00-0,25	T1	21	5,4	13	2,9	20	11	23	33,6	56,8	60	2
	T2	21	5,5	16	3,1	24	13	21	39,1	59,9	65	2
	T3	22	5,4	15	3,4	20	11	22	34,9	57,1	61	3
	T4	22	5,5	15	3,3	21	12	21	35,8	57,1	63	2
0,25-0,50	T1	16	4,5	6	2,2	14	4	35	20,2	55,2	35	25
	T2	17	4,5	6	2,3	8	3	30	13,8	43,2	32	21
	T3	16	4,6	5	2,4	8	3	30	13,4	43,0	31	23
	T4	16	4,5	8	2,0	8	4	30	13,2	43,4	31	20

Para estimar o crescimento e acúmulo de fitomassa da parte aérea da cana-soca, durante o período experimental (361 dias na USL e 360 dias na USA), foi utilizada a função logística:

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

Significando: Y - fitomassa seca da parte aérea da cana-planta em Mg ha⁻¹; DAC - dias após o corte da cana-de-açúcar; Y_{max} - fitomassa seca máxima produzida no período.

As constantes A e B da função foram estimadas segundo Zullo e Arruda (1987). Assim, foram obtidas quatro equações que descreveram a variação, no tempo, da fitomassa seca da parte aérea da cana-soca. O índice fisiológico utilizado para avaliar possíveis diferenças entre os tratamentos foi a taxa de produção de matéria seca (TPMS) obtida pela manipulação das funções de ajuste, segundo modelo descrito por Lucchesi (1984).

As avaliações biométricas da fitomassa, no ciclo de cana-soca, foram realizadas nos dias 5 de dezembro de 2006 (163 DAC), 1 de março (249 DAC), 17 de maio (326 DAC) e 19 de junho (361 DAC) de 2007 no experimento USL; e nos dias 18 de dezembro de 2006 (157 DAC), 8 de março (237 DAC), 10 de maio (300 DAC) e 10 de julho (362 DAC) de 2007 no experimento USA. As últimas datas, em cada experimento, coincidem com a colheita da cana-de-açúcar (cana-soca). A colheita da cana-planta é considerada o momento inicial do desenvolvimento da cultura que a produtividade é igual a zero, e a colheita da cana-soca é tida como uma quarta época de amostragem. Com esses dados foram elaboradas as curvas de crescimento da cana-soca nos tratamentos com níveis de adubação nitrogenada na cana-planta iguais a 0 e 120 kg ha⁻¹ de N e na cana-soca iguais a 0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N. Como nas biometrias também se estimou a massa do sistema radicular nos tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ de N na cana-planta e 0 e 150 kg ha⁻¹ de N na cana-soca, foi possível fazer o acompanhamento do desenvolvimento do sistema radicular.

Nas avaliações biométricas da parte aérea da cana-de-açúcar, no ciclo de cana-soca, as determinações da massa natural nesses determinados estádios de crescimento foram realizadas colhendo-se toda a parte aérea das plantas em dois metros de linha em cada parcela amostrada. Nessas avaliações também foram realizadas as contagens do número de perfilhos em três segmentos de linhas de cana

de 10 m (30 m) de cana-de-açúcar localizadas no eito de colheita de cada parcela. Dessa forma obteve-se a massa média de cada colmo, pela divisão da massa de colmos cortados em 2 m pelo número de colmos nesse espaço. Com o levantamento de colmos realizado pôde-se estimar o número destes por hectare, o qual multiplicado pela massa média dos perfilhos forneceu as produtividades de fitomassa úmida e seca.

A massa de todo o material vegetal de cada repetição (folhas secas, ponteiros e colmos) foi obtida no campo, por meio de pesagem em balança eletrônica marca Micheletti com precisão de 20 g e carga máxima de 100 kg. Após a pesagem, o material vegetal de cada amostra foi triturado ainda no campo, em picadora modelo PN PLUS 2000 com motor a diesel de 5HP, e a seguir subamostrado. As subamostras trituradas foram acondicionadas em sacos plásticos bem fechados, a fim de que o material não perdesse umidade e pudesse ser transportado ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. No laboratório as subamostras foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,01g) antes e após secagem até obtenção de peso constante em estufa ventilada a 65°C, para determinação da umidade do material.

As amostragens de raízes, tanto nas biometrias, quanto na colheita, foram obtidas com sonda amostradora de raízes (55 mm de diâmetro interno). A sondagem foi feita de linha a linha, de 0,0 a 0,2; 0,2 a 0,4 e de 0,4 a 0,6 m de profundidade.

As amostras de solo e raízes coletadas em cada parcela foram separadas no campo, por peneiramento da amostra em peneira de malha 2 mm, separando-se manualmente as raízes do solo peneiradas no campo. Nas parcelas aonde foram amostradas raízes por sondagem na colheita também foram amostrados rizomas, colhidos em um metro de linha de cana-de-açúcar, os quais foram separados de solo e de raízes no campo. As raízes e os rizomas foram acondicionados em sacos plásticos adequadamente identificados e transportados ao CENA/USP, em Piracicaba, onde as amostras foram lavadas em água corrente e secas em estufa ventilada a 65°C, com posterior determinação das massas de material seco de raízes e rizomas.

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico (Figuras 4.1 e 4.2) foram utilizados dados de evapotranspiração da cultura e pluviométricos coletados com estações meteorológicas automatizadas Campbell nas áreas experimentais e

calculados com o uso de planilhas eletrônicas disponibilizadas pelo Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP (ROLIM et al., 1998).

Os resultados foram submetidos a análises de variância, utilizando o teste F ao nível de 90% de confiança. Para as variáveis que sofreram efeito significativo dos tratamentos foram feitas análises de regressão polinomial e as médias entre os tratamentos 0 e 120 kg ha⁻¹ e entre as biometrias foram comparadas pelo teste de Tukey a 10% de probabilidade.

4.3 Resultados e discussões

Nenhum dos resultados da caracterização química de terra, após a colheita da cana-planta, nos USL e USA (Tabelas 4.1 e 4.2) demonstraram diferença significativa entre os tratamentos, nem mesmo entre testemunha e doses de nitrogênio. Esse fato mostra que a resposta aos tratamentos de cana-soca, se ocorrer, não terá influência de diferenças na fertilidade do solo, ao menos em relação aos atributos avaliados.

A distribuição de chuvas, no ciclo da cana-soca, foi semelhante nos dois experimentos (Figuras 4.1 e 4.2). As precipitações pluviais totalizaram 1510 e 1430 mm na USL e USA, respectivamente, sendo as maiores pluviosidades concentradas no verão que é o período de máximo crescimento da cana-de-açúcar.

Normalmente, a curva hipotética de crescimento das plantas é composta por três fases de ontogênese (MAGALHÃES, 1979). Para a cana-de-açúcar essas três fases ficam perfeitamente caracterizadas em uma fase inicial de lento crescimento; uma segunda fase de rápido crescimento em que 70 a 80% de toda fitomassa seca é acumulada; e uma última fase de lento acúmulo de massa (MACHADO, 1987).

As evapotranspirações potencial e real também seguiram os mesmos padrões para os dois experimentos, sendo bem semelhantes no período de outubro de 2006 a março de 2007 (Figuras 4.1 e 4.2). Quando a evapotranspiração real se próxima da potencial as condições climáticas para o crescimento são otimizadas e favorecem o acúmulo de fitomassa, motivo pelo qual se pode considerar o período como o de máximo crescimento da cana-de-açúcar.

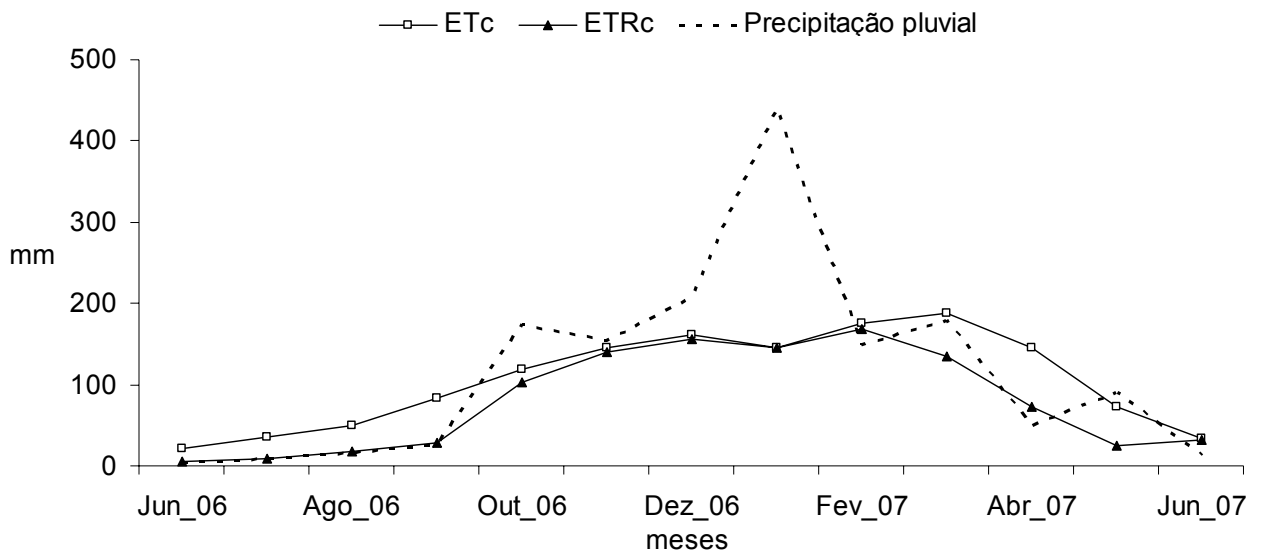


Figura 4.1 - Balanço hídrico climatológico do experimento USL no ciclo de cana-soca. ETC: evapotranspiração potencial da cultura; ETRc: evapotranspiração real da cultura

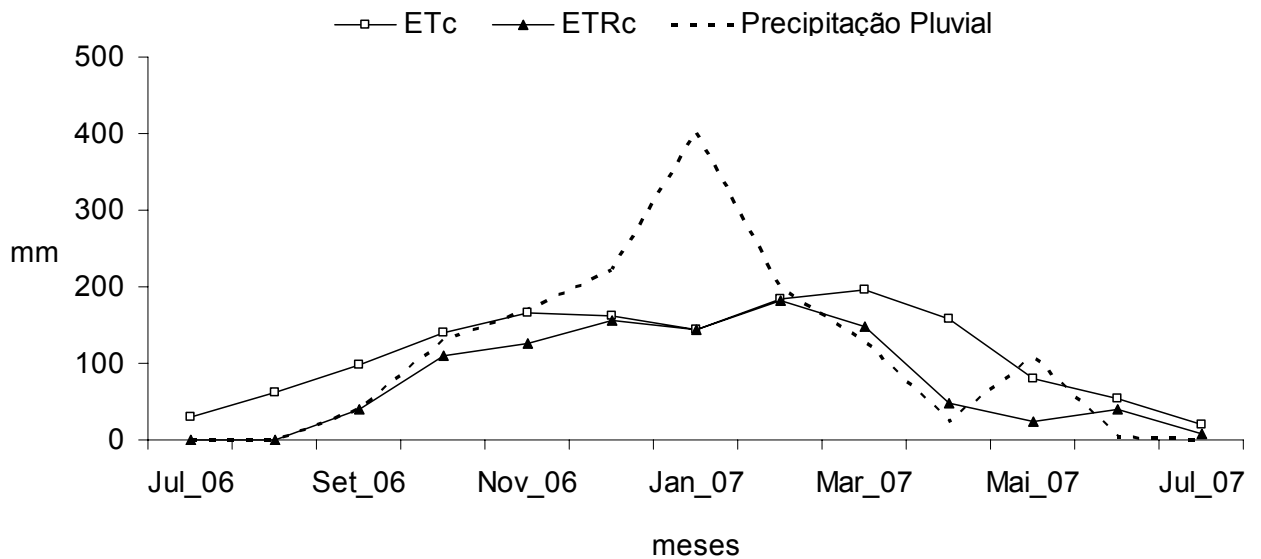


Figura 4.2 - Balanço hídrico climatológico do experimento USA no ciclo de cana-soca. ETC: evapotranspiração potencial da cultura; ETRc: evapotranspiração real da cultura

A evapotranspiração real foi muito semelhante entre USL (1036 mm) e USA (1026 mm). A evapotranspiração real atingiu os maiores valores, variando de 5,0 a 5,2 mm dia⁻¹, na fase de máximo crescimento, ao passo que nas fases inicial e final variaram de 1,2 e 1,9 mm dia⁻¹. A evapotranspiração potencial máxima da cultura foi, respectivamente, de 5,5 a 5,7 mm dia⁻¹ na USL e na USA. O déficit hídrico total foi de 342 e 471 mm, respectivamente, na USL e na USA, concentrando-se nas fases de crescimento inicial e de maturação, sendo pequeno na fase de máximo crescimento.

Os valores, em fitomassa seca, utilizados na função logística sobre o acúmulo nos experimentos Usinas São Luiz (USL) e Santa Adélia (USA), encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4.3 e 4.4.

Observa-se nas tabelas que, ao longo das amostragens, não houve diferença na produção de fitomassa entre as doses 0 e 120 kg ha⁻¹ de N de plantio, consideradas todas as doses de N da cana-soca. No entanto, a fitomassa sempre aumentou durante a realização das biometrias, nos dois experimentos, mostrando que o máximo da produção se deu na última amostragem. Para algumas das épocas também foi observado efeito significativo das doses de N aplicadas no ciclo da cana-soca (Tabelas 4.3 e 4.4).

Tabela 4.3 - Produção de fitomassa seca de cana-de-açúcar acumulada na parte aérea (ponteiro, folha seca e colmos) ao longo de um ciclo agrícola de cana-soca, no experimento USL

Tratamentos Doses de N cana-soca (kg ha ⁻¹)	Dezembro/06		Março/07		Maio/07		Junho/07	
	0	120	0	120	0	120	0	120
	cana-planta (kg ha ⁻¹)							
	Mg ha ⁻¹							
0	2,95	1,47	13,35	10,97	22,90	21,10	29,38	28,47
50	2,08	2,58	13,61	13,49	21,69	20,09	27,63	26,49
100	2,69	3,06	15,68	14,60	24,86	24,27	31,54	27,41
150	2,86	2,13	14,62	14,69	24,85	23,70	33,86	30,05
Média	2,64 D	2,31 D	14,31 C	13,44 C	23,57 B	22,29 B	30,60 A	28,10 A
CV (%)	28	33	13	13	21	14	21	8
F-doses	0,043 ^{ns}	7,036 ^{**}	1,863 ^{ns}	10,54 ^{**}	0,651 ^{ns}	3,102 ^{ns}	1,416 ^{ns}	4,148 [*]

Letras maiúsculas comparam valores nas linhas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F-doses: análise de variância; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 4.4 - Produção de fitomassa seca de cana-de-açúcar acumulada na parte aérea (ponteiro, folha seca e colmos) ao longo de um ciclo agrícola de cana-soca, no experimento USA

Tratamentos Doses de N cana-soca (kg ha ⁻¹)	Dezembro/06		Março/07		Maio/07		Junho/07	
	0	120	0	120	0	120	0	120
	cana-planta (kg ha ⁻¹)							
	-----Mg ha ⁻¹ -----							
0	5,50	8,50	20,30	18,90	27,83	35,55	39,36	45,06
50	8,20	8,15	20,05	20,8	28,95	29,45	37,83	40,09
100	9,73	10,40	20,63	22,53	34,85	27,60	44,63	38,33
150	9,96	6,45	22,60	18,25	29,88	26,60	40,50	41,35
Média	8,34 D	8,38 D	20,90 C	20,12 C	30,4 B	29,80 B	40,58A	41,21 A
CV (%)	25	22	14	9	11	12	22	25
F-doses	10,35 ^{ns}	3,885 [*]	1,3558 ^{ns}	11,621 ^{***}	2,398 ^{ns}	12,12 ^{***}	1,347 ^{ns}	0,3111 ^{ns}

Letras maiúsculas comparam valores nas linhas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F-doses: análise de variância; ^{ns} - não significativo; ^{***}, ^{**}, ^{*} - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente.

Os valores em massa de material seco das raízes amostradas por sondagem nas épocas em que se realizou as biometrias dos experimentos USL e USA, encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4.5 e 4.6.

Tabela 4.5 - Produção de massa de material seco de raízes de cana-de-açúcar ao longo de um ciclo agrícola de cana-soca no experimento USL

Tratamentos Doses de N cana-soca (kg ha ⁻¹)	Junho/06		Dezembro/06		Março/07		Maio/07		Junho/07	
	0	120	0	120	0	120	0	120	0	120
	cana-planta (kg ha ⁻¹)									
	-----Mg ha ⁻¹ -----									
0	1,86	1,42	2,72	1,78	1,46	1,53	1,50	1,55	3,40	2,06
150	1,73	1,50	3,24	2,20	1,78	1,96	1,95	1,54	4,05	2,07
Média	1,80Ab	1,47Aa	2,98Aa	1,99Ba	1,62Ab	1,75Aa	1,72Ab	1,54Aa	3,72Aa	2,06Ba

Letras maiúsculas comparam valores nas linhas, dentro da mesma época, e letras minúsculas comparam valores nas linhas para a mesma dose de N no plantio, entre as épocas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 4.6 - Produção de massa de material seco de raízes de cana-de-açúcar ao longo de um ciclo agrícola de cana-soca no experimento USA

Tratamentos Doses de N cana-soca (kg ha ⁻¹)	Junho/06		Dezembro/06		Março/07		Maio/07		Junho/07	
	0	120	0	120	0	120	0	120	0	120
	cana-planta (kg ha ⁻¹)									
	-----Mg ha ⁻¹ -----									
0	1,61	1,71	1,99	1,83	2,11	2,26	3,00	3,75	1,73	2,13
150	2,79	2,29	1,68	2,35	1,35	2,16	2,54	2,56	2,11	2,16
Média	2,20ab	1,99b	1,84b	2,09b	1,73b	2,21b	2,77a	3,16a	1,92b	2,15b

Letras minúsculas comparam valores nas linhas para a mesma dose de N no plantio entre as épocas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o sistema radicular da cana-soca, nas duas áreas experimentais, observa-se uma variação da fitomassa ao longo das amostragens, inclusive com influência das doses de N. Essa variação se dá em função da disponibilidade de água no solo e, conseqüentemente, pela morte de certa parte das raízes e pelos fluxos de emissão de novas raízes (FARONI; TRIVELIN, 2006; OTTO, 2007). Por esse motivo, e devido o padrão de desenvolvimento radicular não se apresentar como uma curva característica sigmoidal, como ocorre para a parte aérea da cana-de-açúcar, os índices biométricos não foram avaliados para raízes, apesar de essas terem sido quantificadas (Tabelas 4.5 e 4.6).

4.3.1 Experimento USL

Utilizando a função logística descrita anteriormente, foram calculados os acúmulos de fitomassa seca da parte aérea da cana-soca (Figuras 4.3 e 4.4) e o índice fisiológico TPMS (Figuras 4.5 e 4.6) separadamente para a testemunha e a dose de 120 kg ha⁻¹ de N no plantio.

O acúmulo de fitomassa seca da parte aérea, para todos os tratamentos, ajustaram-se à função sigmóide (SILVEIRA, 1985). Outros autores também confirmaram esse mesmo comportamento sigmóide de crescimento da cana-soca (ALVAREZ; CASTRO, 1999; GAVA et al., 2001; FRANCO, 2008) com algumas variações no tempo de cada fase em função das diferentes condições climáticas em que os estudos foram realizados.

A primeira fase de desenvolvimento ocorreu de 0 a 165 DAC, a segunda fase de 166 a 330 DAC e a fase final de 331 a 361 DAC. Durante a segunda fase, a de máximo crescimento, foi acumulado na média dos tratamentos por volta de 22 Mg ha⁻¹ de fitomassa seca, o que representou 86% da fitomassa total produzida em um período de 165 dias, que correspondeu a apenas 46% do ciclo total da cana-soca. Essa fase coincidiu com a época de máxima pluviosidade, em que a evapotranspiração real se aproxima da potencial (Figura 4.1).

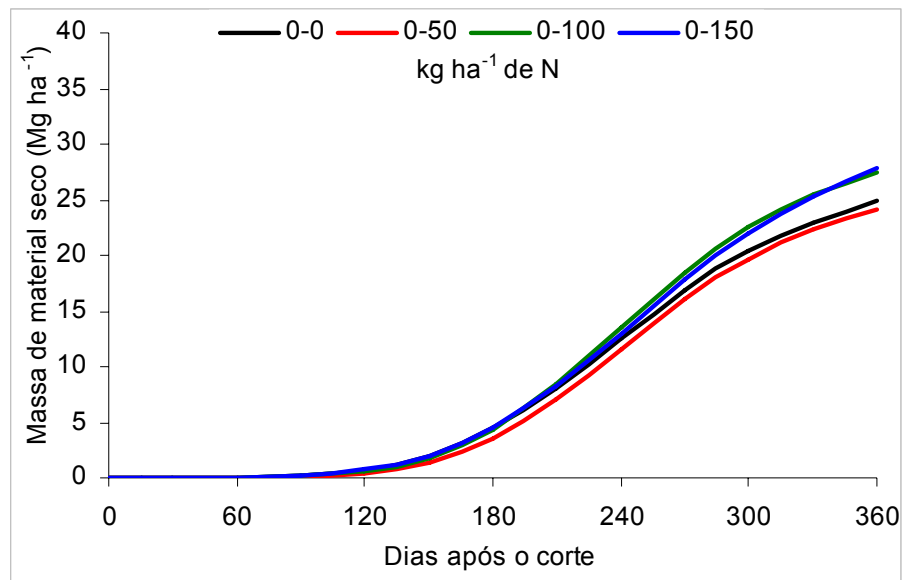


Figura 4.3 - Acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cana-soca, em diferentes períodos de desenvolvimento, pelo ajuste da função logística, para as doses de N aplicadas na cana-soca associada ao tratamento 0 kg ha⁻¹ de N (testemunha) no plantio, no experimento USL

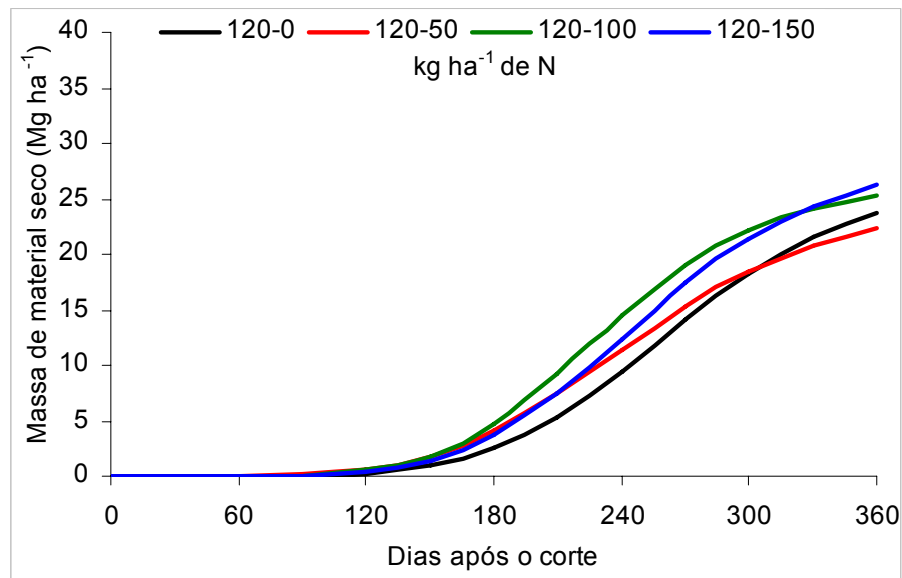


Figura 4.4 - Acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cana-soca, em diferentes períodos de desenvolvimento, pelo ajuste da função logística, para as doses de N aplicadas na cana-soca associada ao tratamento 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, no experimento USL

Franco (2008), avaliando o efeito de doses de N no ciclo da cana-planta, reafirmou que o segundo estágio de desenvolvimento é o de maior acúmulo de fitomassa pela cana-de-açúcar considerado todos os tratamentos, variando, em média, de 78% a 80%

do total acumulado. Este estágio apresentou rápido crescimento devido, sobretudo, ao início da formação 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. A segunda fase de desenvolvimento da cana-soca foi mais concentrada em função de seu menor ciclo de desenvolvimento em relação à cana-planta. Franco (2008) também comentou que a taxa de produção de matéria seca (TPMS) variou com a dose de N, evidenciando resposta da cana-planta à adubação nitrogenada.

Para os tratamentos de cana-soca aplicados à testemunha da cana-planta (0 kg ha^{-1} de N no plantio), o acúmulo de fitomassa seca na parte aérea demonstrou influência positiva das doses de adubação nitrogenada de soqueira a partir dos 240 DAC, em relação à testemunha. A dose de 50 kg ha^{-1} de N propiciou um acúmulo de fitomassa inferior ao da testemunha a partir dos 120 DAC, até próximo a colheita. As doses de 100 e 150 kg ha^{-1} de N se diferenciaram da de 50 kg ha^{-1} a partir dos 120 DAC e produziram, respectivamente, $2,5$ e $2,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de fitomassa seca a mais que a testemunha no período experimental (Figura 4.3). Essas massas, considerando como 75% a umidade média deste material, corresponderam a um diferencial maior de $10,0$ e $11,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de fitomassa natural para T3 e T4 respectivamente.

Para a dose 120 kg ha^{-1} de N no plantio, o acúmulo de fitomassa seca na parte aérea se diferenciou da testemunha pelo modelo matemático de análise do crescimento, o que difere da análise estatística dos resultados (Tabelas 4.3 e 4.4). A partir dos 150 DAC iniciou-se a diferenciação de comportamento das plantas de cada tratamento aplicado à cana-soca. A partir deste estágio as parcelas que não receberam adubação nitrogenada na cana-soca passaram a produzir menos que as demais, até próximo aos 310 DAC quando superou a produção da dose 50 kg ha^{-1} de N. Nesse período também se igualaram as produções das duas maiores doses de N que se diferenciaram das demais por volta dos 210 DAC, as quais foram muito semelhantes até a colheita (360 DAC). As doses de 100 e 150 kg ha^{-1} de N foram superiores a de 50 kg ha^{-1} , a menos produtiva na ocasião da colheita, e produziram em relação a esta, respectivamente, $1,5$ e $2,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de fitomassa seca a mais (Figura 4.4). Essas massas, considerando a umidade média do material de 75%, corresponderam a $6,1$ e $9,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ de fitomassa natural para T3 e T4 respectivamente.

A TPMS máxima dos tratamentos de cana-soca (Figura 4.5), nas parcelas testemunhas no plantio, ocorreu por volta dos 250 DAC, na segunda quinzena de fevereiro de 2007, sendo que o tratamento T3 apresentou a maior TPMS máxima, $17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A TPMS média variou pouco com as doses de N, de $6,2 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T2 a $7,1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ T4, ou seja, a maior dose de N incrementou a produção diária de massa seca em 1 grama por metro quadrado.

Gava et al. (2001) obtiveram, na região de Piracicaba-SP, TPMS média de $9 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com máximo de $20 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ aos 135 DAC com o cultivar SP80-1842 que estava na quarta soqueira. Os valores encontrados pelos autores são superiores pela maior produtividade das plantas do experimento e a precocidade da fase de maior acúmulo de TPMS deveu-se ao corte da cultura mais próximo ao período de início das chuvas (outubro de 1997).

A TPMS máxima dos tratamentos de cana-soca (Figura 4.6), nas parcelas com dose 120 kg ha^{-1} de N no plantio, apresentou padrões diferentes para todas as doses de N aplicadas na cana-soca. A TPMS máxima ocorreu aos 270 DAC para T1, aos 240 DAC para T2 e T3, e aos 250 DAC para T4. Esse período de 240 a 270 DAC correspondeu a segunda quinzena de fevereiro e a primeira de março de 2007, sendo que o tratamento T3 apresentou a maior TPMS máxima, $17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Este comportamento foi semelhante ao anteriormente citado para testemunha, sem N no plantio. A TPMS média também variou pouco com as doses de N, de $5,8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T2 a $6,7 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T4, ou seja, a maior dose de N incrementou a produção diária de massa seca em 1 grama por metro quadrado.

O comportamento das doses de N na cana-soca, para ambas as doses de N de cana-planta, foram semelhantes, no entanto, com uma ligeira vantagem produtiva para as doses 100 e 150 kg ha^{-1} de N na cana-soca, sempre com maiores TPMS.

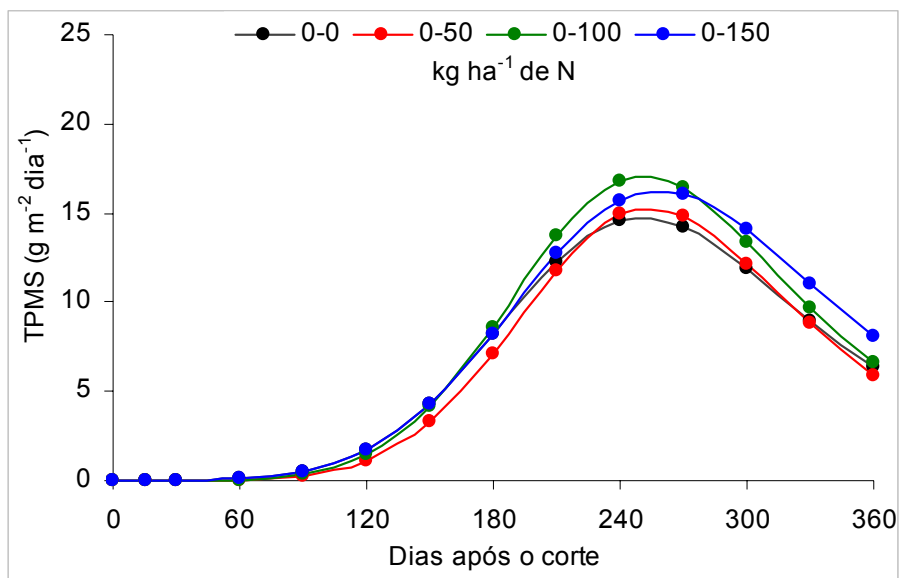


Figura 4.5 - Taxas de produção de matéria seca (TPMS) da parte aérea da cana-soca em diferentes períodos de desenvolvimento para as doses de N aplicadas associadas ao tratamento 0 kg ha⁻¹ de N no plantio, no experimento USL

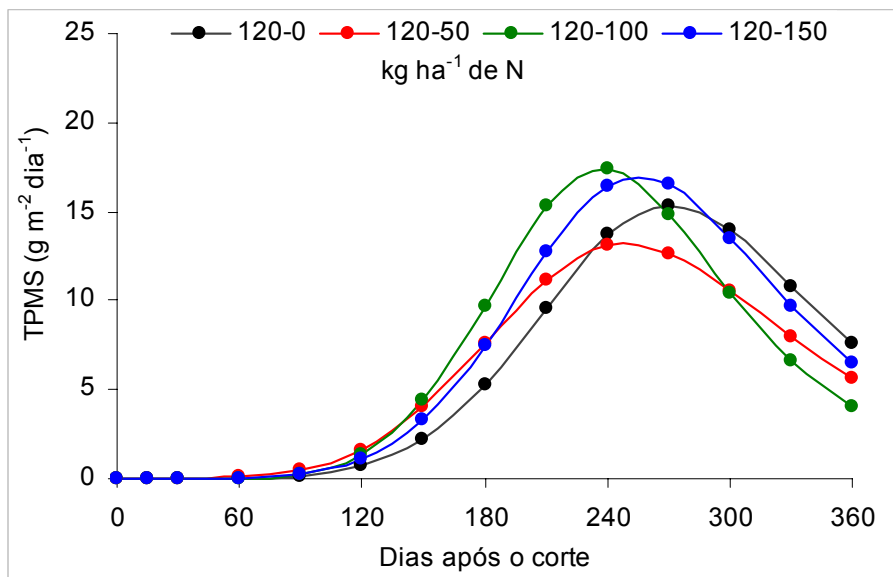


Figura 4.6 - Taxas de produção de matéria seca (TPMS) da parte aérea da cana-soca em diferentes períodos de desenvolvimento associadas às doses de N aplicadas nas parcelas de dose 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, no experimento USL

4.3.2 Experimento USA

Foram ajustados os dados de acúmulos de fitomassa seca da parte aérea da cana-planta (Figuras 4.7 e 4.8), bem como o índice fisiológico TPMS (Figuras 4.9 e 4.10). O acúmulo de fitomassa seca da parte aérea, para todos os tratamentos, também apresentou forma sigmóide como no experimento da USL (SILVEIRA, 1985). No entanto, a primeira fase de desenvolvimento na USA ocorreu com menos tempo, no período de 0 a 120 DAC, já que o plantio na USA ocorreu 38 dias após o plantio na USL, diferença de tempo que também ocorreu na colheita da cana-planta, sendo o experimento USL colhido no início de junho e o USA na segunda quinzena de julho. Essa redução no período inicial de desenvolvimento da USA ocorreu pelo início das chuvas, que foi praticamente igual ao da USL, e pelo aumento da evapotranspiração e produção de fitomassa (Figura 4.2). A fase de máximo crescimento se deu de 121 a 315 DAC, na mesma época de início da mesma fase na USL, e a fase final de 316 a 362 DAC.

Durante a segunda fase foi acumulado, na média dos tratamentos, por volta de 27 Mg ha⁻¹ de fitomassa seca, o que representou 79% da fitomassa total produzida em um período de 195 dias, correspondendo a apenas 54% do ciclo total da cana-soca na USA. Essa fase coincide com a época de máxima precipitação pluvial, em que a evapotranspiração real se aproximou da potencial (Figura 4.2).

Para a testemunha (0 kg ha⁻¹ de N no plantio), o acúmulo de fitomassa seca na parte aérea demonstrou influência positiva das doses de adubação nitrogenada já a partir dos 60 DAC, em relação à testemunha. A testemunha (T1) só se igualou à dose de 50 kg ha⁻¹ de N (T2) aos 270 DAC, mas voltou a ser inferior na colheita. A dose que mais se diferenciou das demais foi a de 100 kg ha⁻¹ de N (T3). A partir dos 210 DAC ela passou a produzir mais, inclusive em comparação com a maior dose de N, 150 kg ha⁻¹. Em comparação com a testemunha ela produziu 6,6 Mg ha⁻¹ de fitomassa seca a mais que a testemunha no período experimental (Figura 4.7). Essa massa, considerando a umidade média deste material de 75%, correspondeu a 26,6 Mg ha⁻¹ de fitomassa natural.

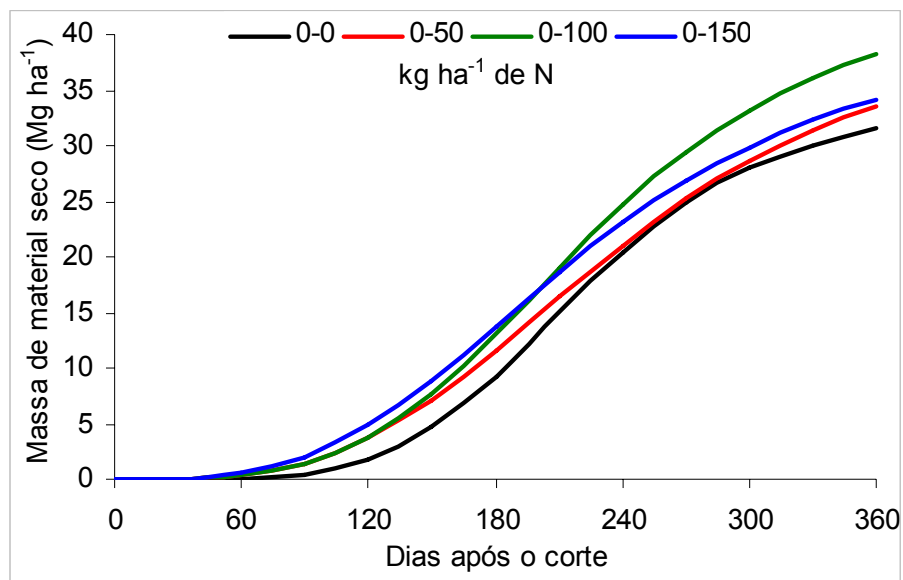


Figura 4.7 - Acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cana-soca, em diferentes períodos de desenvolvimento, pelo ajuste da função logística, para as doses de N aplicadas na cana-soca associado a dose 0 kg ha⁻¹ (testemunha) de N no plantio, no experimento da USA.

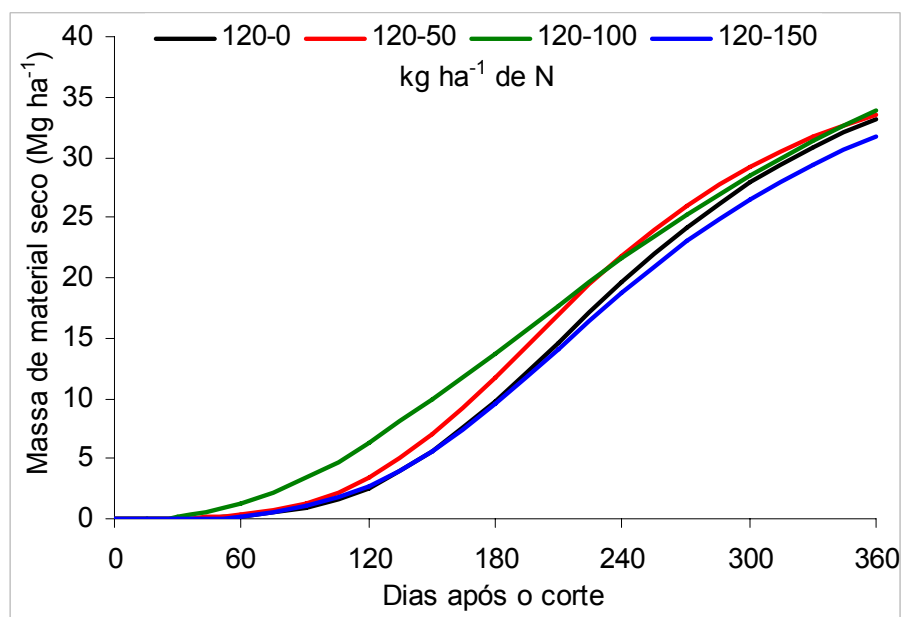


Figura 4.8 - Acúmulo de fitomassa seca da parte aérea da cana-soca, em diferentes períodos de desenvolvimento, pelo ajuste da função logística, para as doses de N aplicadas na cana-soca associado a dose de 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, no experimento da USA

Para a dose 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, o acúmulo de fitomassa seca na parte aérea se diferenciou da testemunha da cana-soca, como ocorreu na USL. A adubação

nitrogenada no plantio parecer ter o efeito de diminuir a ação das doses de N aplicadas à cana-soca, aproximando as produções finais, o que fica mais evidente na USA. Com a dose de 100 kg ha^{-1} de N, a cana-soca se desenvolveu prematuramente às outras, mas por volta dos 300 DAC ela passou a se igualar aos outros tratamentos. Outro fato interessante ocorrido nessa avaliação foi que a maior dose de N na cana-soca (T4) sempre produziu menos, inclusive em relação à testemunha a partir dos 180 DAC. As produções finais dos tratamentos variaram pouco, de 32 a 34 Mg ha^{-1} de fitomassa seca (Figura 4.8).

Segundo Monteith (1978), em geral, há uma estreita correlação entre produção e a duração do período de crescimento, e plantas com metabolismo do tipo C4 apresentam altas TPMS médias. Portanto, a maior produtividade da cana-de-açúcar se deve, em parte, ao seu longo período de crescimento. Com essas observações explica-se o maior acúmulo porcentual de fitomassa seca da USA na fase de máximo desenvolvimento, em relação à USL. Contudo, pode-se inferir que canaviais cortados no período seco do ano podem não diferir daqueles cortados no início da estação chuvosa, já que estes terão adiantada e alongada sua fase de máximo crescimento. Porém, ficam mais susceptíveis a períodos de estresse hídrico na fase de maior TPMS.

A TPMS máxima dos tratamentos de cana-soca (Figura 4.9), nas parcelas testemunha de plantio, ocorreu por volta dos 210 DAC, mais precocemente que no experimento USL (250 DAC), mas na mesma época do ano, na segunda quinzena de fevereiro de 2007, sendo que o tratamento T3 apresentou maior TPMS máxima, $20 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A TPMS máxima da USL foi menor, o que comprova o maior acúmulo de massa na USA em um menor período de tempo em função de seu corte mais tardio em relação à USL. A TPMS média variou de $8,1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T1 a $9,8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T3, ou seja, uma produção diária de fitomassa seca de 1,7 grama por metro quadrado a mais. Os valores apresentados corroboram com os encontrados no trabalho de Gava et al. (2001), no qual a colheita da cana-soca foi mais tardia.

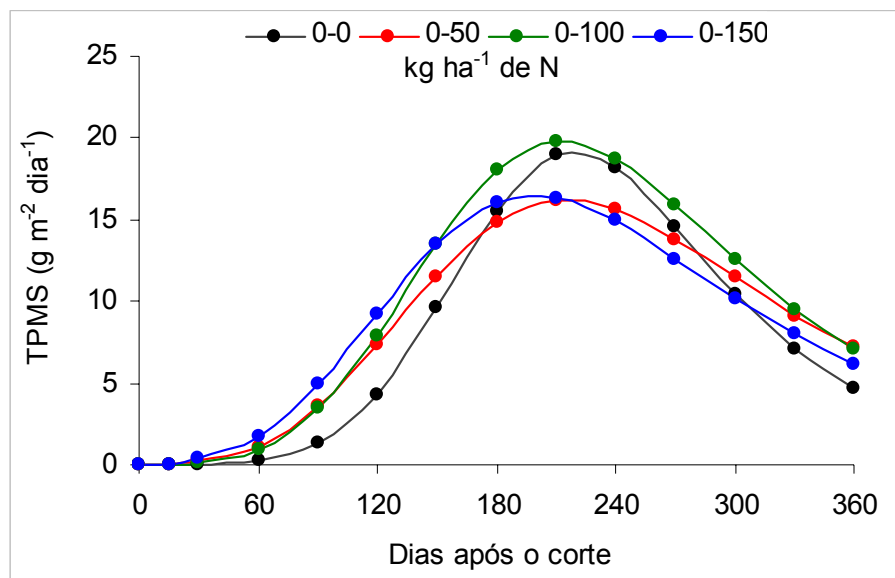


Figura 4.9 - Taxas de produção de matéria seca (TPMS) da parte aérea da cana-soca em diferentes períodos de desenvolvimento para as doses de N associadas à dose 0 kg ha⁻¹ (testemunha) de N no plantio, no experimento da USA

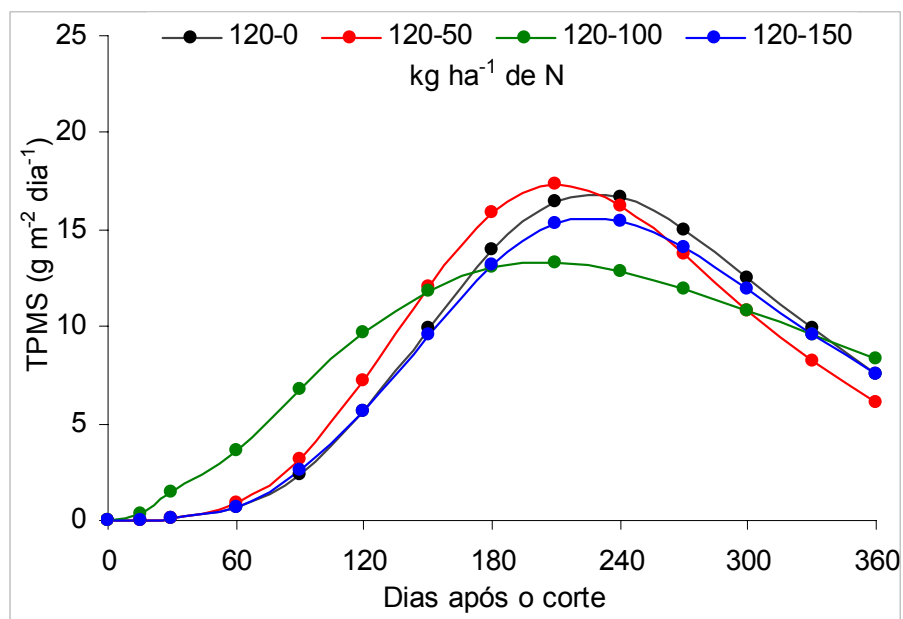


Figura 4.10 - Taxas de produção de matéria seca (TPMS) da parte aérea da cana-soca em diferentes períodos de desenvolvimento para as doses de N associadas à dose 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, no experimento na USA

A TPMS máxima dos tratamentos de cana-soca (Figura 4.10), nas parcelas com dose 120 kg ha⁻¹ de N no plantio, apresentou precocidade do acúmulo de fitomassa para a dose 100 kg ha⁻¹ de N (T3). A TPMS máxima dos tratamentos ocorreu aos 210 aos 240 DAC, novamente de forma precoce em relação à USL, mas na mesma época

do ano, na segunda quinzena de fevereiro e a primeira de março de 2007, sendo que o tratamento T2 apresentou maior TPMS máxima, $17 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A TPMS média também variou pouco com as doses de N, de $8,1 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T4 a $8,7 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em T3.

O acúmulo de fitomassa nos tratamentos com N aplicado no plantio foi melhor distribuído ao longo do período de desenvolvimento, em comparação com os tratamentos sem N no plantio, os quais apresentaram um máximo mais acentuado de acúmulo de fitomassa. Esse fato pode representar um problema caso ocorra um veranico ou uma estiagem durante essa fase de máximo acúmulo (segunda quinzena de janeiro à primeira quinzena de março). Quando o acúmulo é gradual e distribuído ao longo do desenvolvimento das plantas esse risco é menor.

4.4 Conclusões

A fase de máximo crescimento da cana-soca ocorreu de novembro a abril na Usina São Luiz, em Pirassununga-SP, e de novembro a maio na Usina Santa Adélia, em Jaboticabal-SP.

O início da fase de máximo desenvolvimento e acúmulo de fitomassa coincidiu com o aumento das temperaturas, maior luminosidade e maiores precipitações pluviais (Primavera/Verão), período este em que a evapotranspiração real se aproxima da potencial, independentemente da época de corte no período seco e frio (Inverno).

A taxa de produção de matéria seca (TPMS) variou com a adubação nitrogenada, a qual elevou as TPMS médias e máximas.

A adubação nitrogenada da cana-planta interfere no acúmulo de fitomassa da cana-soca, fazendo com que diminuam as diferenças de acúmulo entre os tratamentos com doses de N aplicadas na soqueira.

Referências

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.

DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 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.

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.

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

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.

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. 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.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; 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.

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

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

MEINZER, F.C.; ZHU, J. Nitrogen stress reduces the efficiency of the C4 CO₂ concentrating system, and therefore quantum yield, in *Saccharum* (sugarcane) species. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 49, p. 1227-1234, 1998.

MONTEITH, L.L. Reassessment of maximum growth rates for C3 and C4 crops. **Experimental Agriculture**, London, v. 14, p. 1-5, 1978.

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

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. cap. 22, p. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fonológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, V.S.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2006. cap. 1, p. 19-36.

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 Agronomia) - 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 Agrônomo, 1987. 31 p. (IAC. Boletim Técnico, 113).

5 APROVEITAMENTO PELA CANA-DE-AÇÚCAR (CANA-SOCA) DAS ADUBAÇÕES NITROGENADAS DE PLANTIO (EFEITO RESIDUAL) E DO PRIMEIRO CICLO DE SOQUEIRA

Resumo

Pelo fato de a adubação nitrogenada de plantio não ser eficientemente utilizada pela cana-planta, há a possibilidade de ocorrer efeito residual dessa adubação no ciclo de cana-soca ou efeito adicional à produtividade com a adubação de cana-soca. Portanto, é importante avaliar o aproveitamento do fertilizante pela cana-soca em experimentos de campo que avaliem mais de um ciclo da cultura e a interação entre estes. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o aproveitamento pelo primeiro ciclo de cana-soca, colhida sem queima da palha, da uréia-¹⁵N aplicada no plantio (efeito residual) e do sulfato de amônio-¹⁵N aplicado na soqueira. Foram desenvolvidos dois experimentos: um na Usina São Luiz (USL), em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, e outro na Usina Santa Adélia (USA), em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, no Estado de São Paulo. O cultivar plantado foi a SP81-3250. O delineamento experimental para a avaliação do efeito residual da adubação de plantio na cana-soca foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram três doses de N (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ na forma de uréia), mais uma testemunha sem aplicação do nutriente. Para os tratamentos aplicados no primeiro ciclo de cana-soca o delineamento experimental para a avaliação do efeito da adubação nitrogenada também foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. No entanto, os tratamentos foram duas doses de N (50 e 100 kg ha⁻¹ na forma de sulfato de amônio), aplicados em subparcelas nos tratamentos de cana-planta. No interior de cada parcela ou subparcela foram instaladas microparcelsas de 3 m² que receberam os fertilizantes marcados e nas quais foram colhidas as plantas e amostradas folhas secas, ponteiros e colmos, além de raízes e solo. Também foram instaladas microparcelsas com palha marcada com o isótopo ¹⁵N com o objetivo de avaliar o aproveitamento do N da palha residual do corte da cana-planta. Não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade e no acúmulo de N do primeiro ciclo de cana-soca, embora a recuperação (%) pela cana-soca (parte aérea) da uréia-¹⁵N aplicada no plantio, na média dos experimentos, tenha sido de 4,18%, 5,04% e 3,54%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Na média dos experimentos a recuperação (%) pela cana-soca do N da palha residual da colheita da cana-planta foi de 9%. A maior dose de N aplicada à cana-soca aumentou sua produtividade, em relação à menor dose, no experimento USL, as quais não diferiram no experimento USA. Houve aumento da recuperação (kg ha⁻¹) de N com a maior dose de soqueira, independente do tratamento de cana-planta, mas a eficiência de utilização do adubo nitrogenado (%) foi a mesma para ambas as doses. Na média dos experimentos, 37% do adubo nitrogenado foi recuperado na planta, 29% no solo e 34% não foi recuperado.

Palavras-chave: Nitrogênio; Uréia; Sulfato de amônio; Efeito residual; ¹⁵N; Eficiência

Utilization by sugarcane (ratoon) of nitrogen fertilizations made at planting (residual effect) and in the first ratoon cycle

Abstract

Because nitrogen fertilization at planting is not efficiently used by plant cane, a residual effect of such fertilization may occur during the ratoon cycle, or an additional effect on productivity may occur due to ratoon fertilization. Therefore, it is important to evaluate fertilizer utilization by ratoon in field experiments that monitor more than one cropping cycle, as well as interactions between those cycles. Within this context, the objective of this study was to evaluate ^{15}N urea utilization when applied at planting (residual effect) by sugarcane during the first ratoon cycle, harvested without burning the trash, as well as ammonium sulfate utilization when applied during the ratoon cycle. Two experiments were carried out, one at *Usina São Luiz* (USL), on a TYPIC HAPLUDOX SOIL, and the other at *Usina Santa Adélia* (USA), on a RHODIC HAPLUDOX SOIL, in the State of São Paulo. Cultivar SP81-3250 was planted. The experimental design to evaluate the residual effect of fertilization at planting on ratoon was organized as random blocks, with four replicates. Treatments consisted of three N doses (40, 80, and 120 kg ha⁻¹, in the form of urea), in addition to a control without N application. A random block experimental design, with four replicates, was also adopted to evaluate the effect of nitrogen fertilization in treatments applied during the first ratoon cycle. However, treatments were two N doses (50 and 100 kg ha⁻¹ in the form of ammonium sulfate), applied as subplots in the plant cane treatments. Microplots (3 m² each) were installed inside each plot or subplot, and received the labeled fertilizers. Also, the plants from each microplot were harvested and dry leaf, leader shoot, and stalk samples were obtained, in addition to root and soil samples. Microplots were also installed containing trash labeled with the ^{15}N isotope in order to evaluate N utilization from the residual trash resulting from plant cane harvest. There was a residual effect of nitrogen fertilization at planting on first-cycle ratoon productivity and N accumulation, although recovery of the urea applied at planting (%) by ratoon (above-ground part), on the average of the experiments, was 4.18%, 5.04%, and 3.54%, for the 40, 80, and 120 kg ha⁻¹ N doses, respectively. On the average of the experiments, N recovery (%) by ratoon from the residual trash resulting from plant cane harvest was 9%. The highest N dose applied to ratoon increased its productivity in relation to the smallest dose in the USL experiment, but no differences were found in the USA experiment. N recovery (kg ha⁻¹) increased in ratoon as ratoon dose increased, regardless of plant cane treatment, but nitrogen fertilizer utilization efficiency (%) was the same for both doses. On the average of the experiments, 37% of the nitrogen fertilizer were recovered from the plant, 29% from the soil, and 34% were not recovered.

Keywords: Nitrogen; Urea; Ammonium sulfate; Residual Effect; ^{15}N ; Efficiency

5.1 Introdução

O nitrogênio, em seu ciclo, apresenta uma dinâmica complexa pelas muitas transformações que sofre e pela alta mobilidade no sistema solo-planta-atmosfera. Ao entrar neste ciclo, o N dos adubos nitrogenados aplicados no solo pode ser: (a) absorvido pelas plantas; (b) perdido pela folhagem das culturas, por volatilização da amônia, assim como no solo pode ser perdido por desnitrificação, por lixiviação e por erosão; (c) ou imobilizado no solo e na matéria orgânica por ação de microrganismos (NG KEE KWONG et al., 1986; HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994; TRIVELIN et al., 1997, 2002a; COURTAILLAC et al., 1998; OLIVEIRA, et al., 1999a; TRIVELIN, 2000). Esse N imobilizado, que pode ficar no solo, torna-se uma fonte residual potencial para as culturas ou ciclos subseqüentes da cana-de-açúcar (VITTI, 2003).

Considerando o custo atual dos adubos nitrogenados, em função de seu processo de produção de alto gasto energético, é fundamental o desenvolvimento, adequação e integração de seus manejos e que estes visem o melhor aproveitamento do N pela cana-de-açúcar. Com isso, a realização do balanço de ^{15}N de fontes nitrogenadas tem sido de muita valia em estudos das transformações do N no sistema solo-cana-de-açúcar (FRANCO, 2008).

Trabalhos realizados com fertilizantes nitrogenados marcados com o isótopo ^{15}N evidenciaram ser variável o aproveitamento do ^{15}N -fertilizante pela cultura da cana-de-açúcar em função das condições ambientais e, principalmente, do manejo. Nas Ilhas Maurícios, Wong You Cheong et al. (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. Já Ng Kee Kwong e Deville (1994) conseguiram aumentar a recuperação da uréia- ^{15}N de 19 para 35%, aplicando o adubo na água e irrigando por gotejamento, sem, contudo, conseguir elevar a produtividade.

Em Taiwan, Weng et al. (1991) obtiveram as recuperações de 27, 23 e 19%, respectivamente, para sulfato de amônio, nitrato de potássio e uréia; com a aplicação dos adubos no solo a 10 cm de profundidade que, comparada à aplicação superficial, mostrou maior recuperação. Na Austrália, Chapman et al. (1994) obtiveram recuperação da uréia- ^{15}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 et al. (1986), Sampaio et al. (1984), Trivelin et al. (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}N -fertilizante pela cultura de cana-de-açúcar estão associadas ao efeito residual do fertilizante no solo devido a 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., 1999b), volatilização da amônia (TRIVELIN et al., 2002a) e por meio das perdas gasosas de N pela parte aérea das plantas (HOLTAN-HARTWING; BOCKMAN, 1994).

Portanto, é importante avaliar o aproveitamento do ^{15}N -fertilizante pela cana-soca em experimentos de campo que avaliem mais de um ciclo da cultura e a interação entre estes. Devido ao fato da adubação nitrogenada em cana-planta ser uma das questões ainda não esclarecidas no manejo dos canaviais, mas que sua não realização reduz sabidamente a produtividade e longevidade das soqueiras (PENATTI; DONZELLI; FORTI, 1997), a utilização de fertilizantes nitrogenados marcados com ^{15}N pode auxiliar no entendimento dessas relações de manejos entre ciclos. Neste contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o aproveitamento pelo primeiro ciclo de cana-soca, colhida sem queima da palha, da uréia- ^{15}N aplicada no plantio e do sulfato de amônio- ^{15}N aplicado na soqueira.

5.2 Material e métodos

Para avaliar o aproveitamento do N-fertilizante pela cana-de-açúcar medido na colheita da cana-soca foram desenvolvidos dois experimentos nas Usinas São Luiz (USL), no Município de Pirassununga, e Santa Adélia (USA), no Município de Jaboticabal, ambas no Estado de São Paulo.

No experimento USL foi plantado o cultivar SP81-3250 e o solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, de textura média, (EMBRAPA, 1999). As operações no preparo do solo realizadas antes do plantio foram: gradeação, subsolagem, gradeação para incorporação de calcário dolomítico e gesso

agrícola, ambos na dose de 2 t ha⁻¹ cada, calculadas com base na análise química de terra (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e gradeação leve para o nivelamento do solo antes da sulcação. A instalação do experimento ocorreu entre 21 e 24 de fevereiro de 2005 e a colheita da cana-planta foi realizada no dia 24 de junho de 2006.

No experimento USA foi plantado o mesmo cultivar do experimento USL (SP81-3250) e o solo da área classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média (EMBRAPA, 1999). As operações de reforma do canavial na USA foram: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 4 L ha⁻¹ do herbicida glifosato; aração profunda e incorporação dos resíduos vegetais e de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico ao solo e gradeação para o nivelamento do solo antes da sulcação e plantio. O experimento foi instalado entre 4 e 8 de abril de 2005 e a colheita da cana-planta foi realizada no dia 26 de julho de 2006.

O delineamento experimental para a avaliação do efeito residual da adubação de plantio na cana-soca foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram três doses de N (40, 80 e 120 kg ha⁻¹ na forma de uréia), mais uma testemunha sem aplicação do nutriente. Para os tratamentos aplicados no primeiro ciclo de cana-soca o delineamento experimental para a avaliação do efeito da adubação nitrogenada também foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. No entanto, os tratamentos foram duas doses de N (50 e 100 kg ha⁻¹ na forma de sulfato de amônio), mais uma testemunha sem aplicação de N, aplicados em subparcelas em todos os tratamentos de cana-planta.

No interior de cada parcela ou subparcela, onde foi aplicado o fertilizante nitrogenado, tanto para cana-planta quanto para cana-soca, instalou-se uma microparcela com dimensão de 2 m de comprimento e 1,5 m de largura, totalizando 3 m² que receberam a uréia marcada com ¹⁵N (5,04% em átomos de ¹⁵N) coberta manualmente com terra antes do plantio da cana-de-açúcar, ou sulfato de amônio marcado com ¹⁵N (2,31% e 2,97% em átomos de ¹⁵N aplicados nas doses de 100 e 50 kg ha⁻¹ de N, respectivamente) aplicado sobre a palha, após o corte da cana-planta.

Também foram instaladas quatro microparcelsas, em cada experimento, nas parcelas que receberam a dose de 80 kg ha⁻¹ de N no plantio, com as mesmas dimensões das já citadas, nas quais a palha natural residual da colheita foi substituída

por palha marcada com o isótopo ^{15}N (1,014% e 1,001% em átomos de ^{15}N , respectivamente nos experimentos USL e USA), originada das parcelas marcadas no ciclo de cana-planta. As doses de N via palha foram de 51 kg ha^{-1} no experimento USL e de 41 kg ha^{-1} no experimento USA. Esse tratamento adicional teve por objetivo avaliar o aproveitamento do N da palha pela parte aérea da cana-de-açúcar.

O procedimento adotado para a colheita da primeira soqueira dos experimentos foi o mesmo nos dois experimentos: USL e USA. A estimativa da produção e outras avaliações foram realizadas de 18 a 22 de junho de 2007 no experimento USL e de 9 a 13 de julho de 2007 no experimento USA, sendo que nesses períodos foram amostradas 52 parcelas (16 relativas ao efeito residual da adubação nitrogenada de cana-planta; 4 relativas ao aproveitamento do N da palha residual da colheita da cana-planta; e 32 relativas às doses de 50 e 100 kg ha^{-1} de N aplicados na cana-soca, nos 4 tratamentos de plantio) de cada experimento colhendo-se as plantas de cana-de-açúcar em 3 metros de linha, correspondente ao metro central das microparcelas com fertilizante ou palhada marcados com ^{15}N e os dois metros contíguos, sendo um metro de cada lado do metro central das microparcelas- ^{15}N , as quais foram separadas em folhas secas, ponteiros e colmos.

A massa de todo o material vegetal, de cada repetição (folhas secas, ponteiros e colmos), foi obtida no campo por meio de pesagem em balança eletrônica marca Micheletti com precisão de 20 g. Após a pesagem, o material vegetal de cada amostra foi triturado ainda no campo, em picadora modelo PN PLUS 2000 com motor a Diesel de 5HP, e em seguida subamostrado. As subamostras trituradas foram acondicionadas em sacos plásticos bem fechados e identificados para que o material não perdesse umidade e pudesse ser transportado ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. No laboratório as subamostras foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,01 g) antes e após secagem para obtenção de peso constante em estufa ventilada a 65°C , para determinação da umidade do material.

As amostragens de raízes foram obtidas com sonda amostradora de raízes (55 mm de diâmetro interno). A sondagem foi feita em três posições (0,0; 0,3; e 0,6 m) da linha (centro da microparcela) a entrelinha, nos dois lados da microparcela- ^{15}N , nas profundidades de: 0,0 a 0,2; 0,2 a 0,4 e 0,4 a 0,6 m.

As amostras de solo e raízes coletadas em cada microparcela foram separadas no campo, por peneiramento da amostra em peneira de malha 2 mm, separando-se manualmente as raízes do solo peneirado no campo. As raízes e o solo peneirado foram acondicionados em sacos plásticos adequadamente identificados e transportados ao CENA/USP, em Piracicaba, onde as amostras de raízes foram lavadas em água corrente e secas em estufa ventilada a 65°C, com posterior determinação das massas de material seco de raízes.

O material vegetal seco foi moído em moinho tipo Wiley e usado nas determinações de N-total e de abundância de ^{15}N (% em átomos de ^{15}N) no espectrômetro de massas ANCA/SL modelo 20/20 da Europa Scientific, Krewe, U.K. O solo foi seco ao ar, homogeneizado, subamostrado e pulverizado em moinho de bolas e passou pela mesma análise que o material vegetal.

A recuperação (RN) do ^{15}N -fertilizante na parte aérea da planta, no sistema radicular e no solo foi calculada por meio das equações:

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

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

significando: NPSPF - N da planta ou do solo proveniente do ^{15}N -fertilizante; A - abundância de ^{15}N (% de átomos) da planta ou do solo; B - abundância de ^{15}N do ^{15}N -fertilizante ou da ^{15}N -palha; C - abundância natural de ^{15}N (0,3667% de átomos); NT - conteúdo de N na planta ou solo (kg ha^{-1}); RN - recuperação percentual do ^{15}N -fertilizante na planta ou no solo; NAF - dose de N da fonte aplicada (kg ha^{-1}).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando o teste F ao nível de 95% de confiança. Para comparar o efeito residual das doses de N de plantio na cana-soca usou-se a análise de regressão. A interação entre as adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira foi analisada em parcelas subdivididas (split-plot).

5.3 Resultados e discussões

5.3.1 Efeito residual do N da adubação de plantio na primeira soqueira

5.3.1.1 Produção de fitomassa pela cana-soca

Não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio no acúmulo de fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas ou da parte aérea das plantas no segundo corte, amostradas por biometria, nos experimentos USL e USA (Tabelas 5.1 e 5.2).

Considerando a compartimentalização do acúmulo de fitomassa nas partes da planta, os colmos representam de 60% a 65% da massa, os ponteiros de 12% a 14% e as folhas secas de 23% a 25% da parte aérea, na média dos experimentos USL e USA. Comparando os resultados de cana-soca, com os obtidos no ciclo de cana-planta (FRANCO, 2008), a produtividade de fitomassa seca da parte aérea reduziu em 38% no experimento USL e em 16% no experimento USA. A redução na produção de massa seca da parte aérea da cana-soca foi em função da menor produtividade de colmos, já que a produção de ponteiros e folhas secas foi maior que a da cana-planta, em valores absolutos, nos dois experimentos (Tabelas 5.1 e 5.2). A produção de fitomassa seca de colmos reduziu 54% na USL e 31% na USA, do primeiro para o segundo ciclo.

A maior redução na produção de fitomassa seca de colmos e conseqüente redução da fitomassa da parte aérea da cana-soca no experimento USL, em comparação com o experimento USA, tem como principal justificativa a infestação em 100% da área experimental por *Sphenophorus levis*, diagnosticada somente após a colheita da cana-soca. Depois de um levantamento detalhado, em todas as parcelas, identificou-se que a infestação da área experimental foi geral e comprometeu o experimento de maneira uniforme. Esse fato pode ter prejudicado a resposta da cultura aos tratamentos, como resultou em prejuízo a produtividade (vide capítulo 6).

Tabela 5.1 - Produção de fitomassa seca no primeiro ciclo de cana-soca das parcelas que receberam adubação nitrogenada apenas no plantio, no experimento da USL

Tratamentos doses de N no plantio kg ha ⁻¹	Fitomassa Seca da Primeira Soqueira			
	Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Total (C + P + F)
	Mg ha ⁻¹			
0	17,69	4,47	7,22	29,37
40	17,42	3,43	6,36	27,21
80	16,79	3,97	7,50	28,26
120	17,58	4,21	6,68	28,47
Média	17,37	4,02	6,94	28,33
CV (%)	16	24	15	15
F - blocos	1,12 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,35 ^{ns}	1,12 ^{ns}
F - doses	0,08 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,17 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,03 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,15 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,31 ^{ns}

^{ns} - não significativo.

Tabela 5.2 - Produção de fitomassa seca no primeiro ciclo de cana-soca das parcelas que receberam adubação nitrogenada apenas no plantio, no experimento da USA

Tratamentos doses de N no plantio kg ha ⁻¹	Fitomassa Seca da Primeira Soqueira			
	Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Total (C + P + F)
	Mg ha ⁻¹			
0	25,18	4,49	9,68	39,36
40	26,74	4,96	8,99	40,68
80	25,48	4,37	8,98	38,84
120	29,39	5,38	10,32	45,09
Média	26,70	4,80	9,49	40,99
CV (%)	14	20	11	13
F - blocos	0,08 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,07 ^{ns}
F - doses	1,15 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,27 ^{ns}
F - reg. 1º grau	2,16 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,98 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,61 ^{ns}	0,58 ^{ns}	4,61 ^{ns}	1,27 ^{ns}

^{ns} - não significativo.

5.3.1.2 Teor e acúmulo de N na parte aérea da planta

O teor de N nas partes das plantas e seu comportamento em função dos tratamentos de plantio foi semelhante nas áreas experimentais (Tabelas 5.3 e 5.4).

Tabela 5.3 - Efeito residual da adubação nitrogenada de plantio no teor de N da parte aérea das plantas no primeiro ciclo de cana-soca, no experimento USL, sem adubação nitrogenada após o primeiro corte

Tratamentos doses de N no plantio	Teor de N			
	Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Total (C + P + F)
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹			
0	2,01	10,00	3,21	3,52
40	1,93	9,03	4,14	3,34
80	2,06	8,33	4,12	3,49
120	2,08	8,32	3,84	3,42
Média	2,02	8,92	3,82	3,44
CV (%)	12	9	7	9
F - blocos	2,48 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,68 ^{ns}	0,63 ^{ns}
F - doses	0,34 ^{ns}	4,25*	10,45**	0,19 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,43 ^{ns}	11,13**	9,81*	0,19 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,18 ^{ns}	1,57 ^{ns}	20,27**	0,03 ^{ns}

^{ns} - não significativo; ** e * - significativos a 1 e a 5% de probabilidade respectivamente.

Tabela 5.4 - Efeito residual da adubação nitrogenada de plantio no teor de N da parte aérea das plantas no primeiro ciclo de cana-soca, no experimento USA, sem adubação nitrogenada após o primeiro corte

Tratamentos doses de N no plantio	Teor de N			
	Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Total (C + P + F)
kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹			
0	2,00	10,00	3,20	3,21
40	2,23	8,26	3,45	3,24
80	1,91	8,80	3,53	3,06
120	1,86	10,12	3,39	3,20
Média	2,00	9,29	3,39	3,18
CV (%)	8	6	4	5
F - blocos	0,14 ^{ns}	1,94 ^{ns}	4,36*	1,04 ^{ns}
F - doses	4,54 ^{ns}	9,33**	4,56*	0,82 ^{ns}
F - reg. 1º grau	4,46 ^{ns}	0,46 ^{ns}	5,20*	0,31 ^{ns}
F - reg. 2º grau	3,47 ^{ns}	26,31**	8,46*	0,59 ^{ns}

^{ns} - não significativo; ** e * - significativos a 1 e a 5% de probabilidade respectivamente.

No experimento USL, houve efeito residual dos tratamentos de plantio nos teores de N dos ponteiros e das folhas secas da cana-soca. O teor de N dos ponteiros diminuiu linearmente com as doses de N ($r^2 = 0,87$) (Tabela 5.3). Como no ciclo de cana-plantia houve resposta em produtividade e em extração de N às doses (FRANCO, 2008), pode ter havido maior consumo de N pela cultura, inclusive do N nativo do solo pela maior mineralização da matéria orgânica, o que diminuiu sua disponibilidade para o ciclo de cana-soca. O uso de fertilizantes minerais deve acelerar a mineralização desses resíduos de cana-de-açúcar pela diminuição da relação C:N, resultando em maior disponibilidade de N à cana-de-açúcar ao longo do tempo (VITTI, 2003).

Já para as folhas secas houve aumento dos teores de N, de forma quadrática ($r^2 = 0,96$), com as doses de N do plantio, sendo os maiores teores encontrados na dose de $68,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N (Tabela 5.3). No entanto, esses efeitos não se manifestaram no teor de N da parte aérea da cana-soca, já que para os colmos não houve efeito residual dos tratamentos de cana-plantia, e este, sendo a parte da planta com maior massa, diluiu as diferenças de teores nos ponteiros e folhas secas.

Segundo Vitti (2003), o maior acúmulo de N na planta ocorre no início do desenvolvimento, no período anterior ao de máximo acúmulo de fitomassa seca. Como as folhas secas da cana-soca se desenvolveram primeiro que os ponteiros, elas aproveitaram melhor o N residual da adubação de plantio. O autor também confirma esse fato com a constatação que as folhas mais velhas ficam mais enriquecidas em ^{15}N quando se faz uso de fertilizantes marcados, o que mostra uma absorção preferencial do N do adubo no início do desenvolvimento da planta.

O comportamento da soqueira do experimento USA diferiu do experimento USL apenas no teor de N dos ponteiros, o qual respondeu de forma quadrática, e não linear como na USL, às doses de N no plantio, sendo menores os teores de N entre os tratamentos 40 e 80 kg ha^{-1} de N, na dose de 55 kg ha^{-1} de N ($r^2 = 0,95$) (Tabela 5.4).

O acúmulo de N nos colmos, ponteiros, folhas secas e, conseqüentemente, na parte aérea da planta, não diferiu com os tratamentos de cana-plantia, o que demonstrou não haver efeito residual da adubação de plantio com N no acúmulo do nutriente na cana-soca, no experimento USL (Tabela 5.5). Na média dos tratamentos o acúmulo foi de 98 kg ha^{-1} de N, estando 36% nos colmos, 37% nos ponteiros e 27% nas

folhas secas. No ciclo de cana-planta o acúmulo de N nos colmos correspondeu a 55% do N total da parte aérea (FRANCO, 2008). Isso mostra que a produtividade de colmos reduziu no ciclo de cana-soca, porém, o teor de N nos colmos foi semelhante nos dois ciclos, sendo a produtividade a maior responsável pelo acúmulo de N por área nessa parte da planta.

No experimento USA o acúmulo de N variou significativamente com os tratamentos de cana-planta apenas nos ponteiros (Tabela 5.6). A fitomassa seca de ponteiros não diferiu entre os tratamentos, mas os teores de N diferiram (Tabelas 5.2 e 5.4). Manteve-se, então, o mesmo comportamento encontrado para o teor de N no ponteiro. No entanto, apesar de os teores de N nos dois experimentos terem sido semelhantes, o acúmulo de N na parte aérea das plantas do experimento USA foi maior do que no experimento USL, em função de sua maior produtividade de colmos (Tabela 5.6). Dos 130 kg ha⁻¹ de N acumulados, 41% se encontravam nos colmos, 34% nos ponteiros e 25% nas folhas secas.

Tabela 5.5 - Efeito residual da adubação de plantio no acúmulo de N na parte aérea das plantas no primeiro ciclo de cana-soca, no experimento USL

Tratamentos doses de N no plantio kg ha ⁻¹	Acúmulo de N			
	Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Total (C + P + F)
	kg ha ⁻¹			
0	35,97	45,75	23,23	104,95
40	32,63	30,44	25,85	88,92
80	34,46	34,50	31,06	100,02
120	37,48	35,18	26,79	99,46
Média	35,13	36,47	26,73	98,34
CV (%)	22	32	15	21
F - blocos	1,37 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,76 ^{ns}
F - doses	0,59 ^{ns}	1,07 ^{ns}	2,87 ^{ns}	0,53 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,24 ^{ns}	1,23 ^{ns}	3,60 ^{ns}	0,01 ^{ns}
F - reg. 2º grau	1,20 ^{ns}	1,50 ^{ns}	1,97 ^{ns}	0,68 ^{ns}

^{ns} - não significativo.

Tabela 5.6 - Efeito residual da adubação de plantio no acúmulo de N na parte aérea das plantas no primeiro ciclo de cana-soca, no experimento USA

Tratamentos doses de N no plantio kg ha ⁻¹	Acúmulo de N			
	Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Total (C + P + F)
0	50,37	44,88	30,99	126,24
40	59,48	40,80	30,90	131,18
80	48,84	39,24	31,76	119,84
120	54,77	54,32	35,34	144,43
Média	53,37	44,81	32,25	130,42
CV (%)	16	19	11	13
F - blocos	0,07 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,66 ^{ns}	0,25 ^{ns}
F - doses	1,14 ^{ns}	2,61 ^{ns}	1,76 ^{ns}	1,46 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,02 ^{ns}	2,10 ^{ns}	3,56 ^{ns}	1,36 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,10 ^{ns}	5,44*	1,71 ^{ns}	1,62 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * - significativos a 5% de probabilidade.

5.3.1.3 Recuperação do N da adubação de plantio na primeira soqueira

Houve recuperação pela cana-soca do N aplicado no plantio, ou seja, a soqueira aproveitou o N residual da adubação de plantio presente no solo ou no sistema radicular, nos dois experimentos (Tabelas 5.7 e 5.8). Quanto maior a dose de plantio, maior foi o aproveitamento do nutriente (NPPF) pelas partes da planta. As Figuras 5.1 e 5.2 mostram as regressões para as quantidades de nitrogênio absorvidas pela parte aérea da cana-soca em função dos tratamentos aplicados no plantio.

No experimento USL os colmos, as folhas secas e os ponteiros recuperaram praticamente as mesmas quantidades do N residual, sendo que na soma dessas partes o aproveitamento chegou a aproximadamente 5 kg ha⁻¹ do N da dose 120 kg ha⁻¹ no plantio. Apesar de ser uma quantidade pequena, relativamente ao total, ela representa 21% do que foi absorvido pela parte aérea da cana-planta nesse mesmo tratamento (FRANCO, 2008). Em relação à eficiência de recuperação do N do plantio, os melhores resultados foram obtidos na dose de 80 kg ha⁻¹ de N, com exceção dos colmos, os quais apresentaram maior recuperação na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, e das folhas secas que não apresentaram diferença na eficiência de recuperação entre as doses (Tabela 5.7). A eficiência de utilização do adubo de plantio pela parte aérea da cana-soca foi, em média, de 4,05%.

Tabela 5.7 - Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF - kg ha⁻¹) e recuperação porcentual do N (uréia-¹⁵N) da adubação de plantio pela primeira soqueira, no experimento USL.

Doses de N (plantio)	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea	
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	rec %	kg ha ⁻¹	rec %	kg ha ⁻¹	rec %	kg ha ⁻¹
40	0,454	1,14	0,546	1,37	0,364	0,91	1,364	3,41
80	0,819	1,02	1,312	1,64	1,551	1,94	3,681	4,60
120	1,922	1,60	1,646	1,37	1,404	1,17	4,973	4,14
média	1,065	1,25	1,168	1,46	1,106	1,34	3,339	4,05
F - doses	8,04**	7,47**	2,91*	1,99 ^{ns}	6,14**	4,89*	9,96**	8,66**
F - reg. 1º grau	22,43**	18,08**	8,57*	3,49 ^{ns}	15,32**	7,89*	29,49**	18,46**
F - reg. 2º grau	1,27 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,44 ^{ns}	0,69 ^{ns}	5,39*	0,00 ^{ns}	7,47*
CV%	73	53	100	96	74	72	57	47

rec - recuperação; ^{ns} - não significativo; ** e * - significativos a 1 e a 5% de probabilidade respectivamente.

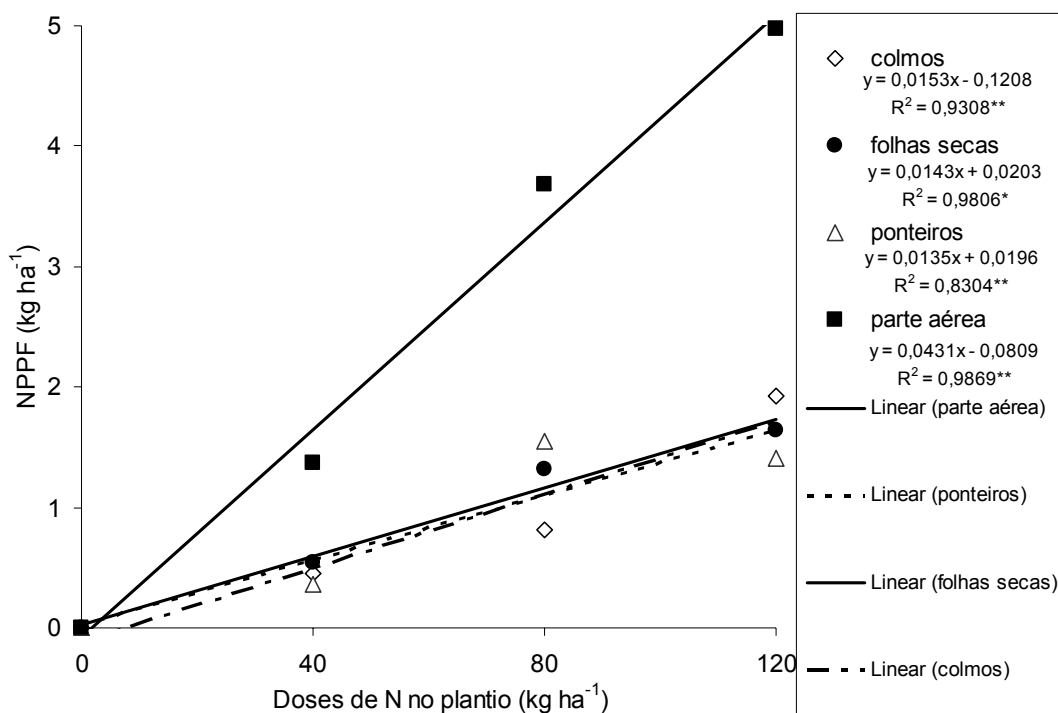


Figura 5.1 - Nitrogênio na cana-soca proveniente do fertilizante (NPPF) aplicado no plantio (efeito residual), no experimento USL

No experimento USA, tanto a quantidade de N residual do plantio utilizada pela cana-soca, quanto sua eficiência de recuperação foram semelhantes, na média, às do experimento USL (Figura 5.2 e Tabela 5.8). No entanto, no experimento USA as menores eficiências de recuperações foram obtidas com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N no plantio. Possivelmente o maior aporte de N nessa dose possa ter estimulado a

mineralização da matéria orgânica e a liberação do N nativo. A incorporação dos resíduos da soqueira antiga, após a reforma do canavial, adicionou ao solo, praticamente, 200 kg ha⁻¹ de N (FRANCO, 2008). Novamente, a dose de 80 kg ha⁻¹ de N no plantio proporcionou as melhores recuperações do ¹⁵N-fertilizante.

Tabela 5.8 - Nitrogênio da planta proveniente do fertilizante (NPPF - kg ha⁻¹) e recuperação percentual do N (uréia-¹⁵N) da adubação de plantio pela primeira soqueira, no experimento USA.

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea	
	kg ha ⁻¹	rec %	kg ha ⁻¹	rec %	kg ha ⁻¹	rec %	kg ha ⁻¹	rec %
40	0,970	2,43	0,439	1,10	0,569	1,42	1,979	4,95
80	1,818	2,27	1,085	1,36	1,482	1,85	4,385	5,48
120	1,822	1,52	1,188	0,99	0,506	0,42	3,517	2,93
média	1,537	2,072	0,904	1,148	0,853	1,233	3,294	4,453
F - doses	12,92**	13,74**	3,38*	4,35*	5,28*	7,72*	10,19**	12,1**
F - reg. 1º grau	36,98**	10,81**	9,53*	6,42*	4,13ns	1,51ns	23,12**	8,52*
F - reg. 2º grau	4,32ns	28,24**	0,30ns	6,59*	8,23*	21,26**	5,59*	27,60**
CV%	40	38	90	66	84	67	49	43

rec - recuperação; ^{ns} - não significativo; ** e * - significativos a 1 e a 5% de probabilidade respectivamente.

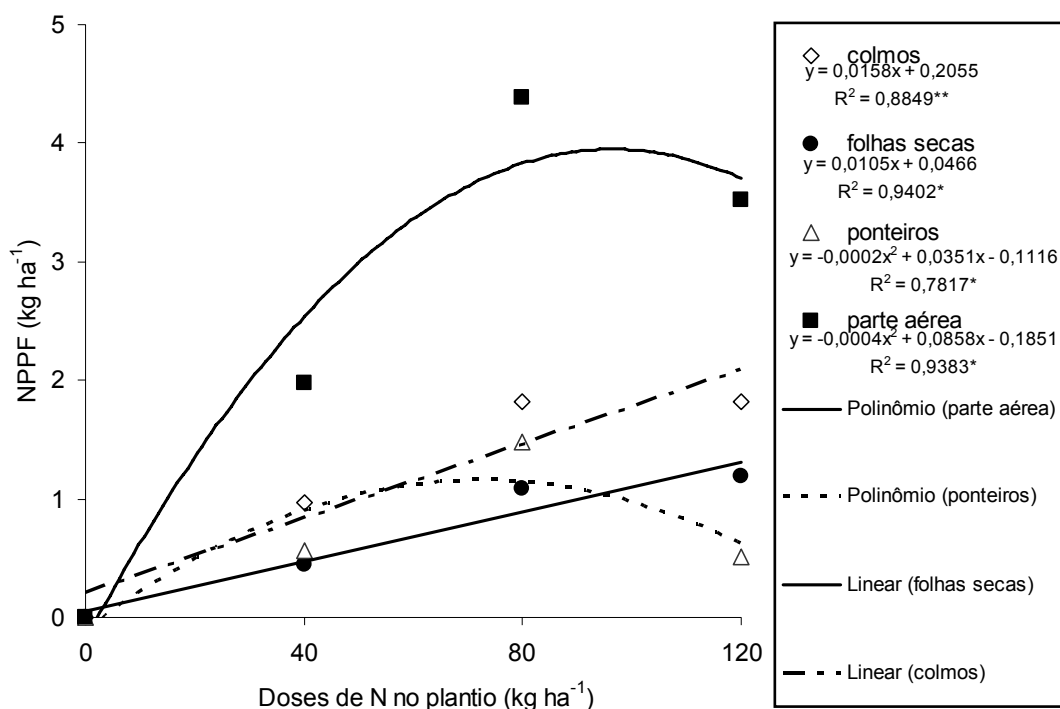


Figura 5.2 - Nitrogênio na cana-soca proveniente do fertilizante (NPPF) aplicado no plantio (efeito residual), no experimento USA

Franco (2008) encontrou que a recuperação (%) da uréia-¹⁵N pela cana-planta (planta toda) na média de dois experimentos foi de 30%, 30% e 21%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. O N absorvido da uréia representou em média 11,7% do N total acumulado pela planta toda e 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. Na cana-soca, parte da recuperação da uréia de plantio teve origem nessa reserva encontrada no sistema radicular.

Trivelin et al. (2000, 2002b) verificaram que a cana-planta responde a adubação nitrogenada na produção de matéria seca e N-total na parte subterrânea, efeito que também foi observado neste trabalho (OTTO, 2007; FRANCO, 2008). Trivelin et al. (2002a) e Bologna-Campbell (2007) constataram na colheita da cana-planta cultivada em vasos que cerca de 40% do ¹⁵N-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 ¹⁵N-fertilizante nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura.

Penatti, Donzelli e Forti et al. (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, na produtividade de colmos industrializáveis. Vitti (2003) afirmou que a produtividade da cana-de-açúcar relacionou-se diretamente com o N-fertilizante residual: solo, sistema radicular e o imobilizado na palha.

5.3.2 Aproveitamento pela cana-soca do N da palha da cana-planta

No experimento USL foi recuperado 3,9 kg ha⁻¹ de N pelos colmos; 2,3 kg ha⁻¹ de N pelas folhas secas e 2,3 kg ha⁻¹ de N pelos ponteiros, quantidades que corresponderam a 2,0%, 1,2% e 1,2% do N contido na palha (Figura 5.3). No total da parte aérea da cana-soca foram absorvidos 4,3 kg ha⁻¹ de N, o que corresponde a 8,5% do N contido na palha. Esse resultado mostra que, possivelmente, mais que 10% do N

contido na palha residual da colheita tenha sido mineralizado, sendo parte absorvido pela parte aérea da planta, parte armazenada no sistema radicular e parte tenha permanecido no solo.

Urquiaga et al. (1991) verificaram que, de 74 t ha⁻¹ de matéria seca de palha depositada na superfície do solo, somente 6 t ha⁻¹ ficaram como resíduo após cinco anos, indicando que 81% da palha foi degradada e, possivelmente, mineralizada pelos microrganismos do solo, evidenciando que o processo foi relativamente rápido. Já o aproveitamento do ¹⁵N mineralizado da palha pela cana-de-açúcar, em torno de 15%, é inferior ao recuperado do fertilizante-¹⁵N (NG KEE KWONG et al., 1987; CHAPMAN et al., 1992; GAVA, 1999). Devido a sua absorção ocorrer normalmente no final do ciclo (GAVA, 1999), dificilmente a recuperação apresenta valores subestimados, como normalmente ocorre com o N-fertilizante, pois, praticamente, as perdas não são significativas. Gava et al. (2002) verificaram absorção de 9% do ¹⁵N da palha no período de 10 meses, e para o período de 18 meses essa absorção variou de 11 a 14% no trabalho de Ng Kee Kwong et al. (1987), o que confere com os resultados encontrados neste trabalho.

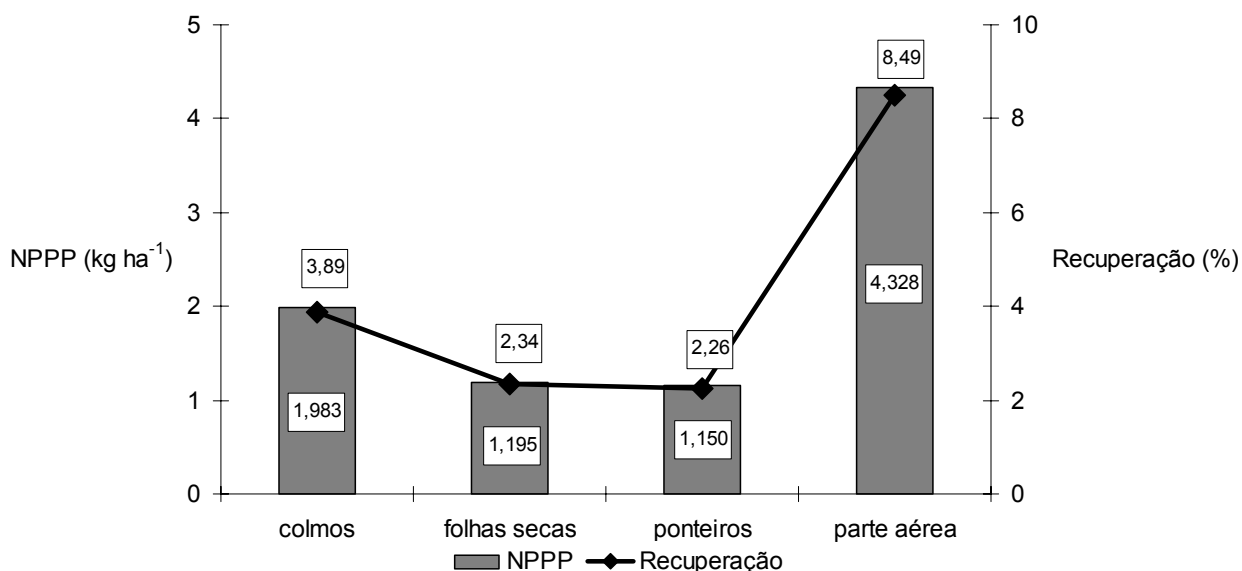


Figura 5.3 - Nitrogênio na cana-soca proveniente da palha residual da colheita da cana-planta (NPPP - kg ha⁻¹ e recuperação - %), no experimento USL (média de quatro repetições)

No experimento USA foi recuperado 2,3 kg ha⁻¹ de N pelos colmos, 0,59 kg ha⁻¹ de N pelas folhas secas e 0,97 kg ha⁻¹ de N pelos ponteiros, quantidades que correspondem a 5,7%, 1,4% e 2,4% do N contido na palha (Figura 5.4). No total da parte aérea foram absorvidos por hectare 3,9 kg de N, o que corresponde a 9,5% do N contido na palha. As plantas do experimento USA absorveram menos N da palha que as do experimento USL, no entanto, a eficiência de recuperação do N foi superior na USA. Isso foi possível porque a dose de N adicionada pela palha no experimento USA foi menor que na USL, como descrito no material e métodos deste trabalho. As folhas secas no experimento USA recuperaram menor quantidade do N da palha, possivelmente, pela mineralização ocorrer no final do ciclo (GAVA, 1999), além delas já terem entrado em senescência. Apesar dessas diferenças, a recuperação de N da palhada variou apenas 1% entre as áreas experimentais.

Estudos mostram que a recuperação pela planta do ¹⁵N proveniente dos resíduos vegetais varia de 2,4% a 15% (JANZEN et al., 1988; NG KEE KWONG et al., 1987; CHAPMAN et al., 1992; MYERS et al., 1994; GAVA et al., 2002). Essa variação, segundo os autores, depende da qualidade do resíduo, ou seja, do teor de N que, quando maior que 20 g kg⁻¹ e a relação C:N menor que 25 apresenta uma mineralização mais rápida e conseqüentemente maior aproveitamento do nutriente pela cultura ao longo do ciclo. Da mesma forma que Gava (1999), Vitti (2003) também concluiu que todo o N da palha permaneceu no sistema solo-planta, levando em consideração um ciclo da cana-de-açúcar.

Oliveira et al. (1999a) avaliaram a decomposição de palhada de cana-de-açúcar, nas condições do Estado de São Paulo, e verificaram que a liberação de K, Ca e Mg foi de 85%, 44% e 39%, respectivamente, após 1 ano de permanência do resíduo em campo. A mineralização do N da palha foi pouco expressiva, cerca de 18%, permanecendo a maior parte do N da palha na forma orgânica do solo. Vallis et al (1996), em estudos de simulação, e Vitti (2003), em trabalho de campo, indicam que a preservação da palha na superfície do solo pode reduzir a adubação nitrogenada ao longo dos ciclos.

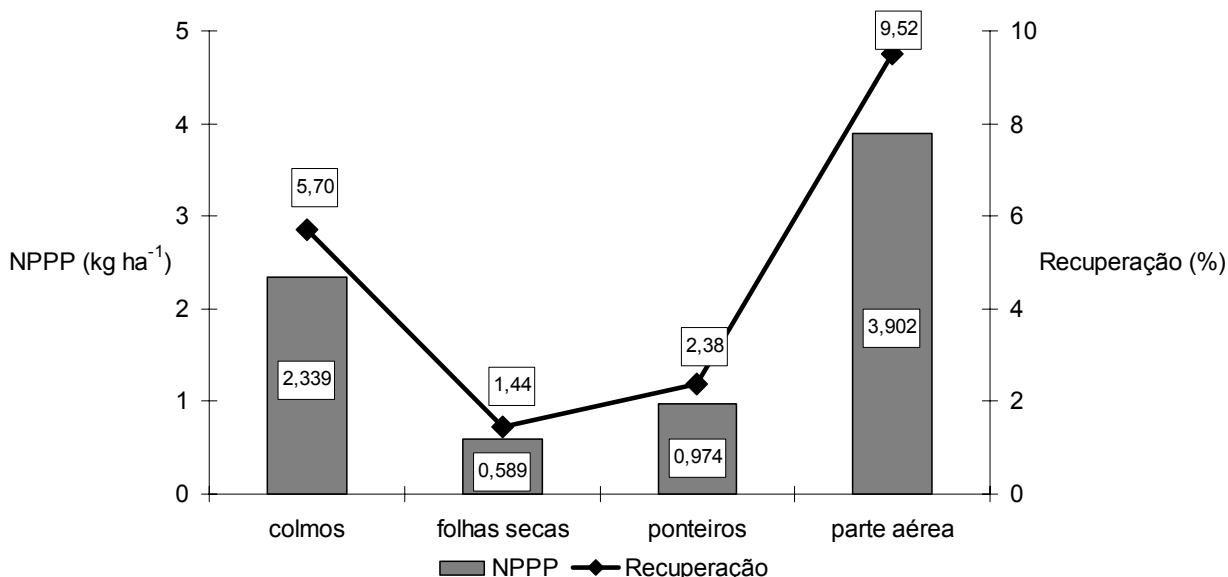


Figura 5.4 - Nitrogênio na cana-soca proveniente da palha residual da colheita da cana-planta (NPPP - kg ha⁻¹ e recuperação - %), no experimento USA (média de quatro repetições)

5.3.3 Efeito na soqueira do N da adubação de cana-soca e interação com a adubação de plantio

5.3.3.1 Produção de fitomassa

No experimento USL não houve interação entre a adubação de plantio e de soqueira na produtividade da cana-soca (Tabela 5.9). No entanto, houve diferença significativa de produtividade entre as doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N para colmos, folhas secas, parte aérea e planta toda, sendo esta última composta pela parte aérea e as raízes, para qual, juntamente com os ponteiros, os tratamentos aplicados de cana-soca não diferiram (Tabela 5.9). A dose de 100 kg ha⁻¹ de N produziu 15% mais fitomassa seca de colmos e 9% mais fitomassa seca na planta toda que a dose de 50 kg ha⁻¹ de N.

No experimento USA não houve efeito da adubação de soqueiras e nem interação entre a adubação de plantio e de soqueira na produtividade da cana-soca, em nenhuma das partes da planta (Tabela 5.10). Esse mesmo efeito foi observado no ciclo de cana-planta para a produtividade, o que foi justificado pelo aporte de N adicionado na reforma do canavial (FRANCO, 2008). Aparentemente, esse efeito pode ter continuado na cana-soca.

Os resultados obtidos por Sampaio et al. (1984) e Bittencourt et al. (1986) indicaram que o solo contribuiu com grande quantidade do N absorvido pelas plantas, o que pode estar relacionado ao aumento da fertilidade do solo (URQUIAGA et al., 1991), proveniente da mineralização da matéria orgânica. Bittencourt et al. (1986), ainda mostrou que o efeito residual do N no solo tende a diminuir as respostas dos fertilizantes nitrogenados, devido à pequena quantidade do fertilizante absorvido em relação ao total de N acumulado pela cana-de-açúcar. Segundo Vitti (2003), em canaviais onde não se realiza a queima por vários anos, a saída de N é menor e haverá menor necessidade de fertilização com N.

Cardoso (2002) relatou que no ano agrícola de 1998/99, por motivos econômicos, houve redução da adubação nitrogenada na terceira soca (100 para 30 kg ha⁻¹ de N), o que resultou numa queda de 30% na produção, ou seja, 40 Mg ha⁻¹ em relação a segunda soca.

Tabela 5.9 - Efeito das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira na produção de fitomassa seca do primeiro ciclo de cana-soca, no experimento da USL

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50		100		50		100		50		100	
	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea		raízes		planta toda	
	fitomassa seca - Mg ha ⁻¹											
0	15,72	20,31	7,51	8,29	3,56	3,99	26,78	32,59	2,18	2,12	28,97	34,71
40	18,27	20,06	7,45	8,23	3,76	3,85	29,47	32,15	-----	-----	-----	-----
80	14,73	19,13	6,94	7,99	3,15	3,57	24,83	30,69	-----	-----	-----	-----
120	16,67	17,13	7,09	6,79	3,22	3,21	26,98	27,12	2,23	2,28	29,21	29,40
média	16,35B	19,16A	7,25B	7,82A	3,42A	3,65A	27,02B	30,64A	2,21A	2,20A	29,09B	32,06A
F - bloco	0,89 ^{ns}		4,11*		6,00*		0,56 ^{ns}		2,42 ^{ns}		0,83 ^{ns}	
F - cana-planta	0,86 ^{ns}		1,35 ^{ns}		3,08 ^{ns}		1,18 ^{ns}		0,31 ^{ns}		0,69 ^{ns}	
F - cana-soca	9,10*		4,29*		1,33 ^{ns}		7,79*		0,00 ^{ns}		5,24*	
F - planta x soca	1,17 ^{ns}		1,16 ^{ns}		0,33 ^{ns}		1,13 ^{ns}		0,18 ^{ns}		4,60 ^{ns}	
CV% cana-planta	18		14		14		16		17		20	
CV% cana-soca	15		11		16		13		39		8	

^{ns} - não significativo; * - significativos a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam médias entre colunas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.10 - Efeito das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira na produção de fitomassa seca do primeiro ciclo de cana-soca, no experimento da USA

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50		100		50		100		50		100	
	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea		raízes		planta toda	
	fitomassa seca - Mg ha ⁻¹											
0	24,54	29,44	8,66	10,11	4,84	4,83	38,04	44,39	2,01	2,23	40,05	46,62
40	27,56	26,74	9,69	10,35	4,78	4,93	42,03	42,03	-----	-----	-----	-----
80	26,66	25,54	9,99	10,85	5,06	4,89	41,70	41,29	-----	-----	-----	-----
120	25,85	26,02	9,39	8,78	4,45	4,23	39,69	39,03	2,77	2,18	42,46	41,21
média	26,15	26,94	9,43	10,02	4,78	4,72	40,37	41,68	2,39	2,20	42,76	43,91
F - bloco	1,60 ^{ns}		3,38 ^{ns}		2,26 ^{ns}		1,04 ^{ns}		0,84 ^{ns}		0,82 ^{ns}	
F - cana-planta	0,35 ^{ns}		1,80 ^{ns}		1,45 ^{ns}		0,76 ^{ns}		1,02 ^{ns}		0,81 ^{ns}	
F - cana-soca	0,92 ^{ns}		2,47 ^{ns}		0,04 ^{ns}		1,44 ^{ns}		0,11 ^{ns}		3,21 ^{ns}	
F - planta x soca	2,90 ^{ns}		1,33 ^{ns}		0,09 ^{ns}		2,36 ^{ns}		0,53 ^{ns}		0,99 ^{ns}	
CV% cana-planta	11		13		11		9		31		8	
CV% cana-soca	9		11		17		8		49		4	

^{ns} - não significativo.

5.3.3.2 Teor e acúmulo de N na planta

Houve efeito dos tratamentos de cana-planta nos teores de N dos colmos, parte aérea e planta toda da cana-soca (Tabela 5.11). Na média das doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N houve incremento nos teores de N com os tratamentos aplicados à cana-planta. Nos colmos o efeito das doses de N de plantio foi quadrático ($r^2 = 0,99$), sendo que, pela regressão, a dose que propiciou o maior teor de N no tecido foi a de 41 kg ha⁻¹. Para a parte aérea o efeito das doses de N de plantio também foi quadrático ($r^2 = 0,99$) sendo o maior teor do nutriente na parte aérea foi obtido na dose de 25 kg ha⁻¹ de N. Para os resultados de planta toda, nos quais só foram avaliadas as doses de 0 e 120 kg ha⁻¹ de N de plantio, o teor, na média dos tratamentos de soqueira, foi maior no tratamento testemunha. Também houve efeito dos tratamentos de soqueira no teor de N das folhas secas e da parte aérea da cana-soca, sendo maior na dose de 100 kg ha⁻¹ de N. Não houve interação entre doses de plantio e de soqueira.

No experimento USA os tratamentos de plantio, de soqueira ou a interação entre eles não alterou o teor de N nas partes da cana-soca (Tabela 5.12), os quais, nos dois experimentos, foram bem semelhantes, apesar de, em tese, a diferença de produtividade entre as duas áreas ter como causas diferenças ambientais que alteraram a disponibilidade do nutriente. No entanto, é notável os maiores teores de N nos ponteiros e raízes do experimento USL, possivelmente por efeito de concentração do nutriente, já que a produtividade foi menor que a da USA.

Quanto ao acúmulo de N, no experimento USL houve efeito das doses de N de plantio e de soqueira apenas para os colmos da cana-soca (Tabela 5.13), porém sem interação entre os tratamentos. O máximo acúmulo de N foi obtido com a dose de 33,6 kg ha⁻¹ de N no plantio (regressão quadrática - $r^2 = 0,93$), na média das doses de 50 e 100 kg ha⁻¹ de N na soqueira. Em relação as doses de soqueiras, a de 100 kg ha⁻¹ de N produziu 4,43 Mg ha⁻¹ de fitomassa seca de colmos a mais que a de 50 kg ha⁻¹ de N.

Já no experimento USA, as doses de N de plantio ou de soqueira ou a interação entre elas não interferiram no acúmulo de N pela cana-soca (Tabela 5.14). As plantas do experimento USA acumularam 37 kg ha⁻¹ de N a mais que as do experimento USL.

Esses 35% acumulados a mais de N equivalem a diferença de produção, 30% maior em fitomassa seca na USA.

O acúmulo de N varia com o cultivar de cana-de-açúcar, número de cortes, ciclo da cultura, disponibilidade dos elementos na solução do solo, entre outros, que depende também dos fatores edafo-climáticos, o que justifica a diferença entre as áreas, apesar de o cultivar plantado ser o mesmo (ZAMBELLO JUNIOR; AZEREDO, 1983; LIMA et al., 1987; ROSSIELLO, 1987; WENG et al., 1993; MUCHOW; ROBERTSON, 1994; WOOD et al., 1996; COURTAILLAC et al., 1998). Perdas de N pela parte aérea, que podem chegar a 90 kg ha^{-1} no ciclo de cana-soca (TRIVELIN et al., 2002a), ou a translocação do N da parte aérea ao sistema radicular também influenciam no acúmulo de N nas partes da planta. O acúmulo de N na parte aérea da cana-de-açúcar relaciona-se diretamente com a sua perda e/ou translocação para o sistema radicular (VITTI, 2003).

Tabela 5.11 - Teor de N das plantas colhidas no primeiro ciclo de cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira, no experimento da USL

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	50		100		Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹				50		100	
	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea		raízes		planta toda	
	teor de N - g kg ⁻¹											
0	2,09	2,15	4,19	3,86	9,01	9,90	3,59	3,54	4,59	4,81	3,67	3,61
40	2,25	2,24	4,12	3,76	9,31	9,46	3,63	3,50	-----	-----	-----	-----
80	2,32	2,01	4,08	3,58	9,64	9,16	3,74	3,24	-----	-----	-----	-----
120	1,72	1,75	4,06	3,76	9,74	8,99	3,30	3,12	4,76	4,76	3,42	3,25
média	2,10A	2,04A	4,11A	3,74B	9,43A	9,38A	3,56A	3,35B	4,67A	4,78A	3,54A	3,43A
F - bloco	1,03 ^{ns}		0,36 ^{ns}		0,90 ^{ns}		6,71*		19,8*		18,15*	
F - cana-planta	16,35**		0,23 ^{ns}		0,02 ^{ns}		7,56**		0,62 ^{ns}		43,31**	
F - cana-soca	1,06 ^{ns}		6,51*		0,06 ^{ns}		9,93**		0,19 ^{ns}		1,48 ^{ns}	
F - planta x soca	2,33 ^{ns}		0,10 ^{ns}		2,95 ^{ns}		2,02 ^{ns}		0,18 ^{ns}		0,28 ^{ns}	
CV% cana-planta	8		12		8		5		3		3	
CV% cana-soca	8		10		6		6		12		5	

^{ns} - não significativo; ** e * - significativos a 1 e a 5% de probabilidade respectivamente; letras maiúsculas comparam médias entre colunas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.12 - Teor de N das plantas colhidas no primeiro ciclo de cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira, no experimento da USA

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	50		100		Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹				50		100	
	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea		raízes		planta toda	
	teor de N - g kg ⁻¹											
0	1,91	1,92	3,58	3,78	9,99	9,68	3,32	3,19	5,35	5,72	3,42	3,31
40	2,03	2,11	3,50	3,77	10,12	10,74	3,30	3,53	-----	-----	-----	-----
80	1,91	2,02	3,61	3,64	10,43	10,89	3,36	3,51	-----	-----	-----	-----
120	1,94	2,11	3,98	3,38	9,90	9,97	3,31	3,26	5,48	5,53	3,45	3,38
média	1,95	2,04	3,67	3,64	10,11	10,32	3,32	3,37	5,42	5,63	3,44	3,34
F - bloco	1,30 ^{ns}		0,33 ^{ns}		0,65 ^{ns}		0,30 ^{ns}		3,69 ^{ns}		0,37 ^{ns}	
F - cana-planta	1,51 ^{ns}		0,07 ^{ns}		2,04 ^{ns}		1,86 ^{ns}		0,05 ^{ns}		0,14 ^{ns}	
F - cana-soca	4,40 ^{ns}		0,06 ^{ns}		0,74 ^{ns}		0,80 ^{ns}		0,62 ^{ns}		1,06 ^{ns}	
F - planta x soca	0,68 ^{ns}		4,35 ^{ns}		0,75 ^{ns}		2,21 ^{ns}		0,37 ^{ns}		0,03 ^{ns}	
CV% cana-planta	8		9		8		6		5		7	
CV% cana-soca	6		7		7		5		10		5	

^{ns} - não significativo.

Tabela 5.13 - Acúmulo de N das plantas colhidas no primeiro ciclo de cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira, no experimento da USL

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50 colmos	100	50 folhas secas	100	50 ponteiros	100	50 parte aérea	100	50 raízes	100	50 planta toda	100
0	32,90	44,57	31,09	32,25	32,44	39,67	96,44	116,49	10,01	10,19	106,45	126,68
40	40,77	44,61	31,08	30,88	35,24	36,34	107,09	111,83	-----	-----	-----	-----
80	33,42	38,30	28,35	28,58	30,40	32,50	92,17	99,38	-----	-----	-----	-----
120	28,77	30,14	29,00	25,43	31,68	28,76	89,44	84,33	10,61	10,85	100,05	95,18
média	33,97B	39,40A	29,88A	29,29A	32,44A	34,32A	96,28A	103,01A	10,31A	10,52A	103,25A	110,93A
F - bloco	0,97 ^{ns}		3,84 ^{ns}		4,14*		3,91*		1,52 ^{ns}		1,90 ^{ns}	
F - cana-planta	4,40*		1,21 ^{ns}		1,86 ^{ns}		3,82*		0,83 ^{ns}		3,86 ^{ns}	
F - cana-soca	5,00*		0,13 ^{ns}		1,16 ^{ns}		1,67 ^{ns}		0,00 ^{ns}		1,55 ^{ns}	
F - planta x soca	0,81 ^{ns}		0,40 ^{ns}		1,43 ^{ns}		0,99 ^{ns}		0,00 ^{ns}		4,20 ^{ns}	
CV% cana-planta	21		18		19		15		15		18	
CV% cana-soca	19		16		15		15		37		11	

^{ns} - não significativo; * - significativos a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam médias entre colunas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.14 - Acúmulo de N das plantas colhidas no primeiro ciclo de cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio e de soqueira, no experimento da USA

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50 colmos	100	50 folhas secas	100	50 ponteiros	100	50 parte aérea	100	50 raízes	100	50 planta toda	100
0	46,89	56,15	31,01	38,25	48,11	47,03	126,00	141,43	10,76	12,92	136,76	154,35
40	55,93	55,25	34,01	39,30	48,63	56,28	138,57	150,83	-----	-----	-----	-----
80	51,81	51,57	36,45	40,02	52,35	52,72	140,62	144,31	-----	-----	-----	-----
120	49,99	55,26	37,20	29,72	43,49	42,80	130,68	127,78	15,09	11,91	145,77	139,69
média	51,15	54,56	34,67	36,82	48,14	49,71	133,97	141,09	12,93	12,42	141,27	147,02
F - bloco	2,14 ^{ns}		2,30 ^{ns}		1,45 ^{ns}		2,30 ^{ns}		0,79 ^{ns}		1,23 ^{ns}	
F - cana-planta	0,48 ^{ns}		0,69 ^{ns}		3,40 ^{ns}		3,45 ^{ns}		0,65 ^{ns}		0,39 ^{ns}	
F - cana-soca	2,36 ^{ns}		2,54 ^{ns}		0,17 ^{ns}		2,63 ^{ns}		0,03 ^{ns}		1,12 ^{ns}	
F - planta x soca	1,15 ^{ns}		2,94 ^{ns}		0,30 ^{ns}		0,90 ^{ns}		0,81 ^{ns}		4,76 ^{ns}	
CV% cana-planta	15		20		14		8		33		6	
CV% cana-soca	12		11		22		9		47		8	

^{ns} - não significativo; *significativo a 5% de probabilidade; letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas entre as linhas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3.3.3 Aproveitamento e recuperação do N da adubação de cana-soca

A adubação nitrogenada de plantio não influenciou a absorção do N da adubação de soqueira em nenhuma das áreas experimentais (Tabelas 5.15 e 5.16), apesar de parte do N da planta ser do adubo residual de plantio, como já discutido. Também, em nenhuma das áreas experimentais, houve interação entre as adubações de plantio e de soqueira na absorção do N do adubo de cana-soca. Porém, as doses de N na cana-soca tiveram efeito diferenciado na absorção de N, nas duas áreas experimentais em todas as partes da planta. Em todos os compartimentos avaliados a dose de 100 kg ha⁻¹ de N propiciou maiores absorções de N do adubo de soqueira que a menor dose. A maior parte do N absorvido do adubo ficou na parte aérea da planta por efeito de concentração de massa.

Quanto a eficiência de utilização do adubo, no experimento USL os tratamentos aplicados à cana-soca também diferiram (Tabela 5.17). Nos colmos, nos ponteiros e na parte aérea a recuperação do N foi mais eficiente na dose de 100 kg ha⁻¹ de N do que na dose 50 kg ha⁻¹. Apenas para folhas secas a menor dose de N teve melhor recuperação, possivelmente pelo efeito dessa dose se concentrar mais no início do ciclo de desenvolvimento. Porém, quando consideradas as raízes e a planta toda, a recuperação foi igual para as duas doses (Tabela 5.17). Não houve diferença de recuperação em relação à adubação de cana-planta ou interação entre as adubações.

No experimento USA o efeito das doses de N de plantio, de soqueira ou a interação entre elas não foi significativo, sendo a eficiência de recuperação do adubo nitrogenado igual em ambas as doses aplicadas na cana-soca (Tabela 5.18).

As recuperações médias da planta toda foram de 32% no experimento USL e de 41% no experimento USA (Tabelas 5.17 e 5.18), sendo a diferença entre elas de 28%. Essa diferença de recuperação entre os dois experimentos se deu em função da maior produtividade da cana-soca do experimento USA que, conseqüentemente, acumulou mais nitrogênio em sua fitomassa (35% a mais). Esse fato mostra que a extração do nutriente pela cultura não é somente resultado da disponibilidade do nutriente mas, também, do potencial produtivo do ambiente. Caso contrário a cana-soca do experimento USL, mesmo produzindo menos que do experimento USA, acumularia a mesma quantidade de N em sua fitomassa por esse também estar disponível.

Na literatura são raros os trabalhos que mostram que a cana-de-açúcar recupera mais de 40% do N-fertilizante (BURR; TAKAHASHI, 1955; LIMA JUNIOR, 1982; SAMPAIO et al., 1987; YADAV et al., 1990; TRIVELIN et al., 1995, 1996, 2002a,b; VALLIS et al., 1996b). Essa baixa recuperação pode estar associada ao efeito residual do fertilizante do solo em função de sua elevada imobilização (NG KEE KWONG et al., 1986; COURTAILLAC et al., 1998) e pelas perdas do N no sistema solo-planta-atmosfera como visto anteriormente.

Tabela 5.15 - N das plantas proveniente do fertilizante (NPPF) aplicado na cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio, no experimento da USL

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50 colmos		100 folhas secas		50 ponteiros		100 parte aérea		50 raízes		100 planta toda	
	NPPF (kg ha ⁻¹)											
0	4,12	15,17	6,69	9,58	3,49	8,49	14,30	33,24	0,69	1,35	14,99	34,59
40	5,68	15,01	6,58	10,56	0,74	11,11	13,01	36,68	-----	-----	-----	-----
80	5,06	13,27	5,65	10,12	4,10	9,50	14,81	32,88	-----	-----	-----	-----
120	6,04	13,09	5,97	7,99	3,65	8,43	15,66	29,50	0,67	1,52	16,34	31,03
média	5,23B	14,13A	6,22B	9,56A	3,00B	9,38A	14,45B	33,08A	0,68B	1,44A	15,67B	32,81A
F - bloco	0,77 ^{ns}		0,93 ^{ns}		1,09 ^{ns}		0,19 ^{ns}		0,02*		0,25 ^{ns}	
F - cana-planta	0,19 ^{ns}		0,59 ^{ns}		0,38 ^{ns}		0,20 ^{ns}		0,03 ^{ns}		0,07 ^{ns}	
F - cana-soca	112,60**		19,94**		144,43**		141,95**		16,73**		48,53**	
F - planta x soca	1,03 ^{ns}		0,54 ^{ns}		2,30 ^{ns}		1,66 ^{ns}		0,27 ^{ns}		0,99 ^{ns}	
CV% cana-planta	33		31		30		24		81		35	
CV% cana-soca	25		27		24		19		35		20	

^{ns} - não significativo; ** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade respectivamente; letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas entre as linhas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.16 - N das plantas proveniente do fertilizante (NPPF) aplicado na cana-soca em função das adubações nitrogenadas de plantio, no experimento da USA

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50 colmos		100 folhas secas		50 ponteiros		100 parte aérea		50 raízes		100 planta toda	
	NPPF (kg ha ⁻¹)											
0	7,72	17,07	6,69	10,91	7,26	11,17	21,67	39,14	0,68	1,34	22,36	40,48
40	6,08	17,14	6,46	13,74	6,30	13,49	18,84	44,37	-----	-----	-----	-----
80	7,98	18,59	7,31	16,05	8,10	14,75	23,39	49,39	-----	-----	-----	-----
120	8,52	16,67	6,60	8,69	5,23	9,44	20,35	34,80	1,03	1,28	21,38	36,09
média	7,57B	17,37A	6,77B	12,35A	6,72B	12,21A	21,06B	41,93A	0,86B	1,31A	21,87B	38,28A
F - bloco	1,91 ^{ns}		0,83 ^{ns}		1,10 ^{ns}		0,35 ^{ns}		0,56 ^{ns}		1,47 ^{ns}	
F - cana-planta	0,38 ^{ns}		1,39 ^{ns}		5,02*		2,61 ^{ns}		1,94 ^{ns}		1,07 ^{ns}	
F - cana-soca	103,35**		20,98**		37,92**		86,43**		4,18 ^B		22,07**	
F - planta x soca	0,47 ^{ns}		1,51 ^{ns}		0,88 ^{ns}		1,60 ^{ns}		0,79 ^{ns}		0,24 ^{ns}	
CV% cana-planta	26		44		23		20		19		17	
CV% cana-soca	22		36		27		20		42		23	

^{ns} - não significativo; ** - significativo a 1% de probabilidade; letras maiúsculas comparam médias entre, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.17 - Recuperação do N do fertilizante aplicado na cana-soca, no experimento da USL

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50		100		50		100		50		100	
	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea		raízes		planta toda	
	Recuperação (%)											
0	8,25	15,17	13,38	9,58	6,98	8,49	28,61	33,24	1,38	1,35	29,99	34,59
40	11,36	15,01	13,17	10,56	1,49	11,11	26,01	36,68	-----	-----	-----	-----
80	10,12	13,27	11,29	10,12	8,19	9,50	29,61	32,88	-----	-----	-----	-----
120	12,08	13,09	11,94	7,99	7,31	8,43	31,33	29,50	1,34	1,52	32,67	31,03
média	10,45B	14,13A	12,45A	9,56B	5,99B	9,38A	28,89B	33,08A	1,36A	1,44A	31,33A	32,81A
F - bloco	0,46 ^{ns}		1,22 ^{ns}		1,98 ^{ns}		0,40 ^{ns}		0,04*		0,40 ^{ns}	
F - cana-planta	0,25 ^{ns}		0,42 ^{ns}		1,45 ^{ns}		0,02 ^{ns}		0,01 ^{ns}		0,01 ^{ns}	
F - cana-soca	15,61**		5,94*		18,57**		3,30*		0,08 ^{ns}		0,17 ^{ns}	
F - planta x soca	1,72 ^{ns}		0,30 ^{ns}		2,99 ^{ns}		1,24 ^{ns}		0,16 ^{ns}		0,75 ^{ns}	
CV% cana-planta	33		33		32		26		86		36	
CV% cana-soca	21		30		29		21		37		23	

^{ns} - não significativo; ** e *significativos a 1 e 5% de probabilidade respectivamente; letras maiúsculas comparam médias entre colunas e letras minúsculas entre as linhas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5.18 - Recuperação do N do fertilizante aplicado na cana-soca, no experimento da USA

Doses de N (plantio) kg ha ⁻¹	Doses de N (soqueira) - kg ha ⁻¹											
	50		100		50		100		50		100	
	colmos		folhas secas		ponteiros		parte aérea		raízes		planta toda	
	Recuperação (%)											
0	15,44	17,07	13,38	10,91	14,52	11,17	43,34	39,14	1,37	1,34	44,71	40,48
40	12,15	17,14	12,93	13,74	12,61	13,49	37,68	44,37	-----	-----	-----	-----
80	15,97	18,59	14,61	16,05	16,20	14,75	46,78	49,39	-----	-----	-----	-----
120	17,04	16,67	13,20	8,69	10,46	9,44	40,70	34,80	2,05	1,28	42,75	36,09
média	15,15	17,37	13,53	12,35	13,45	12,21	42,13	41,93	1,71	1,31	43,73	38,28
F - bloco	2,55 ^{ns}		0,55 ^{ns}		1,16 ^{ns}		0,33 ^{ns}		0,44 ^{ns}		2,89 ^{ns}	
F - cana-planta	0,73 ^{ns}		1,17 ^{ns}		2,85 ^{ns}		3,12 ^{ns}		1,76 ^{ns}		1,82 ^{ns}	
F - cana-soca	3,78 ^{ns}		0,95 ^{ns}		1,15 ^{ns}		0,01 ^{ns}		1,30 ^{ns}		1,60 ^{ns}	
F - planta x soca	0,95 ^{ns}		1,33 ^{ns}		0,57 ^{ns}		1,34 ^{ns}		1,11 ^{ns}		0,08 ^{ns}	
CV% cana-planta	24		38		21		17		31		12	
CV% cana-soca	20		27		25		17		47		21	

^{ns} - não significativo; *significativos a 5% de probabilidade; letras minúsculas comparam médias entre as linhas, para cada parte da planta, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3.4 Balanço de ^{15}N no sistema solo-planta

Pela Figura 5.5 pode-se observar que no experimento USL, independente da dose de N no plantio, o aproveitamento do N da adubação de soqueira foi proporcional à dose aplicada. No tratamento que recebeu a dose de 50 kg ha^{-1} de N a recuperação média foi de 16 kg ha^{-1} , o que correspondeu a 31% da dose de N (Figura 5.6). No tratamento que recebeu 100 kg ha^{-1} de N a recuperação do adubo foi de 33 kg ha^{-1} , que correspondeu a esse mesmo valor em eficiência de recuperação do adubo (33%). Assim, as eficiências de recuperação, independente da dose, foram semelhantes, mostrando que a absorção do adubo nitrogenado foi proporcional à dose aplicada. Trivelin et al. (2002b) observaram esse mesmo efeito em cana-planta cultivada em vasos.

Parte do N aplicado à soqueira foi encontrada no solo, também proporcionalmente à dose do nutriente (Figura 5.5). Da dose de 50 kg ha^{-1} de N, 12 kg ha^{-1} ficaram no solo, o que corresponde a 24% da dose (Figura 5.6). Dos 100 kg ha^{-1} de N do outro tratamento, 33 kg ha^{-1} de N do adubo foram recuperados no solo, o que correspondeu a 33% do adubo. Diferente do N recuperado na planta, no solo a recuperação foi maior na maior dose do adubo (Figura 5.6). Explica-se o ocorrido pelas possíveis perdas ocorridas, ou pelo N não contabilizado pelo método isotópico. Proporcionalmente, o N não contabilizado da dose de 50 kg ha^{-1} de N foi maior que na dose de 100 kg ha^{-1} .

Nesse experimento, as perdas, aparentemente, não acompanharam a mesma proporção da dose de nitrogênio aplicado, sendo que na maior dose foi obtida maior recuperação, ficando esse N, possivelmente, disponível para o próximo ciclo, como já foi mostrado nos resultados de efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na cana-soca. Na dose de 50 kg ha^{-1} de N, 44%, na média das doses de cana-planta, não foi recuperado. Na dose de 100 kg ha^{-1} , 34% do N não foi recuperado.

A Figura 5.6 mostra que, apesar de não haver diferença entre as recuperações para as doses de cana-soca em função da adubação nitrogenada de plantio, quando no plantio foi aplicada a dose de 120 kg ha^{-1} de N as proporções de recuperação entre planta, solo e não recuperado foram mais equilibradas entre as doses de 50 e 100 kg ha^{-1} de N. Esse fato não ocorreu quando não foi aplicado N no plantio.

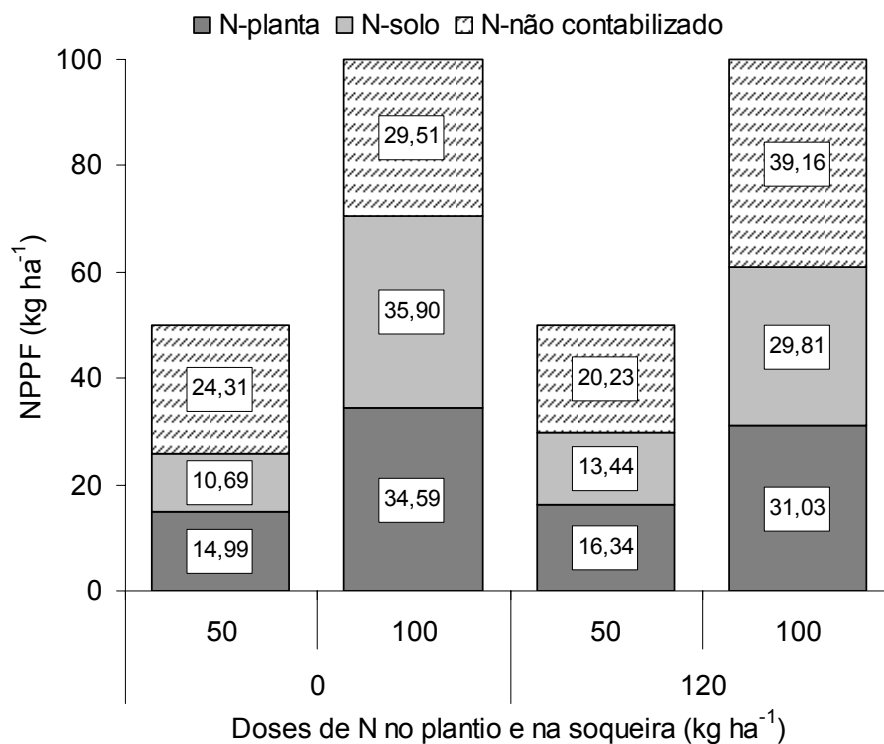


Figura 5.5 - Nitrogênio na planta (cana-soca), no solo e o não recuperado provenientes do fertilizante aplicado após o primeiro corte, no experimento USL

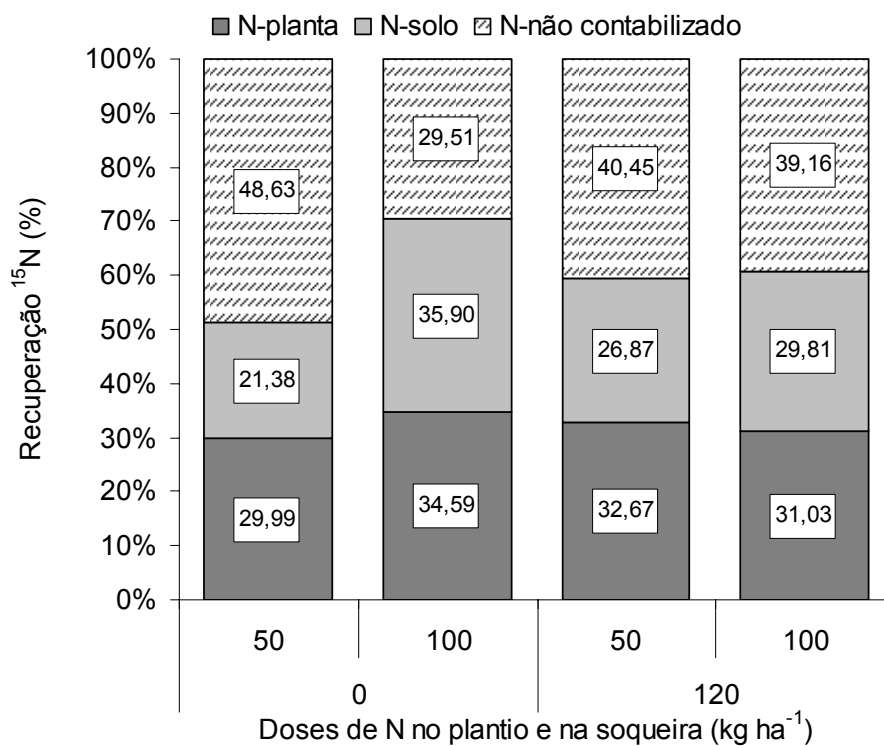


Figura 5.6 - Recuperação do N do fertilizante de cana-soca no sistema solo-planta, no experimento USL

Na Figura 5.7 pode-se observar o comportamento da cana-soca no experimento USA para a recuperação do N da adubação realizada após o corte da cana-planta. Independente da dose de N no plantio, o aproveitamento do N da adubação de soqueira foi proporcional à dose aplicada na soqueira, como no experimento USL. No tratamento que recebeu 50 kg ha^{-1} de N a recuperação média foi de 22 kg ha^{-1} , o que correspondeu a 44% da dose de N aplicada (Figura 5.8). No tratamento 100 kg ha^{-1} de N a recuperação do adubo foi de 38 kg ha^{-1} de N, com eficiência de 38% de recuperação. Assim, a eficiência, independente da dose, foi semelhante entre elas, mostrando que a absorção do adubo nitrogenado foi proporcional à dose aplicada.

Parte do N da adubação de soqueira foi encontrada no solo, também em partes proporcionais às doses do adubo (Figura 5.7). No entanto, de modo diferente do experimento USL, houve maior recuperação de N no solo que recebeu 120 kg ha^{-1} de N no plantio. Da dose de 50 kg ha^{-1} de N, aplicada no tratamento testemunha no plantio, 13 kg ha^{-1} de N ficaram no solo, correspondentes a 27% da dose aplicada, enquanto para a mesma dose aplicada no tratamento 120 kg ha^{-1} de N no plantio, 20 kg ha^{-1} de N ficaram no solo, o que corresponde a 40% da dose aplicada (Figuras 5.7 e 5.8). Da dose de 100 kg ha^{-1} de N, 21 kg ha^{-1} do adubo foram encontrados no solo, o que corresponde a 21% da dose.

Em contraposição ao ocorrido no experimento USL, no solo o nutriente foi recuperado mais eficientemente na menor dose do adubo (Figura 5.8). Esse fato pode ser explicado pela maior produtividade no experimento USA e maior aproveitamento do N do adubo pela planta. Proporcionalmente, o N não contabilizado da dose de 100 kg ha^{-1} foi maior que na dose de 50 kg ha^{-1} de N. As perdas ocorridas não acompanharam a mesma proporção da dose de N aplicado, sendo que na maior dose a recuperação foi menor, ou a perda do sistema solo-planta foi maior. Na dose de 50 kg ha^{-1} de N, 23%, na média, não foi recuperado, e na dose de 100 kg ha^{-1} , 41%. Gava et al. (2002) e Franco (2008) encontraram valores semelhantes de N-fertilizante não recuperado.

A Figura 5.8 mostra que, apesar da maior produtividade aumentar a recuperação do N da adubação, doses maiores que as requeridas pelo sistema solo-planta podem sair do sistema por estarem mais disponíveis e passíveis de processos de perdas.

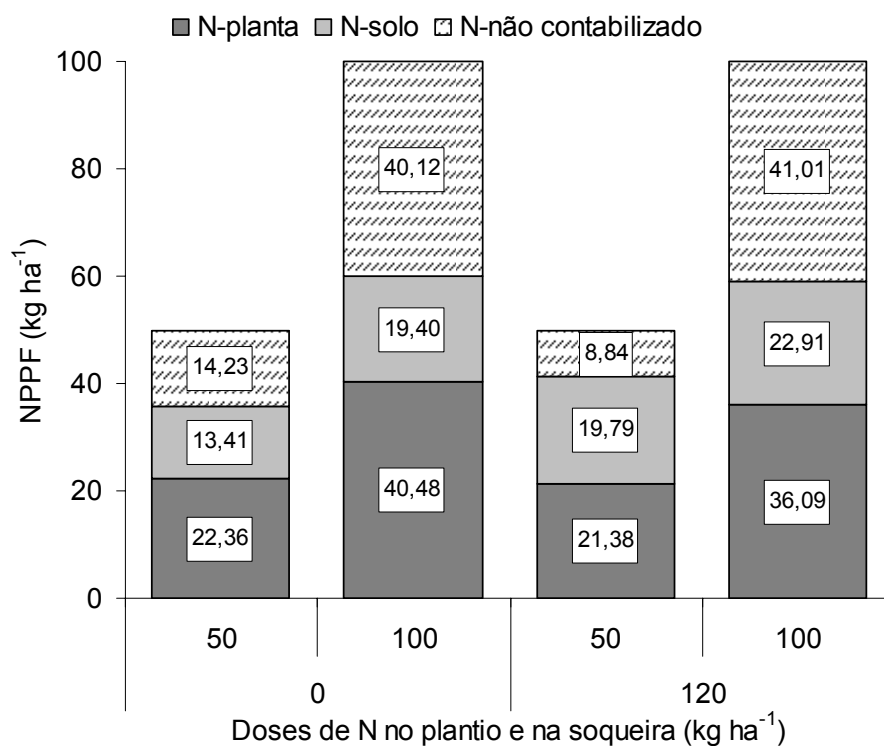


Figura 5.7 - Nitrogênio na planta (cana-soca), no solo e o não recuperado provenientes do fertilizante aplicado após o primeiro corte, no experimento USA

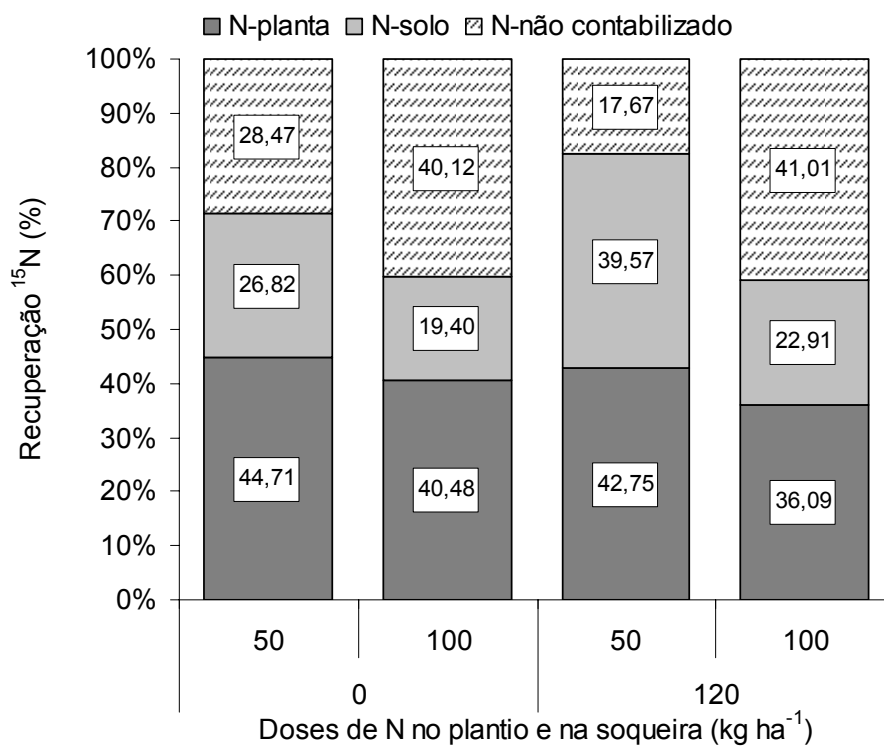


Figura 5.8 - Recuperação do N do fertilizante de cana-soca no sistema solo-planta, no experimento USA

O nitrogênio assimilado pelos vegetais pode, em parte, perder-se pelas raízes (exsudação), pela parte aérea (volatilização), principalmente na forma de amônia, por lixiviação de compostos solúveis das folhas na água das chuvas, ou por gutação, o que acarreta subestimativas nas determinações da utilização do N de fertilizantes pelo método com ^{15}N , feitas na maturidade (NG KEE KWONG; DEVILLE, 1994a,b; TRIVELIN et al., 2002a). Trivelin et al. (1996) observaram essas perdas, uma vez que o acúmulo de N-fertilizante foi 1,8 vezes maior para a cana cortada no início de safra (ciclo de 7 meses) em relação a final de safra (10 meses). Porém, é bom lembrar que esse índice poderia ser menor se os autores contabilizassem a planta toda, ou seja, levando em consideração a translocação do N da parte aérea para o sistema radicular (TRIVELIN, 2000).

Ng Kee Kwong e Deville (1994a,b) e Trivelin et al. (1996, 2002b) estimaram perdas da ordem de 90 kg ha^{-1} de N através da parte aérea da cana-de-açúcar, que poderiam estar associadas aos fatores meteorológicos como temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento, levando a cultura a apresentar maior perda de N pela parte aérea, com aumento no ponto de compensação de amônia.

Trivelin et al. (2002a) ao efetuarem o balanço de nitrogênio no ciclo de cana-planta e cana-soca atribuíram as perdas do N no sistema solo-planta à desnitrificação do N no primeiro ciclo, devido os restos culturais incorporados ao solo como na reforma do canal. Com a decomposição do resíduo há o consumo de oxigênio, tornado o ambiente anóxico, associado principalmente com a saturação do solo ocorrida no início e fim do experimento, devido a elevada pluviosidade. É de se considerar que no solo cultivado com cana-de-açúcar, em condições anóxicas, a nitrificação é muito rápida.

As perdas de N por lixiviação podem ser desconsideradas, pois na maioria dos ensaios com o emprego de ^{15}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}N). Foi observado pela autora que o N total lixiviado correspondeu a $13,1 \text{ mg vaso}^{-1}$, equivalendo a $0,44 \text{ kg ha}^{-1}$ de N que foi oriundo, provavelmente, do N nativo do solo. No trabalho de Ng Kee Kwong e Deville (1984), desenvolvido em vasos cultivados com cana-de-açúcar, não ocorreram perdas de N por lixiviação mesmo em condições de elevada pluviosidade média anual, de 1300 e

3200 mm, em duas regiões das Ilhas Maurício. O fato foi atribuído à imobilização microbiológica e também ao movimento mais lento de NO_3 em relação ao da água percolada. Oliveira et al. (1999b) também não constataram perdas de N por lixiviação utilizando a técnica isotópica (^{15}N). Aliado a isso, Ghiberto et al. (2007) monitoraram, no experimento USA, 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 kg ha^{-1} de N, porém as perdas de ^{15}N proveniente do fertilizante foram desprezíveis, sendo de 21 g ha^{-1} .

A ocorrência de volatilização de amônia do solo pode ser desconsiderada devido a aplicação de sulfato de amônio como ^{15}N -fertilizante, mesmo sobre a palha. Na Austrália, o sulfato de amônio foi considerado a melhor fonte de N para ser aplicado em superfície, em solo coberto com palha de cana-de-açúcar, devido às reduzidas perdas de amônia por volatilização (WOOD, 1991). Vitti (2003) considerou as perdas de amônia por volatilização praticamente desprezíveis quando esse foi aplicado sobre a palha da cana-de-açúcar, o que resultou no dobro da recuperação pela cana-de-açúcar do N da fonte sulfato de amônio em relação à da uréia, sendo menores suas perdas no sistema solo-planta. 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.

Dentro do balanço do ^{15}N -fertilizante, tem-se o acumulado pela cultura. O restante, além de ser absorvido pela planta ou perder-se, pode ficar no solo, tornando-se uma fonte residual potencial para os ciclos agrícolas subseqüentes da cultura. Dependendo das condições climáticas, solo, topografia, cultivar, manejo, entre outros, poderá haver maiores ou menores perdas ou ganhos desse nutriente (FRANCO, 2008).

Existem casos que as perdas são maiores que a própria recuperação do ^{15}N -fertilizante. Dessas perdas, destaca-se a gasosa, por desnitrificação, proveniente de um manejo inadequado, associado principalmente com as condições edafo-climáticas (FRENEY et al., 1992; NG KEE KWONG; DEVILLE, 1994b; TRIVELIN et al., 2002a).

5.4 Conclusões

Não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade em fitomassa seca e no acúmulo de N do primeiro ciclo de cana soca.

A recuperação (%) pela cana-soca (parte aérea) da uréia-¹⁵N aplicada no plantio, na média dos experimentos, foi de 4,18%, 5,04% e 3,54%, respectivamente, para as doses de 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N.

Na média dos experimentos a recuperação (%) pela cana-soca do N da palha residual da colheita da cana-planta foi de 9%.

A maior dose de N aplicada à cana-soca aumentou a produtividade da planta toda, em relação à menor dose, no experimento USL, as quais não diferiram no experimento USA.

As doses de N na cana-soca não alteraram os teores de N na planta toda e nem o acúmulo do nutriente, nas duas áreas experimentais, independente do tratamento aplicado no plantio.

Houve aumento da recuperação (kg ha⁻¹) de N com a maior dose de soqueira, independente do tratamento de cana-planta, mas a eficiência de utilização do adubo nitrogenado (%) foi a mesma para ambas as doses.

Na média dos experimentos, 37% do adubo nitrogenado foi recuperado na planta (cana-soca), 29% no solo e 34% não foi recuperado.

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.

BURR, G.O.; TAKAHASHI, D.T. Absorption and distribution of nutrients in sugarcane. Part I. Nitrogen. **The Hawaiian Planters Record**, v.55, n.1, p.3-10, 1955.

CARDOSO, F.P. Plantio direto em cana-de-açúcar. **Direto no Cerrado**, v. 7, n.26, p. 4, 2002.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C.; SAFFIGNA, P.G. N cycling in cane fields from ^{15}N labelled trash and residual fertilizer. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 14., 1992, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: Watson Ferguson, 1992. p. 84-89.

_____. The recovery of ^{15}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.

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.

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRENEY, J.R.; DENMED, O.T.; WOOD, A.W.; SAFFIGNA, P.G. Ammonia loss following urea addition to sugar trash blankets. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., 1994, Journsville. **Proceedings...** Journsville: Watson Ferguson, 1994. p. 114-121.

GAVA, G.J.C. **Utilização do nitrogênio da uréia (^{15}N) e da palhada (^{15}N) por soqueira de cana-de-açúcar no manejo sem despalha a fogo**. 1999. 81p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

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.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Balanço do nitrogênio da uréia (^{15}N) e da palhada (^{15}N) no sistema solo-cana-de-açúcar (cana-soca). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 8., 2002, Recife. **Anais...** Olinda: STAB, 2002. p. 245-251.

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.

JANZEN, H.H.; KUCEY, R.M.N. C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 106, p. 35-41, 1988.

LIMA JUNIOR, M.A. **Nitrogen nutrition of sugar cane in N.E. Brazil**. Saskatoon, 1982. 172p. Thesis (Doctor) - University of Saskatchewan.

LIMA, E.; BODDEY, R.M.; DOBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugar cane using a ^{15}N aided nitrogen balance. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 165-170, 1987.

MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Relating crop nitrogen uptake to sugarcane yield. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 1992, Townsville. **Proceedings...** Queensland: Watson Ferguson, 1994. p. 122-129.

MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. New York: Wiley-Science, 1994. p. 81-116.

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}N -labelled urea to sugar cane through a drip-irrigation system in Mauritius. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 39, p. 223-228, 1994.

_____. The course of fertilizer nitrogen uptake by rain fed sugarcane in Mauritius. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v. 122, p. 385-391, 1994b.

NG KEE KWONG, K.F.; DEVILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V. Biological immobilization of fertilizer nitrogen in humid tropical soils of Mauritius. **Soil Science**, Baltimore, v. 141, p. 195-199, 1986.

_____. 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, 1999b.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2359-2362, 1999a.

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**. 2007. 120 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

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.

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. cap. 22, p. 233-243. (IAC. Boletim, 100).

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**. 172 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência de utilização de uréia-¹⁵N 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.; BETTANY, J. Eficiência de utilização da uréia-¹⁵N por cana-planta e em três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4.; CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., Olinda, 1987. **Anais**. Olinda: STAB, 1987.

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

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-¹⁵N 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-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A.; OLIVEIRA, M.W.; MURAOKA, T. Potencialidade da mistura de aquamônia com vinhaça na fertilização de canaviais colhidos sem despalha a fogo. Parte I: Estabilidade química da mistura. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 2, p. 26-29, 1997.

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.; 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. 37, p. 193-201, 2002b.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. Importância de não queimar a palha da cana-de-açúcar. **Comunicado Técnico EMBRAPA**, Brasília, n. 5, p. 1-12, 1991.

VALLIS, I.; CATCHPOOLE, V.R.; HUGHES, R.M.; MYERS, R.J.K.; RIDGE, D.R.; WEIER, K.L. Recovery in plants and soil of ¹⁵N applied as subsurface bands of urea to sugarcane. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 47, p. 355-370, 1996b.

VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, B.A.; WOOD, A.W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, p. 115-132, 1996a.

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

WENG, T.; CHAN, Y.; LI, S.W. 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.

_____. The mode of fertilizer nitrogen uptake of sugarcane. **Taiwan Sugar**, Taipei, v. 40, n. 2, p. 8-11, 1993.

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.

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.

WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. III. Accumulation, partitioning and use of nitrogen. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 223-233, 1996.

YADAV, L.R.; KUMAR, R.; VERMA, R.S. Effects of nitrogen applied through different carriers on yield and quality of sugarcane. **Journal of Agricultural Science**, v.114, p.225-230, 1990.

ZAMBELO JUNIOR, E.; AZEREDO, D.F. Adubação na região centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA, PLANALSUCAR, 1983. cap. 12, p. 289-313.

6 PRODUTIVIDADE E ATRIBUTOS TECNOLÓGICOS DA CANA-DE-AÇÚCAR (CANASOCA) RELACIONADOS COM A ADUBAÇÃO NITROGENADA

Resumo

Dentre as formas de fornecer nitrogênio à cultura da cana-de-açúcar, a adubação nitrogenada de solo é importante por estar diretamente relacionada com a produtividade e longevidade dos canaviais. As respostas à adubação nitrogenada são mais frequentes e constantes para as soqueiras de cana-de-açúcar do que para a cana-planta. Os mecanismos fisiológicos envolvidos com a utilização de N pela cana-de-açúcar não são totalmente claros, principalmente no tocante à utilização das reservas do sistema radicular da cana-planta ou das soqueiras para a rebrota da cultura após as colheitas. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a produtividade, o acúmulo de fitomassa, a qualidade tecnológica e o retorno econômico do canavial no ciclo de cana-soca (segundo corte) em resposta às adubações nitrogenadas de plantio e a realizada após o primeiro corte. Foram desenvolvidos dois experimentos: um na Usina São Luiz (USL), em um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, e outro na Usina Santa Adélia (USA), em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, no Estado de São Paulo. O cultivar plantado foi o SP81-3250. O delineamento experimental para o ciclo de cana-planta foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram uma testemunha, sem adição de N-mineral, e três doses de N na forma de uréia: 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N aplicadas no sulco de plantio. O delineamento experimental para a cana-soca foi igual ao utilizado na cana-planta, mas as parcelas foram divididas em quatro subparcelas que receberam três doses de N cada: 50, 100 e 150 kg ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, mais uma testemunha sem N. Foram estimadas a produtividade de colmos (TCH) e a fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e sistema radicular. Também foram colhidas plantas para análise e avaliação das características tecnológicas da cultura. Com base nessas características e na produtividade em TCH foram calculadas as margens de contribuição econômica dos tratamentos aplicados. Não houve interação significativa das doses de N aplicadas nos ciclos de cana-planta e de cana-soca na produtividade e nos parâmetros tecnológicos da cana-soca, no entanto, observou-se efeito residual da adubação nitrogenada de plantio em TCH nos tratamentos de soqueira que não receberam adubação nitrogenada. As doses de N aplicadas na cana-soca aumentaram a produtividade da cana-de-açúcar, mas não tiveram efeito nos parâmetros tecnológicos da cultura. As margens de contribuição agrícola e industriais obtidas com a adubação nitrogenada da cana-soca, com exceção da dose de 100 kg ha⁻¹ de N aplicada no experimento USA, foram inferiores às obtidas com o tratamento testemunha, o que levou a prejuízo econômico com o manejo nutricional adotado.

Palavras-chave: Cana-planta; Cana-soca; Nitrogênio; Margem de contribuição

Productivity and technological attributes of sugarcane (ratoon) related to nitrogen fertilization

Abstract

Among the ways of supplying nitrogen to sugarcane, nitrogen fertilization applied to the soil is important because it is directly related to sugarcane plantation productivity and longevity. The responses to nitrogen fertilization are more frequent and constant in sugarcane ratoon than in plant cane. The physiological mechanisms involved in the utilization of N by sugarcane are not completely clear, especially with respect to the use of reserves from the plant cane root system or from the ratoon for crop regrowth after each harvest. Within this context, the objective of this study was to evaluate sugarcane plantation productivity, phytomass accumulation, technological quality, and economic return during the ratoon cycle (second harvest) in response to nitrogen fertilizations made at planting and after the first harvest. Two experiments were carried out, one at *Usina São Luiz* (USL), on a TYPIC HAPLUDOX SOIL, and the other at *Usina Santa Adélia* (USA), on a RHODIC HAPLUDOX SOIL, in the State of São Paulo. Cultivar SP81-3250 was planted. The experimental design adopted for the plant cane cycle was organized as random blocks with four replicates. The treatments consisted of a control, without addition of mineral N, and three N doses in the form of urea: 40, 80, and 120 kg ha⁻¹ N applied in the planting furrow. The same experimental design used with plant cane was adopted for ratoon, but the plots were divided into four sub-plots that received three N doses each, 50, 100, and 150 kg ha⁻¹, in the form of ammonium sulfate, in addition to a control without N application. Estimates were obtained for stalk productivity (TSS) and dry phytomass of stalks, leader shoots, dry leaves, and the root system. Plants were also harvested in order to analyze and evaluate the crop's technological traits. Based on these traits and on productivity expressed as TSS, the margins of economic contribution for the applied treatments were calculated. There was no significant interaction between the N doses applied in the plant cane and ratoon cycles on ratoon productivity and on technological parameters, but there was a residual effect of nitrogen fertilization at planting in the ratoon treatments that did not receive fertilization. The N doses applied to ratoon increased sugarcane productivity. There was no effect of ratoon nitrogen fertilization on sugarcane technological parameters. The margins of agroindustrial contribution obtained with nitrogen fertilization in ratoon were lower than those obtained in the control treatment, except for the N dose of 100 kg ha⁻¹ applied in the USA experiment. This led to economic loss under the nutritional management adopted.

Keywords: Plant Cane; Ratoon; Nitrogen; Contribution margins

6.1 Introdução

A cana-de-açúcar é uma *Poaceae* que apresenta resposta pronunciada na produção de fitomassa com o aumento do teor de nitrogênio na planta por possuir metabolismo do tipo C4 caracterizado por altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização da energia solar, do gás carbônico da atmosfera e de nitrogênio (BOLTON; BROWN, 1980; SEGATO et al., 2006). As plantas do tipo C4 produzem duas vezes mais fitomassa por unidade de nitrogênio presente nas folhas que as plantas C3 (BLACK et al., 1978).

A cultura da cana-de-açúcar é adaptada às condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez hídrica, apesar de necessitar de grandes quantidades de água, a qual compõe por volta de 70% de sua massa, dependendo do seu estágio fenológico (SEGATO et al., 2006). Por esse motivo a espécie se adaptou muito bem no ambiente tropical. Tanto para a cana-planta quanto para a cana-soca o ponto máximo de vegetação situa-se, anualmente, em dezembro, no início do verão, para a cana-de-açúcar cultivada no hemisfério sul (CESNIK; MIOCCQUE, 2004). Caso a água ou outras condições climáticas não sejam limitantes ao desenvolvimento da cana-de-açúcar, as características edáficas passarão a ser o próximo ponto de limitação de seu desenvolvimento (CÂMARA, 1993).

Dos fatores da relação solo-planta-atmosfera, um dos que mais interfere na produtividade da cana-de-açúcar é a adequada nutrição mineral, principalmente a de nitrogênio (TRIVELIN, 2000), o qual constitui aminoácidos, ácidos nucléicos, proteínas e participa direta e indiretamente de vários processos bioquímicos (MALAVOLTA et al., 1997). Reduções ou deficiências no suprimento de nitrogênio desencadeiam um processo de diminuição da síntese de clorofila e de aminoácidos, que por sua vez reduzem a quantidade de energia na planta disponível para a produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, o que limita o perfilhamento, o desenvolvimento foliar e a longevidade das folhas (EPSTEIN, 1975; SILVEIRA, 1985; CARNAÚBA, 1990; MALAVOLTA et al., 1997). Esses fatores associados diminuem a interceptação da radiação solar e a fixação de gás carbônico via fotossíntese, o que diminui o acúmulo de fitomassa da cana-de-açúcar (LUDLOW et al., 1991; WOOD et al., 1996).

Dos nutrientes minerais, o nitrogênio é o segundo de maior extração pela cana-de-açúcar, ficando atrás apenas do potássio (ORLANDO FILHO et al., 1999). São extraídos de 200 a 300 quilos de N por hectare para uma produção de cem toneladas colmos (SALCEDO; SAMPAIO, 1984; TRIVELIN et al., 1995; FRANCO, 2008). Todo esse nitrogênio disponível às plantas tem como principais origens a mineralização da matéria orgânica, a fixação biológica e a fertilização nitrogenada. Para a parte aérea da cana-de-açúcar são fontes de nitrogênio, além das citadas, o colmo-semente, utilizado no plantio, e o sistema radicular que sustenta a rebrota da soqueira (TRIVELIN, 2000).

Das fontes de N à cultura, a fertilização constitui uma ferramenta importante para o aumento da produtividade e da longevidade das soqueiras (VITTI, 2003). As respostas à adubação nitrogenada são mais freqüentes e constantes para as soqueiras de cana-de-açúcar do que para a cana-planta. A resposta à fertilização nitrogenada reflete em maior vigor das soqueiras, aumentando o diferencial de produtividade, o que torna o manejo da cultura perene (ORLANDO FILHO et al., 1999).

Os mecanismos fisiológicos envolvidos com a utilização de N pela cana-de-açúcar não são totalmente claros (SILVEIRA; CROCOMO, 1990), principalmente no tocante à utilização das reservas do sistema radicular da cana-planta ou das soqueiras para a rebrota da cultura após o corte (TRIVELIN, 2000). O que se tem como certo é o reflexo negativo da não fertilização nitrogenada da cultura nos ciclos subseqüentes ao manejo, inclusive no de cana-planta, com diminuição do vigor e longevidade das soqueiras (PENATTI et al., 1997; ORLANDO FILHO et al., 1999). Um indicativo claro dessa afirmação é que a adubação nitrogenada aumenta o acúmulo de nitrogênio total no sistema radicular (TRIVELIN, 2000; TRIVELIN et al., 2002; VITTI et al., 2007; OTTO, 2007; FRANCO, 2008).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resposta da cana-de-açúcar às adubações nitrogenadas realizadas no plantio e na soqueira em produtividade, acúmulo de fitomassa, qualidade tecnológica e retorno econômico do canavial no ciclo de cana-soca.

6.2 Material e métodos

Foram instalados dois experimentos em áreas comerciais de cana-de-açúcar em na Usina São Luiz (USL) em Pirassununga-SP, e outro na Usina Santa Adélia (USA) em Jaboticabal-SP, os quais são descritos a seguir.

No experimento USL foi plantado o cultivar SP81-3250 e o solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico, textura média (EMBRAPA, 1999). As operações no preparo do solo realizadas antes do plantio foram: gradeação, subsolagem, gradeação para incorporação de calcário dolomítico e gesso agrícola, ambos na dose de 2 t ha⁻¹ cada, calculadas com base na análise de terra (RAIJ; CANTARELLA, 1997) e gradeação leve para o nivelamento do solo antes da sulcação. A instalação do experimento ocorreu entre 21 e 24 de fevereiro de 2005 e a colheita da cana-planta foi realizada no dia 24 de junho de 2006.

No experimento USA foi plantada o mesmo cultivar do experimento USL (SP81-3250) e o solo da área classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média (EMBRAPA, 1999). As operações de reforma do canavial na USA foram: dessecação da soqueira do ciclo anterior com aplicação de 4 L ha⁻¹ do herbicida glifosato, aração profunda e incorporação dos resíduos vegetais e de 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico ao solo e gradeação para o nivelamento do solo antes da sulcação e do plantio. O experimento foi instalado entre 4 e 8 de abril de 2005 e a colheita da cana-planta foi realizada no dia 26 de julho de 2006.

O delineamento experimental para o ciclo de cana-planta, para ambas as áreas experimentais, foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha (T1) sem adição de N-mineral e três doses de N na forma de uréia: 40 (T2), 80 (T3) e 120 (T4) kg ha⁻¹ de N aplicadas no sulco de plantio. As parcelas foram distribuídas em 48 sulcos de 15 m de comprimento cada. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado com 30 mudas de canas (colmos) em 15 m de sulco cruzando-se os 'pés' com as pontas das mudas proporcionando uma distribuição de 17 a 20 gemas por metro linear de sulco que foram cobertas mecanicamente. Foi aplicado manualmente, no fundo dos sulcos de plantio, cloreto de potássio e o superfosfato simples nas doses de 120 kg ha⁻¹ de K₂O e de P₂O₅ respectivamente. As doses de N-uréia também foram aplicadas manualmente no sulco de plantio e incorporadas ao solo.

Após a colheita da cana-planta dos experimentos foram realizadas amostragens de solo em todas as subparcelas, por tratamento de cana-planta, antes da adubação da cana-soca, de 0,00-0,25 m e de 0,25-0,50 m com o uso de sondas amostradoras de terra. As características químicas dos solos após o corte da cana-planta são apresentadas nas Tabelas 6.1 e 6.2.

O delineamento experimental para a cana-soca foi o mesmo utilizado na cana-planta, mas as parcelas de 48 linhas foram divididas em 4 subparcelas de 12 linhas que receberam, de forma randomizada, três doses de N: 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ na forma de sulfato de amônio aplicadas manualmente sobre a palha residual da colheita e a 0,2 m da linha de cana-de-açúcar, mais uma testemunha sem N.

Tabela 6.1 - Análise química de terra do experimento USL após a colheita da cana-planta

prof. m	tratamento cana-planta	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	S.B.	CTC	V %	S mg dm ⁻³
0-0,25	T1	21	5,9	6	1,7	33	8	15	42,7	57,9	74	2
	T2	21	5,9	5	1,8	34	9	15	44,6	59,4	75	1
	T3	21	5,9	6	1,9	35	9	15	44,9	59,7	75	2
	T4	22	5,9	6	2,1	38	9	15	49,4	64,6	76	3
0,25-0,50	T1	16	5,1	1	1,5	13	4	20	18,2	37,9	48	13
	T2	16	5,2	2	1,4	15	4	20	20,4	40,1	50	11
	T3	16	5,2	2	1,4	14	4	19	19,4	38,2	51	9
	T4	16	5,1	2	1,5	13	4	20	18,2	38,1	48	16

Tabela 6.2 - Análise química de terra do experimento USA após a colheita da cana-planta

prof. m	tratamento cana-planta	M.O. g dm ⁻³	pH	P mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al mmol _c dm ⁻³	S.B.	CTC	V %	S mg dm ⁻³
0,00-0,25	T1	21	5,4	13	2,9	20	11	23	33,6	56,8	60	2
	T2	21	5,5	16	3,1	24	13	21	39,1	59,9	65	2
	T3	22	5,4	15	3,4	20	11	22	34,9	57,1	61	3
	T4	22	5,5	15	3,3	21	12	21	35,8	57,1	63	2
0,25-0,50	T1	16	4,5	6	2,2	14	4	35	20,2	55,2	35	25
	T2	17	4,5	6	2,3	8	3	30	13,8	43,2	32	21
	T3	16	4,6	5	2,4	8	3	30	13,4	43,0	31	23
	T4	16	4,5	8	2,0	8	4	30	13,2	43,4	31	20

Constatou-se que, apesar da adubação com fósforo no plantio, o solo do experimento da USL ainda apresentava baixo teor desse nutriente. Foram aplicados de forma geral nos experimentos 150 kg ha^{-1} de K_2O , na forma de KCl, e 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de superfosfato triplo, no experimento da USL. No entanto, em uma análise foliar realizada em janeiro de 2007 o teor de P nas folhas-diagnóstico foi de $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ na média das parcelas, valor superior ao nível de deficiência no órgão diagnóstico (Folha +1) (RAIJ; CANTARELLA, 1997), e mesmo assim se decidiu pela adubação em função de uma adequada nutrição dos cortes posteriores ao da primeira soca.

O procedimento adotado para a colheita dos experimentos foi o mesmo para as duas áreas. A estimativa da produção e outras avaliações foram realizadas de 18 a 22 de junho de 2007 no experimento USL e de 9 a 13 de julho de 2007 no experimento USA, sendo que nesses períodos foram amostradas 64 parcelas de cada experimento colhendo-se as plantas de cana-de-açúcar em 3 m de linha, as quais foram separadas em folhas secas, ponteiros e colmos. A massa de todo o material vegetal, de cada repetição (folhas secas, ponteiros e colmos), foi obtida no campo por meio de pesagem em balança eletrônica com precisão de 20 g. Após a pesagem o material vegetal de cada amostra foi triturado ainda no campo em picadora equipada com motor de 5 HP movido a diesel e a seguir subamostrado. As subamostras trituradas foram acondicionadas em sacos plásticos identificados e fechados a fim de que o material não perdesse umidade e pudesse ser transportado ao Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP. No laboratório as subamostras foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,01 g) antes e após secagem em estufa ventilada a 65°C até obtenção de massa constante para determinação da umidade do material.

Em todas as parcelas foi estimado o número de colmos por hectare com a contagem de 30 m de cana-de-açúcar em 3 linhas de 10 m do eito de colheita. O número de colmos colhidos também foi contado para a determinação da massa média dos colmos. Com esses dados foi calculada a produtividade em colmos e da parte aérea total da cana-de-açúcar em cada parcela.

Após a colheita da parte aérea também foram realizadas amostragens de raízes e rizomas em todos os tratamentos de cana-soca que haviam sido tratamentos 0 e 120 kg ha^{-1} de N no plantio. As raízes foram coletadas por sondagem (SONDA

TERRA® de 55 mm de diâmetro interno) nas profundidades de 0,0-0,2; 0,2-0,4 e 0,4-0,6 m de profundidade em 6 pontos: dois na linha da cultura e dois de cada lado desta à distâncias de 0,3 e 0,6 m. As raízes foram separadas do solo por peneiramento (peneira de malha 2 mm). Os rizomas foram amostrados nas mesmas 32 parcelas onde se realizou a amostragem de raízes, sendo amostrado um metro linear com a coleta de todos os rizomas desse espaço, os quais foram limpos de terra e separados das raízes ainda no campo. As raízes e rizomas separados do solo foram acondicionados em sacos plásticos adequadamente identificados e transportados ao laboratório, onde foram lavados em água corrente e secos em estufa com circulação forçada de ar a 65°C até obtenção de peso constante para a determinação da massa seca do sistema radicular.

As colheitas mecânicas dos experimentos USL e USA foram realizadas nos dias 27 de junho e 17 de julho de 2007, respectivamente, com o objetivo de se estimar a produtividade real (TCH - toneladas de colmos por hectare) de cada parcela e compará-la a da estimativa de produção com a colheita dos 3 metros de cana-de-açúcar amostrados. Foram colhidas mecanicamente quatro linhas úteis de cada parcela e depositadas em um transbordo instrumentado com células de carga do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) que quantificou a massa de colmos em cada linha, de cada parcela. Com as massas de colmos colhidos nessas linhas foi calculada a produtividade de cada parcela.

Previamente à colheita mecânica das plantas das parcelas, foram amostradas dez canas (colmos) colhidas seguidamente e ao acaso nas 64 parcelas e encaminhadas ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), onde foram realizadas as análises tecnológicas e os cálculos de Brix, Pol, Pureza, %fibra, Pol da cana, Pol do caldo, Açúcares redutores (AR) e Açúcar Total Recuperável (ATR). Também foram calculadas, segundo a metodologia descrita por Fernandes (2003), as margens de contribuição agrícola e industrial (MCA e MCI). Para esses cálculos foram utilizados os custos de produção das épocas em que foram realizadas as operações e os preços de mercado de ATR, açúcar e álcool nas épocas de colheita. Todos esses valores foram padronizados para as duas áreas experimentais para que a única variável analisada

fosse a adubação nitrogenada da cana-soca, já que os custos das usinas onde foram realizados os experimentos são diferentes.

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico (Figuras 6.1 e 6.2) foram utilizados dados ambientais coletados em estações meteorológicas automatizadas instaladas nas áreas experimentais. Os cálculos de evapotranspiração da cultura, pluviometria e déficits e excedentes hídricos das áreas experimentais foram realizados com o uso de planilhas eletrônicas disponibilizadas pelo Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP (ROLIM et al., 1998).

A análise dos dados das parcelas de cana-de-açúcar, de ambos os experimentos, foram realizadas levando-se em conta os tratamentos com doses de N aplicadas no ciclo de cana-planta (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N para a parte aérea e 0 e 120 kg ha⁻¹ de N para o sistema radicular) e nos tratamentos com doses de N aplicadas no ciclo de cana-soca (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de N para a parte aérea e para o sistema radicular). Como cada parcela de cana-planta foi dividida em quatro partes iguais (12 linhas de cana-de-açúcar cada) para receber os tratamentos de cana-soca, de forma randomizada, o experimento passou a ser tratado e analisado em esquema “split-plot”, ou seja, com um delineamento subdividido em parcelas (doses de N no plantio) e subparcelas (doses de N na cana-soca).

Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância utilizando o teste F ao nível de 90% de significância. Para as variáveis que sofreram efeito significativo dos tratamentos foram feitas análises de regressão polinomial para avaliar o efeito das doses aplicadas.

6.3 Resultados e discussões

Não houve interação significativa das doses de N em cana-planta com as de cana-soca para nenhum dos parâmetros analisados, em ambas as áreas experimentais (Tabela 6.3). Sendo assim, a análise dos dados foi realizada, em cada experimento, em função das doses de N aplicadas no ciclo de cana-soca, em cada tratamento de cana-planta.

Tabela 6.3 - Valores e significância do teste F para as variáveis analisadas nas áreas experimentais para os parâmetros do ciclo agrícola de cana-soca

Variáveis	F - Blocos		F-doses de N cana-planta		F-doses de N cana-soca		F - interação		CV (%)	
	USL	USA	USL	USA	USL	USA	USL	USA	USL	USA
Produtividade em colmos colhidos em 60 metros de sulcos										
TCH	5,76**	2,53 ^{ns}	3,83*	0,88 ^{ns}	4,32**	3,17**	1,13 ^{ns}	0,89 ^{ns}	7	7
Avaliações por biometria em 3 metros de sulcos										
Folhas [#]	7,10***	2,17 ^{ns}	1,77 ^{ns}	1,51 ^{ns}	3,30**	0,62 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,05 ^{ns}	13	22
Ponteiro [#]	1,41 ^{ns}	2,99*	1,71 ^{ns}	3,36*	1,63 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,14 ^{ns}	20	19
Colmos [#]	1,04 ^{ns}	1,34 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,95 ^{ns}	3,92**	0,65 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,82 ^{ns}	16	23
Raiz [#]	4,00 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,04 ^{ns}	1,99 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,67 ^{ns}	0,26 ^{ns}	21	17
Total [#]	1,75 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,25 ^{ns}	3,35**	0,60 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,58 ^{ns}	14	21
Avaliações em 10 colmos colhidos seguidamente por parcela										
Brix	0,93 ^{ns}	1,35 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,20 ^{ns}	3,80**	1,38 ^{ns}	1,39 ^{ns}	3	2
Fibra	1,86 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,05 ^{ns}	3,80**	0,53 ^{ns}	1,39 ^{ns}	7	5
Pureza	2,56 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,77 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,52 ^{ns}	2	1
Pol cana	0,52 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,36 ^{ns}	2,60 ^{ns}	0,85 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,52 ^{ns}	4	4
AR	2,17 ^{ns}	6,23***	0,89 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,34 ^{ns}	2,83*	0,43 ^{ns}	1,37 ^{ns}	12	14
ATR	0,36 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,41 ^{ns}	2,31 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,56 ^{ns}	3	4
MCA	2,40 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,86 ^{ns}	2,01 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,89 ^{ns}	12	9
MCI	2,12 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,06 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,88 ^{ns}	12	9

[#] - massa seca. F - análise de variância. ^{ns} - não significativo. ***, **, * - significativos a 1, 5, 10% de probabilidade respectivamente. TCH - toneladas de colmos industrializáveis por hectare. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos. MCA - margem de contribuição agrícola. MCI - Margem de contribuição agroindustrial.

6.3.1 Análise climatológica do ciclo de cana-soca

O conhecimento isolado da evapotranspiração potencial e real, assim como do déficit hídrico no ciclo da cana-de-açúcar pode não ser tão valioso como a avaliação desses parâmetros em determinados períodos de crescimento da cultura tendo em vista que ela apresenta estádios de desenvolvimento distintos. Em determinados estádios, como o de maturação, o déficit hídrico não apresenta influência tão marcante na produtividade, enquanto que em outros, como no estágio de máximo crescimento, déficits hídricos acentuados podem afetar significativamente a produtividade da cultura (OTTO, 2007).

6.3.1.1 Experimento USL

A colheita da cana-planta do experimento USL foi realizada em junho de 2006, mês em que houve déficit hídrico (Figura 6.1). As precipitações pluviais tiveram início a partir do fim do mês de setembro e já em outubro foram suficientes para praticamente zerar esse déficit, porém sem gerar excedentes de água pelo balanço climatológico.

Nesse mesmo período houve elevação da evapotranspiração sendo que no fim da primeira quinzena de outubro a evapotranspiração real (ET_{Rc}) passou a apresentar praticamente os mesmos valores da evapotranspiração potencial (ET_c) (Figura 6.1).

O período de excedente hídrico iniciou com as chuvas de verão em dezembro de 2006 e se estendeu até fevereiro de 2007, mês em que as precipitações diminuíram. Somente o mês de janeiro de 2007 registrou pluviosidade acumulada de 440 mm, praticamente 30% da precipitação ocorrida no ciclo de desenvolvimento da cana-soca. Nesse período a ET_{Rc} foi igual a ET_c o que caracteriza a máxima taxa de acúmulo de fitomassa. Ao final de fevereiro, além da diminuição das chuvas, houve um veranico que pode ter gerado déficit hídrico e, conseqüentemente, levou à diminuição da ET_{Rc} em um período que a ET_c alcançou seu maior valor absoluto. Esse fenômeno, possivelmente, prejudicou o desenvolvimento da cultura.

Quando existe água disponível, o aumento da evapotranspiração proporciona melhores condições de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar (ALLEONI; BEAUCLAIR, 1995). A adubação com nitrogênio influencia significativamente os rendimentos de colmo, açúcar e álcool em áreas que não há restrição hídrica como em áreas irrigadas (MOURA FILHO et al., 2007). No entanto, maiores valores de ascensão capilar e de evapotranspiração apresentados por plantas de cana-de-açúcar adubadas com nitrogênio podem não se traduzir em maior produção de colmos que em plantas não adubadas com nitrogênio, que, por sua vez, tem um uso mais eficiente da água (BRITO, 2006).

Em março voltou a chover e as chuvas foram suficientes para promover um pequeno período de excedente hídrico antes da entrada do outono, no final de março, período caracterizado pelo início da seca e maturação da cultura. Durante todo período de desenvolvimento da cana-soca na USL o excedente hídrico (428,9 mm) superou o déficit (-338,5 mm) com um saldo de 90,4 mm.

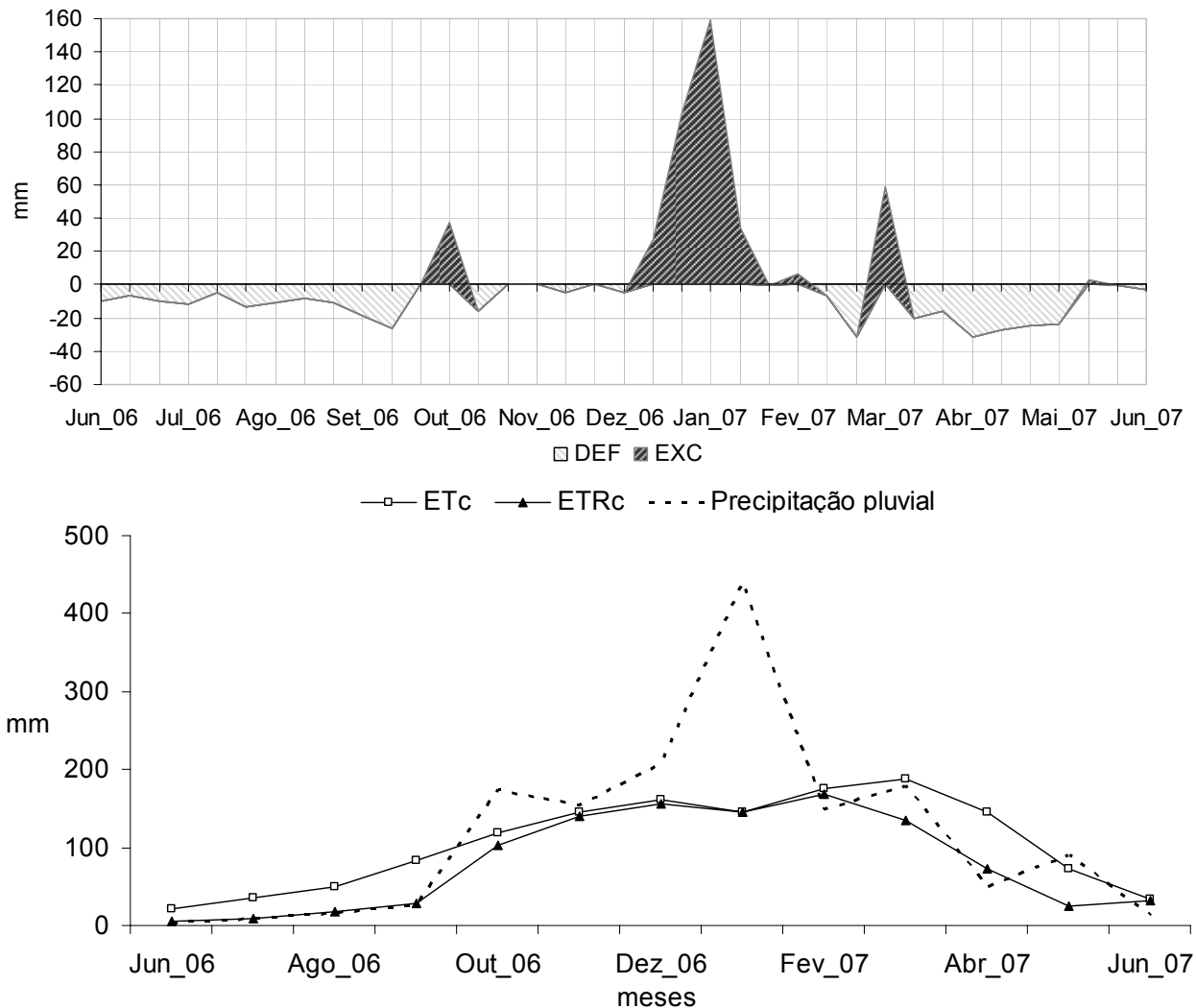


Figura 6.1 - Balanço hídrico climatológico da USL no ciclo de cana-soca. DEF: deficiência hídrica do solo; EXC: excedente hídrico do solo; ETc: evapotranspiração potencial da cultura; ETRc: evapotranspiração real da cultura

Com exceção do pequeno veranico ocorrido em fevereiro de 2007 as condições climáticas não foram limitantes ao desenvolvimento das plantas do experimento. O que certamente influenciou a produtividade da cana-soca no experimento da USL foi a ocorrência de *Sphenophorus levis* nos rizomas da cana-de-açúcar. A Usina São Luiz não fazia levantamento dessa praga porque ainda não a havia identificado em suas áreas e, dessa forma, não foi realizado nenhum tipo de ação preventiva ou curativa. No entanto, o ataque da praga foi generalizado na área do experimento o que foi comprovado fazendo-se o levantamento em todas as 64 parcelas do estudo.

6.3.1.2 Experimento USA

A colheita da cana-planta do experimento USA ocorreu em julho de 2006, mês em que o solo apresentava déficit hídrico ainda mais acentuado que na USL (Figura 6.2). As precipitações pluviais também iniciaram no final do mês de setembro em Jaboticabal-SP, mas o déficit hídrico se manteve até início de novembro, período em que o volume de chuva aumentou e gerou um pequeno período de excedente hídrico, mas voltou a apresentar déficit até o início da segunda quinzena de dezembro. Em dezembro houve, também, elevação da evapotranspiração sendo que a evapotranspiração real (ET_{Rc}) passou a apresentar praticamente os mesmos valores da evapotranspiração potencial (ET_C). Esses dados mostram que as plantas do experimento da USA, em comparação com as da USL, tiveram seu desenvolvimento inicial retardado pelo atraso na ocorrência das chuvas.

O período de excedente hídrico iniciou com as chuvas de verão, em dezembro de 2006, e se estendeu até março de 2007, mês em que as precipitações diminuíram. No mês de janeiro de 2007 a precipitação acumulada foi de 402 mm, praticamente 28% da precipitação ocorrida no ciclo de desenvolvimento da cana-soca. De dezembro a fevereiro a ET_{Rc} foi igual a ET_C o que caracteriza o máximo acúmulo de fitomassa. Ao final de fevereiro, com a diminuição das chuvas e com a elevação da ET_C, o solo passou a apresentar déficit hídrico o qual foi máximo no mês de abril de 2007 (-47 mm).

No mês de maio ocorreu precipitação acumulada de 108 mm o que foi suficiente para diminuir o déficit de água no solo e mantê-lo por volta de -10 mm até julho de 2007, mês em que a cana-soca foi colhida. Durante todo período de desenvolvimento da cana-soca na USA o excedente hídrico (373,4 mm) foi inferior ao déficit (-460,2 mm) com um saldo negativo de 86,8 mm. A diferença de pluviosidade entre a USL e a USA foi de 85 mm a mais no experimento localizado em Pirassununga-SP. No entanto, mesmo com uma menor precipitação pluvial absoluta e maior déficit hídrico no ciclo da cultura na USA, além do atraso no início das chuvas, essas foram melhor distribuídas no período de maior acúmulo de fitomassa da cultura que na USL. Essa observação fica demonstrada com a equiparação das evapotranspirações reais da cultura nos experimentos (1036 mm na USL e 1026 mm na USA) apesar de o período de desenvolvimento em condições hídricas adequadas ter sido superior na USL.

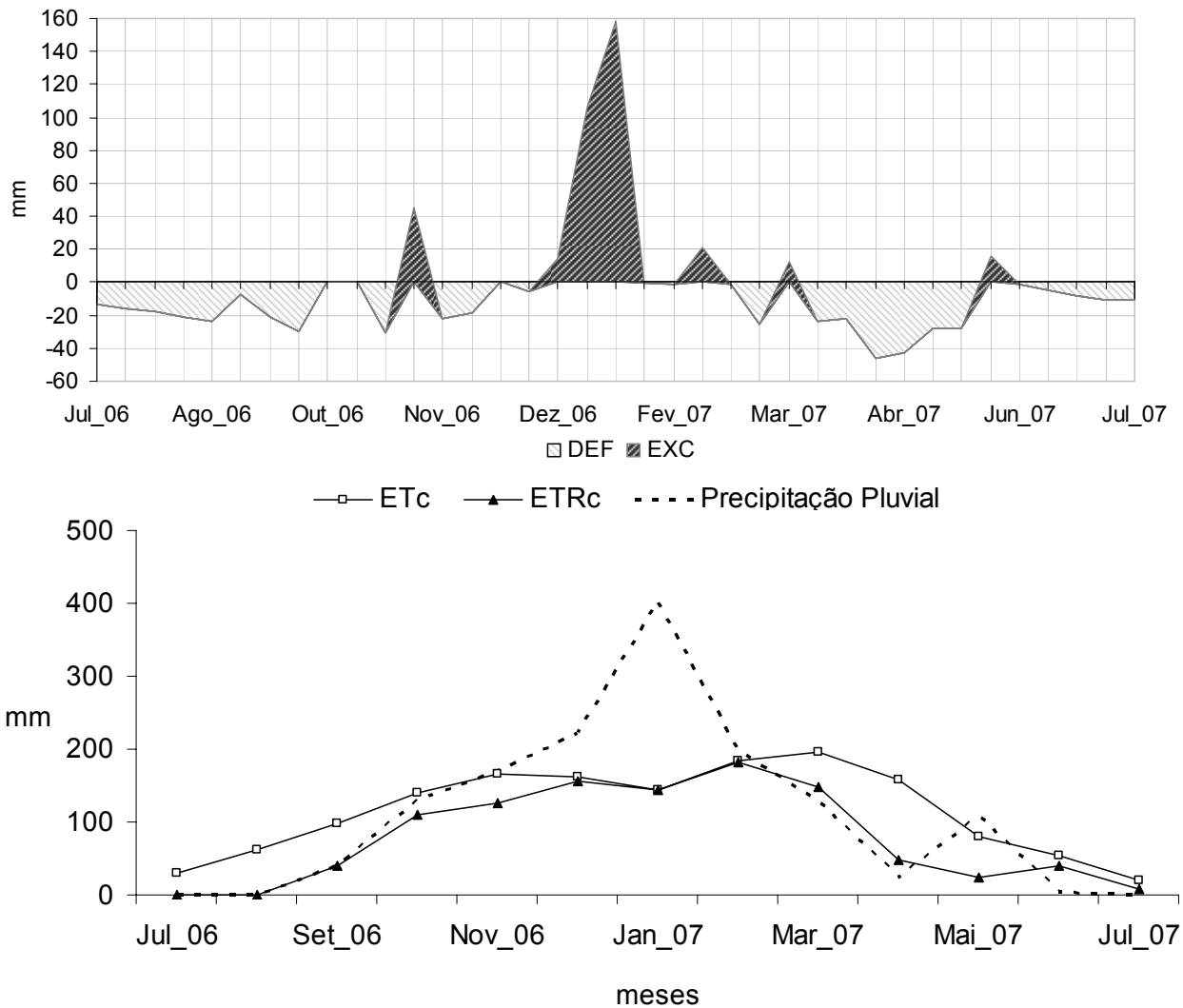


Figura 6.2 - Balanço hídrico climatológico da USA no ciclo de cana-soca. DEF: deficiência hídrica do solo; EXC: excedente hídrico do solo; ETc: evapotranspiração potencial da cultura; ETRc: evapotranspiração real da cultura; P: precipitação pluvial

6.3.2 Avaliação da produtividade da cana-soca

A resposta da cana-soca à adubação com N é muito mais freqüente e atinge doses mais elevadas do que aquelas encontradas em cana-planta, segundo várias revisões de literatura realizadas sobre o assunto (CANTARELLA et al., 2007). Esse trabalho não foi uma exceção a essa resposta. Além da estimativa da produtividade a definição da adubação nitrogenada deve levar em conta, também, o efeito residual indireto do N sobre a produtividade e longevidade das soqueiras subseqüentes (CANTARELLA et al., 2007). Porém, o efeito residual da adubação nitrogenada nem sempre é significativo (CHAPMAN et al., 1992; YADAV et al., 1990). Neste trabalho

foram encontradas as duas situações as quais serão expostas e discutidas a seguir para cada experimento.

6.3.2.1 Experimento USL

A avaliação do efeito residual da adubação nitrogenada de cana-planta na produtividade da cana-de-açúcar no primeiro ciclo de soqueira da USL foi avaliada nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada no ciclo de cana-soca, ou seja, no tratamento testemunha (Tabela 6.4).

Observa-se efeito de doses de N aplicadas no plantio apenas para TCH, o que pode ter ocorrido por esse ser o único parâmetro analisado em base úmida e, além dos colmos, pode contar com um pouco de palha e ponteiros que não foram totalmente separados na colheita mecânica. No entanto, esse tipo de colheita representa fidedignamente o que ocorre na prática e avalia a massa de cana-de-açúcar real que é levada para a indústria. A adubação nitrogenada aumentou a TCH a qual respondeu de forma quadrática às doses de N aplicadas no plantio. Esse resultado indica possibilidade de ocorrência de efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade do ciclo subsequente.

Tabela 6.4 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca no tratamento sem adubação nitrogenada (testemunha) de soqueira (efeito residual), em função da adubação nitrogenada de plantio, no experimento USL

Tratamentos de N no plantio kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
		Mg ha ⁻¹			
0	75,5	17,69	4,47	7,22	29,38
40	81,4	17,42	3,43	6,36	27,21
80	82,5	16,79	3,40	7,50	28,26
120	75,7	17,58	4,21	6,68	28,47
Média	78,8	17,37	4,02	6,94	28,33
CV (%)	8	16	24	15	15
F - blocos	0,24 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,22 ^{ns}	2,35 ^{ns}	1,12 ^{ns}
F - doses	1,45 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,17 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,01 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,03 ^{ns}
F - reg. 2º grau	4,27*	0,15 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,31 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * significativo a 10 % de probabilidade.

Estudos recentes têm evidenciado efeitos positivos da adubação nitrogenada de plantio na produtividade e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar e seus autores comentam que esse manejo pode, de fato, proporcionar maior produtividade da primeira soca (efeito residual) devido às raízes e rizomas serem os órgãos de reserva da cana-de-açúcar (PENATTI; DONZELI; FORTI, 1997; TRIVELIN, 2000; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; VITTI et al., 2007; FRANCO, 2008). O aumento da dose de N resultou em acúmulo crescente de N na parte subterrânea de plantas de cana-de-açúcar na qual o teor do nutriente foi maior que o da parte aérea (TRIVELIN et al., 2002). Esse N acumulado nos rizomas pode facilitar a brotação e o crescimento das soqueiras e explicar o efeito da adubação nitrogenada sobre a produtividade do ciclo seguinte (CANTARELLA et al., 2007).

Para raízes, rizomas ou para o sistema radicular total não foi observado efeito residual da adubação de plantio entre os tratamentos avaliados (Tabela 6.5). Esse mesmo comportamento foi observado por Otto (2007), já que em seu trabalho a fertilização nitrogenada de plantio não promoveu maior acúmulo de massa de raízes de cana-de-açúcar, mas favoreceu a concentração das raízes na camada superficial. Franco (2008) analisando o sistema radicular da cana-planta deste mesmo experimento, constatou efeito direto das doses de N no plantio no aumento da massa e acúmulo de N, Ca, Mg e S no sistema radicular.

Tabela 6.5 - Produção de fitomassa seca do Sistema Radicular (Raízes, Rizomas e Total) na colheita da cana-soca, no tratamento sem adubação nitrogenada de cana-soca (efeito residual), em função das doses de N de plantio no experimento USL

Tratamentos de N na cana-planta kg ha ⁻¹	Fitomassa Seca		
	Raiz	Rizoma Mg ha ⁻¹	Total
0	3,39	2,90	6,29
120	2,08	3,72	5,80
Média	2,74	3,31	6,05
CV (%)	39	15	25
F - blocos	0,11 ^{ns}	6,81*	0,73 ^{ns}
F - tratamentos	3,03 ^{ns}	5,30 ^{ns}	0,21 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * significativo a 10 % de probabilidade.

O sistema radicular da cana-de-açúcar suporta a parte aérea e é o órgão de absorção de água e nutrientes (ORLANDO FILHO et al., 1999). No entanto, é também um dreno de fotoassimilados que compete com a parte aérea da planta (VASCONCELOS, 2002). Não existe uma relação direta entre produtividade da parte aérea e do sistema radicular já que em ambientes de alto potencial de produção o desenvolvimento do sistema radicular é menor que em ambientes de menor potencial.

Da mesma forma como verificado nos resultados da Tabela 6.4, só houve efeito significativo das doses de N no ciclo de cana-soca na TCH do segundo corte nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada na cana-planta (testemunhas do ciclo de cana-planta), com incremento de produtividade de forma quadrática às doses de N (Tabela 6.6). Era esperado que esse tratamento, com ausência de N no plantio, fosse o que mais respondesse às doses de N aplicada na cana-soca. Confirma-se, com essa observação, efeito negativo da não fertilização nitrogenada da cultura no ciclo subsequente com diminuição do vigor da soqueira (PENATTI et al., 1997; ORLANDO FILHO et al., 1999).

Tabela 6.6 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca no experimento USL, em função da adubação nitrogenada de cana-soca, associado ao tratamento sem adubação nitrogenada de plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca				Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	Mg ha ⁻¹	
0	75,6	17,69	4,47	7,22	29,37	
50	80,7	16,35	3,83	7,45	27,63	
100	85,3	19,51	3,92	8,11	31,54	
150	78,9	21,29	4,20	8,37	33,86	
Média	80,1	18,71	4,11	7,78	30,60	
CV (%)	6	23	26	19	21	
F - blocos	2,11 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,74 ^{ns}	2,35 ^{ns}	0,57 ^{ns}	
F - doses	2,58 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,68 ^{ns}	
F - reg. 1º grau	1,67 ^{ns}	2,13 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,42 ^{ns}	
F - reg. 2º grau	5,22 ^{**}	1,01 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,39 ^{ns}	

^{ns}- não significativo; ^{**} significativo a 5 % de probabilidade.

Para o sistema radicular, nos tratamentos sem N no plantio e doses crescentes na soqueira, houve efeito do N na produção de raízes sem efeito na produção de rizomas ou do sistema radicular total (Tabela 6.7). No desenvolvimento dessas raízes ocorreu o máximo de produtividade na testemunha e na maior dose de N aplicada à cana-soca, comportamento esse de difícil explicação. Esperava-se uma manutenção do sistema radicular em função das doses de N ou um incremento deste apenas no tratamento que não recebeu N em ambos os ciclos agrícolas para explorar melhor o solo e compensar a falta do nutriente.

Nas parcelas com adubação nitrogenada de plantio de 40 kg ha⁻¹ de N observou-se efeito significativo das doses de N no ciclo de cana-soca aumentando linearmente a produção de folhas secas (Tabela 6.8). Segundo Machado et al. (1982) a maior produtividade da cana-de-açúcar se deve, em parte, ao seu longo período de crescimento e, conseqüentemente, maior área foliar. No entanto essa maior quantidade de folhas secas não aumentou a produtividade da cultura. Possivelmente outros fatores foram limitantes ao desenvolvimento da cultura que não a adubação nitrogenada, como, por exemplo, o ataque de *Sphenophorus levis* mencionado anteriormente.

Tabela 6.7 - Produção de fitomassa seca do sistema radicular (Raízes, Rizomas e Total) na colheita da cana-soca em função das doses de N aplicadas na soqueira associado ao tratamento sem adubação nitrogenada de plantio no experimento USL

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Raiz (Ra)	Fitomassa Seca Rizoma (Ri) Mg ha ⁻¹	Total (Ra + Ri)
0	3,39	2,90	6,29
50	2,18	2,46	4,64
100	2,28	3,64	5,92
150	4,05	2,73	6,78
Média	2,98	2,93	5,91
CV (%)	29	32	25
F - blocos	0,72 ^{ns}	1,86 ^{ns}	1,73 ^{ns}
F - doses	4,36 ^{**}	1,14 ^{ns}	1,53 ^{ns}
F - reg. 1º grau	1,14 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,67 ^{ns}
F - reg. 2º grau	11,92 ^{***}	0,24 ^{ns}	2,88 ^{ns}

^{ns} - não significativo; ** e *** são significativos a 5% e 1% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.8 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca, em função da adubação nitrogenada de soqueira que recebeu 40 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USL

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
		Mg ha ⁻¹			
0	81,4	17,42	3,43	6,36	27,21
50	88,2	18,19	3,81	7,22	29,23
100	83,9	19,19	3,75	7,97	30,91
150	90,1	18,53	3,57	7,92	30,02
Média	85,9	18,33	3,64	7,37	29,34
CV (%)	11	18	18	12	15
F - blocos	0,41 ^{ns}	1,10 ^{ns}	2,39 ^{ns}	3,834*	1,77 ^{ns}
F - doses	0,67 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,29 ^{ns}	2,85*	0,51 ^{ns}
F - reg. 1º grau	1,02 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,06 ^{ns}	7,36**	1,05 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,00 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,43 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * e ** são significativos a 10% e 5% de probabilidade respectivamente.

Nas parcelas com adubação nitrogenada de plantio de 80 kg ha⁻¹ de N observou-se efeito de doses de N no ciclo de cana-soca para TCH, colmos e fitomassa seca total da parte aérea a qual foi influenciada pela produtividade dos colmos (Tabela 6.9). As doses de N aplicadas à cana-soca aumentaram linearmente as produtividades de TCH, de fitomassa seca de colmos e da parte área total. Em comparação com a testemunha e a dose de 40 kg ha⁻¹ de N no plantio, a dose de 80 kg ha⁻¹ de N no plantio incrementou sensivelmente a produtividade e as respostas à adubação de cana-soca mostrando efeito residual.

O mesmo efeito verificado na dose 80 kg ha⁻¹ de N no plantio foi obtido com a dose 120 kg ha⁻¹ de N para a qual se observou efeito de doses de N no ciclo de cana-soca para TCH, ponteiros e fitomassa total da parte aérea (Tabela 6.10). As doses de N aplicadas a esse tratamento aumentaram linearmente a produtividade em TCH e de forma quadrática as de ponteiros e da parte aérea total da cana-de-açúcar.

Não foi observado efeito dos tratamentos de cana-soca considerada a dose de 120 kg ha⁻¹ de N na cana-planta no desenvolvimento do sistema radicular, raízes ou rizomas (Tabela 6.11) da mesma forma que para a testemunha sem adição de N na cana-planta.

Tabela 6.9 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca, em função da adubação nitrogenada de soqueira e 80 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USL

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
		Mg ha ⁻¹			
0	82,5	16,79	3,97	7,50	28,26
50	76,7	14,10	3,09	6,89	24,07
100	88,9	19,21	3,57	8,02	30,80
150	88,9	19,49	3,66	7,90	31,05
Média	84,2	17,39	3,57	7,58	28,54
CV (%)	7	10	13	9	8
F - blocos	2,34 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,69 ^{ns}	1,75 ^{ns}
F - doses	3,75*	8,39***	2,49 ^{ns}	2,41 ^{ns}	8,13***
F - reg. 1º grau	5,35**	11,61***	0,19 ^{ns}	2,53 ^{ns}	8,86**
F - reg. 2º grau	0,92 ^{ns}	2,93 ^{ns}	4,44*	0,56 ^{ns}	3,82*

^{ns} - não significativo; ***, ** e * são significativos a 1 %, 5 % e 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.10 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca, em função da adubação nitrogenada de soqueira associado ao tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USL

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
		Mg ha ⁻¹			
0	75,7	17,58	4,21	6,68	28,47
50	78,9	16,29	3,14	7,05	26,49
100	85,6	17,28	3,28	6,86	27,41
150	87,8	18,70	3,82	7,53	30,05
Média	82,0	17,46	3,61	7,03	28,10
CV (%)	8	10	18	12	8
F - blocos	1,20 ^{ns}	4,61**	1,05 ^{ns}	0,39 ^{ns}	3,02*
F - doses	2,65 ^{ns}	1,34 ^{ns}	2,18 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,81 ^{ns}
F - reg. 1º grau	7,68**	1,30 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,24 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,02 ^{ns}	2,50 ^{ns}	5,79**	0,12 ^{ns}	4,15*

^{ns} - não significativo; ***, ** e * são significativos a 1 %, 5 % e 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.11 - Produção de Fitomassa Seca do Sistema Radicular (Raízes, Rizomas e Total) na colheita da cana-soca em função das doses de N aplicadas na soqueira associado ao tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USL

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Fitomassa Seca		
	Raiz (Ra)	Rizoma (Ri) Mg ha ⁻¹	Total (Ra + Ri)
0	2,08	3,72	5,80
50	2,23	2,78	5,01
100	2,38	4,76	7,14
150	2,06	2,84	4,91
Média	2,19	3,52	5,71
CV (%)	31	30	24
F - blocos	1,80 ^{ns}	2,45 ^{ns}	1,05 ^{ns}
F - doses	0,19 ^{ns}	2,98*	2,17 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,03 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,48 ^{ns}	0,83 ^{ns}	1,06 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * significativo a 10% de probabilidade.

As recomendações de adubação com N para cana-planta refletem as baixas respostas ao N encontradas na maioria dos resultados publicados (CANTARELLA et al., 2007). Assim, as recomendações de N em cana-planta, no Estado de São Paulo, variam de 40 a 90 kg ha⁻¹ de N (MORELLI et al., 1997; PENATTI et al., 1997; RAIJ et al., 1997) inferiores ao N-total exportado pelos colmos, como evidenciado nos resultados de Franco (2008) na cana-planta deste estudo. Essas doses, principalmente no manejo de cana-de-açúcar sem queima da palha previamente a colheita, podem estar limitando a produtividade da cultura, o que não é tão visível no ciclo de cana-planta, mas se mostrou importante na produtividade da cana-soca na USL.

Para a cana-soca, as doses de N recomendadas no Estado de São Paulo colhida com queima da palha variam de 60 a 120 kg ha⁻¹ dependendo da produtividade esperada (PENATTI et al., 1997; RAIJ et al., 1997). Segundo Espironelo et al. (1987) os aumentos de produtividade obtidos, com cana-de-açúcar queimada, com doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de N são relativamente pequenos. Porém, nas parcelas que receberam 120 kg ha⁻¹ de N no plantio o aumento de produtividade com as doses de N aplicadas na soqueira foi linear, resultado também encontrado por Vitti (2003) aplicando até 175 kg ha⁻¹ de N em um canavial manejado sem a queima da palha. Esses resultados não avaliam a economicidade da adubação, mas comprovam o efeito e importância da adubação nitrogenada na cana-de-açúcar.

Vale lembrar, novamente, que a maioria dos estudos sobre adubação nitrogenada feitos com a cultura da cana-de-açúcar data das décadas em que a palhada da cultura era queimada previamente ao corte. O aporte de material orgânico ao sistema sem queima causa dois efeitos diretos na relação solo-planta: a imobilização de N pelos microrganismos que se desenvolvem ao consumir o carbono dos resíduos culturais (alta relação C:N) e a mineralização dos nutrientes contidos nessa palhada (ERNANI et al., 2005; FARONI et al., 2003).

As quantidades de N da palhada liberadas no ciclo agrícola imediatamente seguinte a colheita mecânica da cana-de-açúcar são relativamente baixas, de 3 a 30% (BASANTA et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2002; FARONI et al., 2003; VITTI, 2003; GAVA et al., 2005), e o N mineralizado do resíduo de cobertura que é absorvido pela cultura varia de 5 e 20%, ou seja, a maior parte deste N abastece o estoque do solo como mostram os estudos realizados com palha marcada com ^{15}N (NG KEE KWONG et al., 1987; CHAPMAN et al., 1992; BASANTA et al., 2002; GAVA et al., 2001; VITTI, 2003; VITTI et al., 2005; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007). Assim, o N da palha durante um ciclo agrícola é pouco significativo para a nutrição direta da cana-de-açúcar relativamente ao do fertilizante que estará em maior parte disponível após a sua aplicação (VITTI, 2003; VITTI et al., 2005).

É provável que as doses de N atualmente recomendadas, tanto para cana-planta quanto para cana-soca, estejam subestimadas por não considerarem a imobilização do nutriente e o potencial de resposta econômica em lavouras com materiais genéticos mais produtivos cultivados em ambientes com alto potencial de produção (CANTARELLA et al., 2007).

6.3.2.2 Experimento USA

No experimento USA, da mesma forma que para o USL, não se observou efeito das doses de N de plantio na produtividade de colmos, ponteiros e parte aérea total da cana-soca que não recebeu adubação nitrogenada (testemunha), mas houve efeito para TCH, apesar de não haver significância estatística para as regressões de primeiro e segundo grau (Tabela 6.12). Também não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio no sistema radicular da cana-soca (Tabela 6.13).

Tabela 6.12 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca no tratamento sem adubação nitrogenada (testemunha) de soqueira (efeito residual), em função da adubação nitrogenada de plantio, no experimento USA

Tratamentos de N no plantio kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
			Mg ha ⁻¹		
0	116,3	25,18	4,49	9,68	39,36
40	108,5	26,74	4,96	8,99	40,68
80	120,0	25,48	4,37	8,98	38,84
120	111,5	29,39	5,38	10,32	45,09
Média	114,1	26,70	4,80	9,49	40,99
CV (%)	5,0	13,5	20,4	11,3	12,7
F - blocos	3,91**	0,08 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,07 ^{ns}
F - doses	3,51*	1,15 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,27 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,05 ^{ns}	2,16 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,98 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,02 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,58 ^{ns}	4,61 ^{ns}	1,27 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * e ** são significativos a 10 % e 5% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.13 - Tabela 6.5 - Produção de fitomassa seca do Sistema Radicular (Raízes, Rizomas e Total) na colheita da cana-soca, no tratamento sem adubação nitrogenada de cana-soca (efeito residual), em função das doses de N de plantio no experimento USA

Tratamentos de N na cana-planta kg ha ⁻¹	Raiz	Fitomassa Seca	
		Rizoma	Total
		Mg ha ⁻¹	
0	1,73	5,17	6,90
120	2,13	4,52	6,65
Média	1,93	4,85	6,78
CV (%)	33	17	21
F - blocos	1,37 ^{ns}	3,47 ^{ns}	0,56 ^{ns}
F - tratamentos	0,80 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,06 ^{ns}

^{ns} - não significativo.

O experimento USA recebeu um aporte de 29 t ha⁻¹ de fitomassa seca total (palhada, parte aérea da rebrota e sistema radicular) de resíduos culturais os quais foram incorporados ao solo na reforma do canavial. Com isso, foi criado um estoque de nutrientes no solo na forma orgânica, com destaque a elevada quantidade de nitrogênio incorporada, cerca de 200 kg ha⁻¹ de N (FRANCO et al, 2007; FRANCO, 2008).

Apesar desse aporte inicial de N adicionado ao solo na reforma do canavial houve efeito das doses de N aplicadas após o primeiro corte (cana-soca) na produtividade em fitomassa seca de colmos nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada no ciclo de cana-planta (Tabela 6.14). No entanto, se observou falta de resposta da cana-

soca em TCH à adubação nitrogenada. A umidade dos colmos pode ter sido a diferença entre as variáveis citadas. Para o sistema radicular da cana-soca não foi observado resposta para as doses de N aplicadas na soqueira nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada no plantio (Tabela 6.15).

Tabela 6.14 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca no experimento USA, em função da adubação nitrogenada de cana-soca, associado ao tratamento sem adubação nitrogenada de plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca				Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)		
		Mg ha ⁻¹				
0	116,3	25,18	4,49	9,68	39,36	
50	118,8	24,40	4,87	8,57	37,83	
100	113,5	29,53	4,90	10,19	44,63	
150	122,5	27,07	4,40	9,04	40,50	
Média	117,8	26,54	4,66	9,37	40,58	
CV (%)	8,0	8,2	14,8	13,7	8,7	
F - blocos	0,42 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,92 ^{ns}	
F - doses	0,61 ^{ns}	4,45**	0,56 ^{ns}	1,25 ^{ns}	2,71 ^{ns}	
F - reg. 1º grau	0,38 ^{ns}	4,96***	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	1,67 ^{ns}	
F - reg. 2º grau	0,44 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,54 ^{ns}	

^{ns}- não significativo; *** e ** - significativos a 1 e a 5 % de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.15 - Produção de Fitomassa Seca do Sistema Radicular (Raízes e Rizomas) na colheita da cana-soca em função das doses de N na soqueira associadas ao tratamento sem adubação nitrogenada de plantio no experimento USA

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Raiz (Ra)	Fitomassa Seca		Total (Ra + Ri)
		Rizoma (Ri)		
		Mg ha ⁻¹		
0	1,73	5,17		6,90
50	2,01	4,58		6,59
100	2,25	4,59		6,84
150	2,11	4,32		6,43
Média	2,02	4,67		6,69
CV (%)	37	25		20
F - blocos	0,58 ^{ns}	0,64 ^{ns}		0,52 ^{ns}
F - doses	0,35 ^{ns}	0,37 ^{ns}		0,11 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,69 ^{ns}	0,91 ^{ns}		0,15 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,32 ^{ns}	0,07 ^{ns}		0,00 ^{ns}

^{ns}- não significativo.

Já para as doses de N aplicadas na cana-soca, nas parcelas que receberam 40 kg ha⁻¹ de N no plantio, houve efeito significativo na produção de colmos industrializáveis (Tabela 6.16). As doses de N aumentaram a TCH e a análise de regressão foi significativa com a máxima produtividade obtida da regressão quadrática ($r^2 = 0,99$) para a dose de 94 kg ha⁻¹ de N. No entanto, não houve efeito das doses de N para os parâmetros avaliados quando se estimou a produtividade pela biometria.

Para as doses de N aplicadas na cana-soca, nas parcelas com 80 kg ha⁻¹ de N na cana-planta, houve significância apenas para fitomassa seca de ponteiros, que teve sua maior produtividade com a dose de 67 kg ha⁻¹ de N ($r^2 = 0,99$) (Tabela 6.17). TCH, colmos e folhas secas apresentaram a mesma tendência, mas o efeito dos tratamentos não foi significativo.

Possivelmente a maior dose de N no plantio, em relação à anteriormente discutida, mais o N nativo do sistema e da incorporação dos resíduos culturais na reforma do canavial, tenham sido suficientes para sustentar a produtividade da cana-soca. O mesmo ocorreu para os tratamentos de cana-soca na dose de 120 kg ha⁻¹ de N de cana-planta, inclusive com reduções de produtividade nas maiores doses de N na cana-soca (Tabela 6.17).

Houve efeito das doses de N aplicadas em TCH na cana-soca nas parcelas que foram adubadas com 120 kg ha⁻¹ de N no ciclo de cana-planta (Tabela 6.18). Esse efeito se manifestou com um aumento linear na produtividade de 7,5 Mg ha⁻¹ de colmos a cada 100 kg ha⁻¹ de N ($r^2 = 0,75$), mas que não foi observado nos outros parâmetros avaliados, inclusive com redução na produtividade em massa seca de colmos, ponteiros e folhas secas avaliados pela biometria. Não foi observado, também, efeito das doses no desenvolvimento do sistema radicular da cana-soca na dose de 120 kg ha⁻¹ de N no ciclo de cana-planta (Tabela 6.19).

Tabela 6.16 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca, em função da adubação nitrogenada de soqueira que recebeu 40 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USA

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
		Mg ha ⁻¹			
0	108,5	26,55	5,27	9,02	40,84
50	120,3	27,04	4,74	9,55	41,34
100	125,0	25,38	4,31	9,96	39,65
150	119,0	25,81	4,06	10,05	39,92
Média	118,2	26,19	4,60	9,65	40,44
CV (%)	6	14	28	10	13
F - blocos	2,30 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,41 ^{ns}	3,99**	0,62 ^{ns}
F - doses	3,48*	0,16 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,09 ^{ns}
F - reg. 1º grau	4,72*	0,22 ^{ns}	2,07 ^{ns}	2,69 ^{ns}	0,15 ^{ns}
F - reg. 2º grau	5,66**	0,00 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,00 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * e ** são significativos a 10% e 5% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.17 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca, em função da adubação nitrogenada de soqueira e 80 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USA

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
		Mg ha ⁻¹			
0	120,0	25,33	4,15	8,87	38,35
50	123,0	26,99	5,16	10,12	42,26
100	122,0	26,43	5,17	9,88	41,49
150	122,8	27,82	4,58	9,75	42,15
Média	121,9	26,64	4,76	9,65	41,06
CV (%)	5	10	12	12	9
F - blocos	0,79 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,40 ^{ns}	4,41***	2,75 ^{ns}
F - doses	0,24 ^{ns}	0,64 ^{ns}	3,14**	0,82 ^{ns}	1,06 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,33 ^{ns}	1,14 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,76 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,16 ^{ns}	0,01 ^{ns}	8,23***	1,33 ^{ns}	0,83 ^{ns}

^{ns} - não significativo; *** e ** são significativos a 1% e 5% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.18 - Produção de colmos industrializáveis (TCH), fitomassa seca de colmos, ponteiros, folhas secas e do total na colheita da cana-soca, em função da adubação nitrogenada de soqueira associado ao tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USA

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	TCH	Fitomassa Seca			Total (C + P + F)
		Colmo (C)	Ponteiro (P)	Folha seca (F)	
			Mg ha ⁻¹		
0	111,5	29,48	5,50	10,09	45,06
50	121,5	26,08	4,70	9,31	40,09
100	122,8	25,48	4,27	8,57	38,33
150	123,5	26,23	5,58	9,54	41,35
Média	119,8	26,82	5,01	9,38	41,21
CV (%)	7	7	16	7	6
F - blocos	2,10 ^{ns}	3,32**	0,81 ^{ns}	2,40 ^{ns}	1,65 ^{ns}
F - doses	1,55 ^{ns}	3,36**	2,60 ^{ns}	3,66**	4,76**
F - reg. 1º grau	3,44*	5,53***	0,01 ^{ns}	2,65 ^{ns}	4,87**
F - reg. 2º grau	1,06 ^{ns}	4,45**	7,19***	7,03***	9,34***

^{ns} - não significativo; ***, ** e * - significativos a 1%, 5% e 10% de probabilidade respectivamente.

Tabela 6.19 - Produção de Fitomassa Seca do Sistema Radicular (Raízes, Rizomas e Total) na colheita da cana-soca em função das doses de N aplicadas na soqueira associado ao tratamento com 120 kg ha⁻¹ de N no plantio no experimento USA

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Raiz (Ra)	Fitomassa Seca	
		Rizoma (Ri)	Total (Ra + Ri)
		Mg ha ⁻¹	
0	2,13	4,52	6,65
50	2,77	4,55	7,32
100	2,24	4,31	6,55
150	2,16	4,35	6,51
Média	2,32	4,43	6,75
CV (%)	46	18	19
F - blocos	0,14 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,87 ^{ns}
F - doses	0,32 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,34 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,04 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,45 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,29 ^{ns}

^{ns} - não significativo.

Nos tratamentos em que houve efeito significativo da adubação nitrogenada na produtividade em TCH e não houve para a produtividade em fitomassa seca de colmos, ponteiros e folhas secas podem ter ocorrido duas situações que interferiram na não equiparação dos resultados. A primeira é que a estimativa de produtividade, realizada com a biometria de três metros lineares de cana-de-açúcar, pode não representar a parcela amostrada pela desuniformidade das plantas de um canavial, o que é comprovado pelos maiores coeficientes de variação encontrados neste trabalho para os

resultados em fitomassa seca. A segunda é que a estimativa da produtividade realizada com a pesagem da cana-de-açúcar recém colhida, em TCH, leva em conta o teor de umidade da planta o qual pode variar com a adubação nitrogenada e interferir no peso do tratamento.

A adubação nitrogenada está normalmente associada com o maior crescimento vegetativo o que determina, invariavelmente, plantas com maior teor de umidade (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992). 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 (SILVA; CASAGRANDE, 1983; SILVA, 1983).

Porém, Franco (2008) não encontrou diferença significativa de umidade dos colmos em dois experimentos que receberam doses de N. O mesmo foi verificado nos trabalhos realizados por Trivelin et al. (2002) e Bologna-Campbell (2007). Entretanto, Trivelin et al. (1996) constataram por todo o período de crescimento e maturação de soqueira de cana-de-açúcar, cultivar SP70-1143, que a umidade da parte aérea de plantas sem adubação nitrogenada foi menor que a das fertilizadas com 100 kg ha^{-1} de N.

6.3.3 Avaliação dos parâmetros tecnológicos da cana-soca

A adubação nitrogenada é comumente associada com maior teor de umidade das plantas e maior produtividade, porém com prejuízos no acúmulo de sacarose (KORNDÖRFER; MARTINS, 1992; MALAVOLTA; MORAES, 2007). Para cada aumento porcentual na produtividade pode ocorrer uma diminuição de 0,01% no teor de açúcar. O ganho na produção de colmos, entretanto, compensa tal redução produzindo mais açúcar por hectare (MALAVOLTA; MORAES, 2007).

6.3.3.1 Experimento USL

No experimento da USL não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio (Tabela 6.20), avaliado nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada de cana-soca (testemunhas), em nenhum dos parâmetros tecnológicos avaliados.

Tabela 6.20 - Parâmetros tecnológicos avaliados nas parcelas de cana-soca que receberam adubação nitrogenada apenas no plantio (efeito residual), no experimento USL

Tratamentos de N no plantio kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	18,78	8,95	82,75	13,88	1,12	142,36
40	18,20	8,95	82,20	13,35	1,18	137,82
80	18,43	9,12	82,00	13,44	1,19	138,86
120	18,58	9,19	82,29	13,58	1,17	139,94
Média	18,49	9,05	82,31	13,56	1,17	139,75
CV (%)	3	13	2	5	13	4
F - blocos	0,29 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,62 ^{ns}
F - doses	0,69 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,51 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,08 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,26 ^{ns}
F - reg. 2º grau	1,53 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,07 ^{ns}

^{ns} - não significativo. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Também não houve efeito da adubação nitrogenada da cana-soca (Tabelas 6.21 a 6.24), independente do tratamento de cana-planta, com exceção da porcentagem de AR que aumentou quadraticamente com as doses de N na cana-soca nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada de plantio (Tabela 6.21). 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), Bologna-Campbell (2007) e Franco (2008) encontraram condições semelhantes de resposta a adubações nitrogenadas.

Os açúcares redutores (AR) são precursores de cor no processo industrial, isto é, participam de reações que aumentam a cor do açúcar depreciando a qualidade do produto, sendo que à medida que os teores de sacarose aumentam na cana-de-açúcar (processo de maturação) ocorre a redução desses nas plantas (FERNANDES, 2003).

Tabela 6.21 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USL em função das doses de N aplicadas na soqueira nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada no plantio (testemunha)

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	18,78	8,95	82,75	13,88	1,12	142,36
50	18,65	9,30	82,49	13,65	1,14	140,35
100	19,05	9,25	82,01	13,87	1,19	142,87
150	19,10	9,35	83,50	14,13	1,05	144,14
Média	18,89	9,21	82,69	13,88	1,13	142,43
CV (%)	2	12	1	4	6	3
F - blocos	2,57 ^{ns}	0,96 ^{ns}	2,03 ^{ns}	1,75 ^{ns}	2,65 ^{ns}	1,68 ^{ns}
F - doses	1,12 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,57 ^{ns}	0,60 ^{ns}	3,08*	0,49 ^{ns}
F - reg. 1º grau	2,25 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,61 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,18 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,10 ^{ns}	0,91 ^{ns}	5,69**	0,53 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * e ** são significativos a 10% e 5% de probabilidade respectivamente. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Tabela 6.22 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USL em função das doses de N aplicadas na soqueira associadas a dose de 40 kg ha⁻¹ de N no plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	18,20	8,95	82,20	13,35	1,18	137,82
50	19,08	9,54	82,32	13,89	1,15	142,74
100	18,53	9,02	82,92	13,69	1,11	140,43
150	18,43	9,03	81,86	13,44	1,21	138,94
Média	18,56	9,13	82,32	13,59	1,16	139,98
CV (%)	3	4	2	5	13	3
F - blocos	0,49 ^{ns}	0,37 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,27 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,01 ^{ns}
F - doses	1,56 ^{ns}	2,46 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,77 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,01 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}
F - reg. 2º grau	2,69 ^{ns}	2,86 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,58 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,75 ^{ns}

^{ns} - não significativo. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Tabela 6.23 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USL em função das doses de N aplicadas na soqueira associadas a dose de 80 kg ha⁻¹ de N no plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	18,43	9,12	82,00	13,44	1,19	138,86
50	18,03	8,81	81,50	13,13	1,25	136,38
100	18,53	8,98	81,94	13,53	1,20	139,80
150	18,75	9,01	82,71	13,83	1,13	141,93
Média	18,43	8,98	82,04	13,48	1,19	139,24
CV (%)	3	4	2	4	14	3
F - blocos	1,90 ^{ns}	5,86**	0,06 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,58 ^{ns}
F - doses	1,21 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,32 ^{ns}	1,22 ^{ns}
F - reg. 1º grau	1,43 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,46 ^{ns}	0,38 ^{ns}	1,85 ^{ns}
F - reg. 2º grau	1,28 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,54 ^{ns}	1,09 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,23 ^{ns}

^{ns} - não significativo; ** significativo a 5% de probabilidade. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Tabela 6.24 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USL em função das doses de N aplicadas na soqueira associadas a dose de 120 kg ha⁻¹ de N no plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	18,58	9,19	82,29	13,58	1,17	139,94
50	18,05	8,75	81,61	13,19	1,24	136,87
100	18,40	8,88	82,03	13,49	1,19	139,31
150	18,83	9,02	81,99	13,75	1,20	141,85
Média	18,46	8,96	81,98	13,50	1,20	139,49
CV (%)	3	4	2	5	13	3
F - blocos	0,51 ^{ns}	0,65 ^{ns}	2,08 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,07 ^{ns}	0,54 ^{ns}
F - doses	1,33 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,69 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,76 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,55 ^{ns}
F - reg. 2º grau	2,83 ^{ns}	2,79 ^{ns}	0,15 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,23 ^{ns}	1,28 ^{ns}

^{ns} - não significativo. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

6.3.3.2 Experimento USA

No experimento USA, como também observado no USL, não houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio (Tabela 6.25), avaliado nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada de cana-soca (testemunhas), em nenhum dos parâmetros tecnológicos avaliados.

Tabela 6.25 - Parâmetros tecnológicos avaliados nas parcelas de cana-soca que receberam adubação nitrogenada apenas no plantio (efeito residual), no experimento USA

Tratamentos de N no plantio kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	19,01	10,99	87,93	14,57	0,66	143,91
40	19,14	10,87	87,75	14,65	0,65	144,60
80	19,41	10,60	88,20	15,10	0,63	148,70
120	18,75	11,25	88,05	14,70	0,65	144,99
Média	19,08	10,92	87,98	14,75	0,65	145,55
CV (%)	2	4	1	3	7	3
F - blocos	2,36 ^{ns}	2,33 ^{ns}	4,16 ^{**}	3,10 [*]	29,42 ^{***}	1,93 ^{ns}
F - doses	1,50 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,25 ^{ns}	1,28 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,14 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,26 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,67 ^{ns}
F - reg. 2º grau	3,06 ^{ns}	3,11 ^{ns}	0,00 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,19 ^{ns}

^{ns} - não significativo; *, ** e *** são significativos a 10%, 5% e 1% de probabilidade respectivamente. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Não houve efeito da adubação nitrogenada da cana-soca no experimento USA para a maioria dos parâmetros tecnológicos avaliados (Tabelas 6.26 a 6.29), independente do tratamento de cana-planta, com exceção da porcentagem de AR que, contrariamente ao experimento USL, diminuiu linearmente com as doses de N na cana-soca aplicadas nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada de plantio (Tabela 6.26) e nas parcelas que receberam 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 6.29).

Tabela 6.26 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USA em função das doses de N aplicadas na soqueira nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada no plantio (testemunha)

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	19,01	10,99	87,93	14,57	0,66	143,91
50	19,72	10,29	87,93	14,89	0,71	147,43
100	19,13	10,87	87,99	14,73	0,60	144,89
150	19,79	10,21	87,72	14,62	0,58	143,82
Média	19,41	10,59	87,89	14,70	0,64	145,01
CV (%)	3	6	1	6	13	5
F - blocos	0,50 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,25 ^{ns}	2,70 ^{ns}	0,28 ^{ns}
F - doses	1,62 ^{ns}	1,40 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,11 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,19 ^{ns}
F - reg. 1º grau	1,57 ^{ns}	1,72 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,00 ^{ns}	3,38 [*]	0,03 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,00 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,36 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * significativo a 10% de probabilidade. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Tabela 6.27 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USA em função das doses de N aplicadas na soqueira associadas a dose de 40 kg ha⁻¹ de N no plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	19,14	10,87	87,75	14,65	0,65	144,60
50	19,42	10,58	87,87	14,65	0,61	144,29
100	20,09	9,91	88,42	15,29	0,57	150,14
150	19,43	10,57	88,03	14,88	0,62	146,63
Média	19,52	10,48	88,01	14,87	0,61	146,42
CV (%)	2	4	1	4	19	4
F - blocos	0,49 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,27 ^{ns}
F - doses	3,42*	3,43*	0,31 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,90 ^{ns}
F - reg. 1º grau	2,50 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,88 ^{ns}
F - reg. 2º grau	4,68*	4,75*	0,23 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,32 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * - significativos a 10% de probabilidade. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Tabela 6.28 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USA em função das doses de N aplicadas na soqueira associadas a dose de 80 kg ha⁻¹ de N no plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	19,41	10,60	88,20	15,10	0,63	148,70
50	19,68	10,32	88,11	14,96	0,57	146,95
100	19,51	10,49	87,94	15,07	0,68	148,85
150	19,40	10,61	88,92	15,45	0,51	151,15
Média	19,50	10,50	88,29	15,14	0,60	148,91
CV (%)	2	5	1	4	13	4
F - blocos	0,18 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,78 ^{ns}	2,44 ^{ns}	1,04 ^{ns}
F - doses	0,29 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,48 ^{ns}	3,13*	0,42 ^{ns}
F - reg. 1º grau	0,03 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,71 ^{ns}	1,59 ^{ns}	0,61 ^{ns}
F - reg. 2º grau	0,63 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,72 ^{ns}	1,778 ^{ns}	0,59 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * significativo a 10% de probabilidade. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

Tabela 6.29 - Parâmetros tecnológicos avaliados na cana-soca colhida no experimento da USA em função das doses de N aplicadas na soqueira associadas a dose de 120 kg ha⁻¹ de N no plantio

Tratamentos de N na soqueira kg ha ⁻¹	Brix	Fibra	Pureza %	Pol cana	AR	ATR kg t ⁻¹
0	18,75	11,25	88,05	14,70	0,65	144,99
50	19,46	10,54	86,65	14,28	0,71	141,57
100	19,57	10,43	88,20	15,11	0,58	148,44
150	19,75	10,25	88,03	15,08	0,55	147,99
Média	19,38	10,62	87,73	14,79	0,62	145,75
CV (%)	2	5	1	3	12	3
F - blocos	2,40 ^{ns}	2,21 ^{n^s}	1,25 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,72 ^{ns}	0,76 ^{ns}
F - doses	3,19*	3,38*	1,91 ^{ns}	2,20 ^{ns}	3,14*	1,90 ^{ns}
F - reg, 1º grau	8,04*	8,37*	0,41 ^{ns}	2,83 ^{ns}	5,78**	2,37 ^{ns}
F - reg, 2º grau	1,17 ^{ns}	1,4	1,38 ^{ns}	0,55 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,41 ^{ns}

^{ns} - não significativo; * e ** são significativos a 10% e 5% de probabilidade respectivamente. AR - açúcares redutores. ATR - açúcar total recuperável por tonelada de colmos.

As porcentagens de brix e fibras variaram significativamente nas parcelas que receberam 40 e 120 kg ha⁻¹ de N no plantio. Na dose 40 kg ha⁻¹ de N houve aumento no brix e diminuição nas fibras, sendo o comportamento de resposta quadrático (Tabela 6.27). Na dose de 120 kg ha⁻¹ de N as respostas foram semelhantes, mas lineares. No entanto, essas melhorias dos parâmetros tecnológicos não afetaram o pol ou o ATR (Tabela 6.29).

Orlando Filho et al. (1999) e Zambello Junior (1980) constataram que somente a aplicação de 480 kg ha⁻¹ de N diminui a percentagem de Pol da cana. Porém, vários outros autores encontraram efeito negativo da adubação nitrogenada na produção de açúcar (SILVEIRA; CROCOMO, 1981; ESPIRONELO et al., 1977, 1987).

A diminuição dos teores de fibras na USA nas doses de 40 e 120 kg ha⁻¹ de N é resultado direto do maior teor de Brix nos colmos e já havia sido observada no ciclo de cana-planta para as doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N (FRANCO, 2008). Segundo Fernandes (2003) existe uma relação 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.

A adubação nitrogenada de cana-soca resultou em maior produção de açúcar por hectare nos dois experimentos: USA e USL, apesar da reduzida significância estatística. A adição de N pode incrementar a produção de açúcar por área, ou seja, o teor de açúcar no colmo pode diminuir com a adubação nitrogenada, porém a quantidade total de açúcares produzidos por hectare é maior como decorrência da maior produtividade em TCH (ESPIRONELO et al., 1977, 1987; KORNDÖRFER et al., 1997, 2002; PAES et al., 1997; TRIVELIN et al., 2002; BOLOGNA-CAMPBELL, 2007; FRANCO, 2008).

6.3.4 Margens de contribuição agrícola e agroindustrial da cana-soca

O meio mais comum e correto de se avaliar o retorno econômico de um tratamento aplicado à cana-de-açúcar são os cálculos das Margens de Contribuição Agrícola (MCA) e Agroindustrial (MCI). A primeira avalia o retorno econômico obtido no campo, e a segunda o obtido com a produção de açúcar e álcool. 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, no caso deste trabalho a adubação nitrogenada.

Para o cálculo da MCA foi utilizada a produtividade da matéria-prima (TCH) entregue na indústria e os custos variáveis de corte, carregamento e transporte (CCT), e da adubação nitrogenada com sulfato de amônio. Não foram considerados, neste trabalho, os custos com arrendamento da terra assumindo-se o uso de terras próprias. Para o cálculo da MCI foram usados os mesmos dados da MCA mais os resultados de ATR, valores de mercado de açúcar e álcool, proporção da fabricação de cada um e índices de eficiência do processo industrial de fabricação. Também foram calculadas as contribuições marginais de cada margem de contribuição, ou seja, a lucratividade ou prejuízo em relação ao tratamento testemunha.

6.3.4.1 Experimento USL

As margens de contribuição agrícola e agroindustrial, no experimento USL, foram positivas, sendo a MCI superior à MCA (Tabela 6.30). Observa-se que as margens de contribuição, na maioria dos tratamentos testados, são inferiores à da testemunha.

Apesar de os tratamentos com N terem estimulado a produtividade da cana-soca o ganho em TCH não foi suficiente para cobrir o custo da adubação nitrogenada.

Na média dos tratamentos de cana-planta observa-se que a MCI variou menos com as doses de N aplicadas à cana-soca do que MCA. Isso ocorreu pelo peso do custo da adubação nitrogenada na MCA a qual só leva em consideração a lucratividade com o preço da tonelada de cana-de-açúcar (Figura 6.3). Porém, para ambas as margens de contribuição houve prejuízo com a adubação nitrogenada da cana-soca o que foi avaliado pela diferença marginal em relação à testemunha (Figura 6.4).

Tabela 6.30 - Margens de contribuição agrícola (MCA) e agroindustrial (MCI) do experimento da USL geradas no ciclo de cana-soca em função da adubação nitrogenada de soqueira

Doses de N CS kg ha ⁻¹	Doses de N na CP (kg ha ⁻¹)									
	0		40		80		120		média	
	MCA	MCI	MCA	MCI	MCA	MCI	MCA	MCI	MCA	MCI
	R\$ ha ⁻¹									
0	1681	2466	1717	2505	1754	2559	1633	2387	1681	2466
50	1586	2396	1807	2728	1421	2140	1474	2219	1586	2396
100	1579	2470	1493	2339	1589	2474	1514	2363	1579	2470
150	1294	2136	1424	2304	1471	2386	1449	2353	1294	2136
média	1535	2367	1611	2469	1559	2390	1518	2331	1535	2367
DPM	84	79	91	97	74	90	41	38	84	79

CS - cana-soca; CP - cana-planta; DPM - desvio padrão da média.

Para o cálculo da MCA foram utilizados: o preço da tonelada da cana (R\$ t⁻¹) obtido pela multiplicação do ATR de cada parcela (kg ha⁻¹) pelo preço do kg da ATR (R\$ 0,2687 kg⁻¹ de ATR - cotação para o mês de junho de 2007); a produtividade (t ha⁻¹ de colmos); o custo do corte, carregamento e transporte (R\$ 16,00 t⁻¹); e o custo da adubação nitrogenada (R\$ 3,30 kg⁻¹ de N na fonte sulfato de amônio).

Para o cálculo da MCI foram utilizados: a produtividade (t ha⁻¹ de colmos); o rendimento teórico de açúcar (4,14 * pol cana, em kg t⁻¹); o rendimento teórico do álcool (0,6158 * pol cana + AR, em L t⁻¹); o preço do açúcar (R\$ 0,4998 kg⁻¹ de açúcar em junho de 2007); o preço do álcool anidro (R\$ 0,6751 L⁻¹ de álcool em junho de 2007); o custo do corte, carregamento e transporte (R\$ 16,00 t⁻¹); custos com recepção, estocagem, lavagem, preparo e moagem da matéria-prima (R\$ 12,50 t⁻¹); o preço da tonelada da cana (R\$ t⁻¹) obtido pela multiplicação do ATR de cada parcela (kg ha⁻¹) pelo preço do kg do ATR (R\$ 0,2687 kg⁻¹ - cotação para o mês de junho de 2007); e o custo da adubação nitrogenada (R\$ 3,30 kg⁻¹ de N na fonte sulfato de amônio).

Fonte: Fernandes (2003), Orplana (2007a).

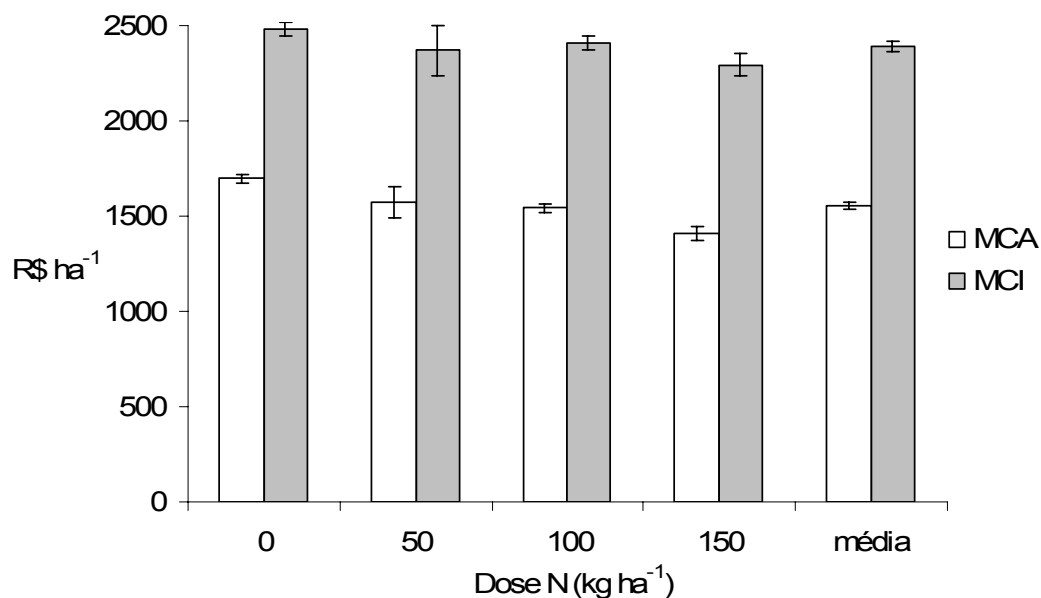


Figura 6.3 - Margens de contribuição agrícola (MCA) e agroindustrial (MCI) médias do experimento da USL geradas no ciclo de cana-soca em função da adubação nitrogenada de soqueira

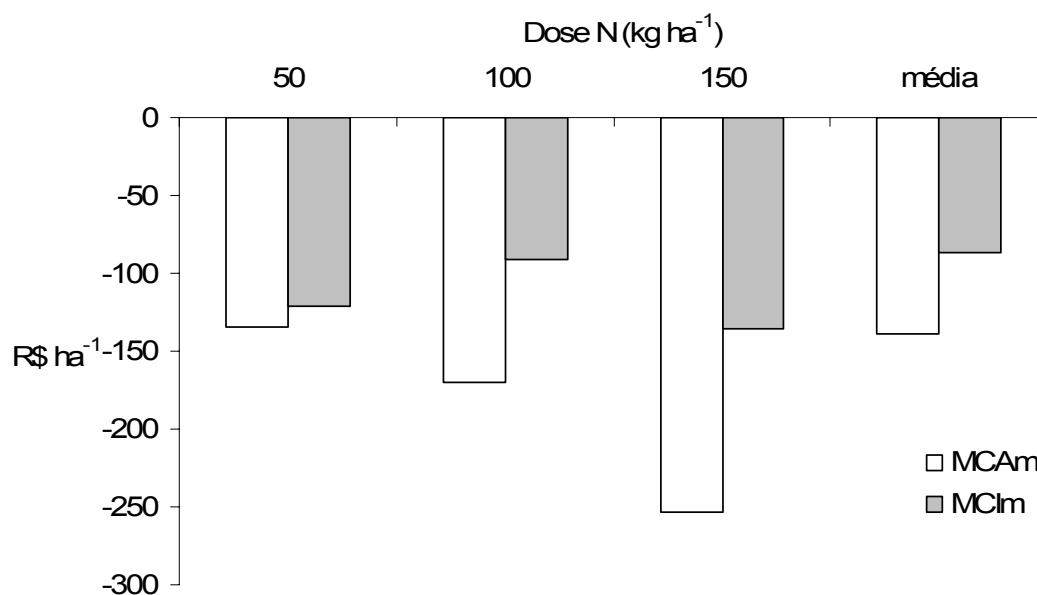


Figura 6.4 - Receitas marginais agrícola (MCAm) e agroindustrial (MCIIm) médias da USL em relação ao tratamento testemunha em função da adubação nitrogenada de soqueira

Os anos/safras de 2006/2007 (aplicação dos tratos culturais) e de 2007/2008 (colheita dos experimentos) foram marcados por dois cenários macroeconômicos bem definidos para o setor sucroalcooleiro. O primeiro de aumento dos custos operacionais

e dos insumos os quais encareceram a produção. O segundo de queda nos preços do quilograma do ATR e dos preços do açúcar e do álcool nos mercados nacional e internacional. Essa conjuntura econômica reverteu em prejuízo ao manejo adotado nas áreas experimentais, apesar desse ter sido tecnicamente viável e comprovado.

Esse cenário atual fez com que a lucratividade do setor seja extremamente dependente de um manejo refinado da cultura no campo baseado na diminuição dos custos de produção que, por sua vez, estão diretamente ligados aos preços dos insumos e dos produtos finais. Isso faz com que a dose de N aplicada seja maior quando o preço dos insumos baixarem e/ou dos produtos açúcar e álcool subirem e vice-versa.

6.3.4.2 Experimento USA

Da mesma forma que na USL, as margens de contribuição agrícola e agroindustrial no experimento USA foram positivas sendo a MCI superior à MCA (Tabela 6.31). As MCA, na maioria dos tratamentos testados, são inferiores à da testemunha. No entanto, na USA as MCI obtidas com os tratamentos nitrogenados passaram a ser maiores que da testemunha, o que ocorreu com maior frequência. Mesmo nos tratamentos em que o N aumentou a produtividade da cana-soca esse incremento não cobriu o custo da adubação nitrogenada, considerando principalmente a MCA.

A produtividade no experimento USA foi maior do que USL, conseqüentemente as MCA e MCI foram significativamente maiores, mas apresentaram o mesmo comportamento. Na média dos tratamentos de cana-planta observa-se que a MCI variou menos com as doses de N de cana-soca do que MCA (Figura 6.5). Porém, para a MCA houve prejuízo com a adubação nitrogenada da cana-soca enquanto houve lucro com a dose de 100 kg ha^{-1} de N considerando-se a MCI (Figura 6.6). Neste caso, a maior produção de açúcar e álcool compensou o custo da adubação nitrogenada.

Tabela 6.31 - Margens de contribuição agrícola (MCA) e agroindustrial (MCI) do experimento da USA geradas no ciclo de cana-soca em função da adubação nitrogenada de soqueira

Doses de N CS kg ha ⁻¹	Doses de N na CP (kg ha ⁻¹)									
	0		40		80		120		média	
	MCA	MCI	MCA	MCI	MCA	MCI	MCA	MCI	MCA	MCI
	R\$ ha ⁻¹									
0	2440	3814	2288	3577	2671	4189	2364	3702	2440	3814
50	2420	3883	2372	3801	2446	3921	2308	3694	2420	3883
100	2177	3592	2487	4087	2386	3930	2381	3919	2177	3592
150	2076	3521	2078	3534	2251	3814	2223	3761	2076	3521
média	2278	3703	2306	3750	2439	3964	2319	3769	2278	3703
DPM	90	87	86	127	88	80	36	52	90	87

CS - cana-soca; CP - cana-planta; DPM - desvio padrão da média.

Para o cálculo da MCA foram utilizados: o preço da tonelada da cana (R\$ t⁻¹) obtido pela multiplicação do ATR de cada parcela (kg ha⁻¹) pelo preço do kg da ATR (R\$ 0,2569 kg⁻¹ de ATR - cotação para o mês de julho de 2007); a produtividade (t ha⁻¹ de colmos); o custo do corte, carregamento e transporte (R\$ 16,00 t⁻¹); e o custo da adubação nitrogenada (R\$ 3,30 kg⁻¹ de N na fonte sulfato de amônio).

Para o cálculo da MCI foram utilizados: a produtividade (t ha⁻¹ de colmos); o rendimento teórico de açúcar (4,14 * pol cana, em kg t⁻¹); o rendimento teórico do álcool (0,6158 * pol cana + AR, em L t⁻¹); o preço do açúcar (R\$ 0,4876 kg⁻¹ de açúcar em julho de 2007); o preço do álcool anidro (R\$ 0,6685 L⁻¹ de álcool em julho de 2007); o custo do corte, carregamento e transporte (R\$ 16,00 t⁻¹); custos com recepção, estocagem, lavagem, preparo e moagem da matéria-prima (R\$ 12,50 t⁻¹); o preço da tonelada da cana (R\$ t⁻¹) obtido pela multiplicação do ATR de cada parcela (kg ha⁻¹) pelo preço do kg do ATR (R\$ 0,2569 kg⁻¹ - cotação para o mês de julho de 2007); e o custo da adubação nitrogenada (R\$ 3,30 kg⁻¹ de N na fonte sulfato de amônio).

Fonte: Fernandes (2003), Orplana (2007b).

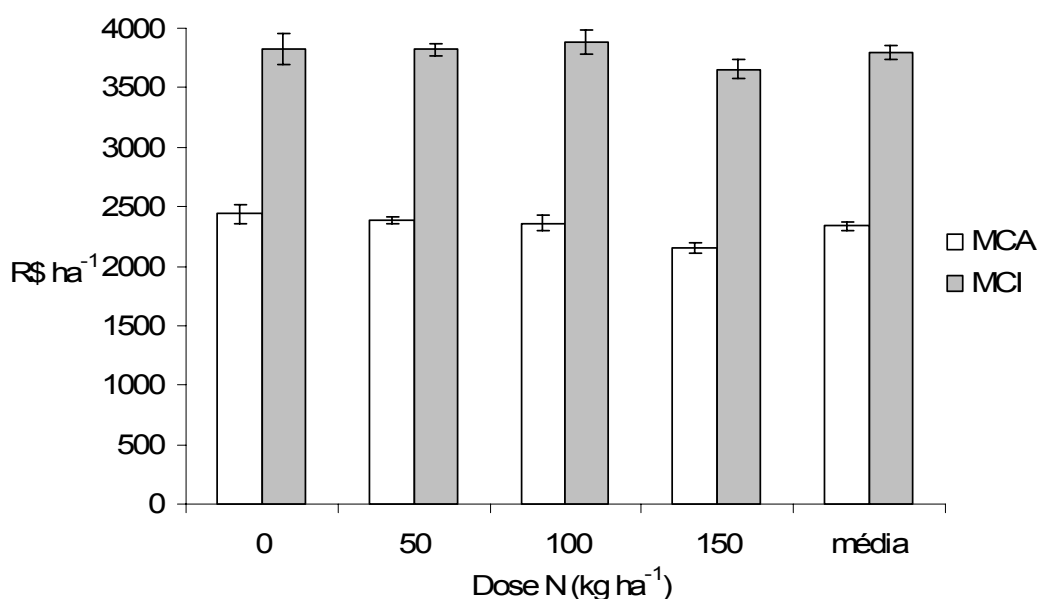


Figura 6.5 - Margens de contribuição agrícola (MCA) e agroindustrial (MCI) médias do experimento da USA geradas no ciclo de cana-soca em função da adubação nitrogenada de soqueira

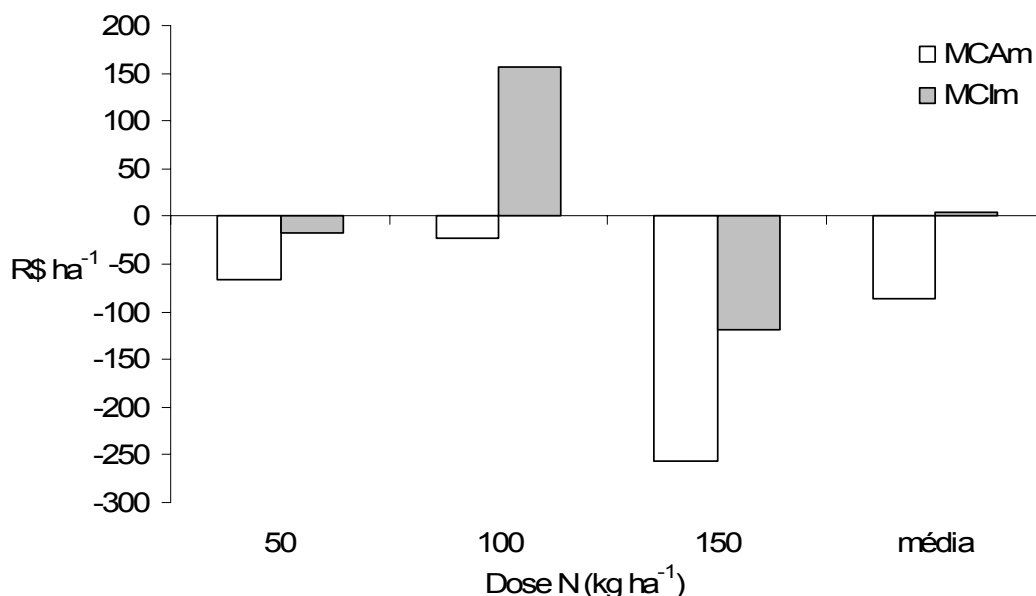


Figura 6.6 - Receitas marginais agrícola (MCAm) e agroindustrial (MCIIm) médias da USA em relação ao tratamento testemunha em função da adubação nitrogenada de soqueira

A mesma discussão sobre custos e receitas feita para o experimento USL vale para o experimento USA com o adendo que, além do ganho de produtividade com as adubações nitrogenadas, a grandeza absoluta da produtividade, em TCH, é muito importante para que se obtenha lucro. Exemplificando, se a adubação nitrogenada custa seis toneladas de colmos, mas ela só retorna as mesmas seis toneladas em produtividade, possivelmente se terá prejuízo já que há custos em cortar, transportar, preparar e processar essas toneladas a mais de cana-de-açúcar produzidas. No entanto, ganhos de produtividade maior que o custo do insumo e sua aplicação reverterão em lucro caso a qualidade tecnológica da matéria-prima não seja prejudicada. Dessa forma, deve-se direcionar o aumento da adubação nitrogenada para as áreas com maior potencial de resposta em TCH por unidade de N aplicado na adubação.

6.4 Conclusões

Não houve interação significativa das doses de N aplicadas nos ciclos de cana-planta e de cana-soca na produtividade e nos parâmetros tecnológicos da cana-soca.

O balanço climatológico foi semelhante nas duas áreas experimentais e em nenhuma delas este foi um fator limitante ao desenvolvimento das plantas.

Houve efeito residual da adubação nitrogenada de plantio na produtividade de colmos industrializáveis (TCH) da cana-soca.

Houve efeito das doses de N aplicadas após o corte da cana-planta na produtividade da cana-soca.

Não houve efeito da adubação nitrogenada de cana-soca nos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar, com exceção a ocorrências pontuais em alguns tratamentos de alterações na ATR, Brix e Fibra.

A MCA e a MCI obtidas com a adubação nitrogenada da cana-soca, com exceção da dose de 100 kg ha⁻¹ de N aplicada no experimento USA, foram inferiores às obtidas no tratamento testemunha, o que levou a prejuízo econômico na faixa de doses de N avaliadas.

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.
- AZEREDO, D.F.; BOLSANELLO, J.; WEBWE, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. **STAB. Açúcar, Alcool 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.
- BLACK, E.C.; BROWN, R.C.; MOORE, R.C. Plant photosynthesis. In: DOBEREINER, J.; BURRIS, R.H.; HOLLAENDER, A. (Ed.). **Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics**. New York: Plenum, 1978. p. 95-110.
- BOLOGNA-CAMPBELL, I. **Balanço 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.

BOLTON, J.K.; BROWN, R.H. Photosynthesis of grass species differing in carbon dioxide fixation pathways. V. Response of *Panicum maximum*, *Panicum milioides* and tallfescue (*Festuca arundinacea*) to nitrogen nutrition. **Plant Physiology**, New York, v. 66, p. 97-100, 1980.

BRITO, A.S. **Balanco de água em um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2006. 82 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da cultura de cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ; FEALQ, 1993. p. 209-225.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 11, p. 355-412.

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.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.

CHAPMAN, L.S.; HAYSOM, M.B.C; SAFFIGNA, P.G. N cycling in cane fields from ¹⁵N 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: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

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.

ERNANI, P.R.; SANGOI, L.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. A forma de aplicação da uréia e dos resíduos vegetais afeta a disponibilidade de nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 360-365, 2005.

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

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

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FRANCO, H.C.J.; VITTI, A.C.; FARONI, C.E.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 25, n. 6, p. 32-36, 2007.

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.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Urea and sugarcane straw nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 689-695, 2005.

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 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.

LUDLOW M, M.; FERRARIS, R.; CHAPMAN, L.S. Interaction between nitrogen and water supply on the photosynthetic rate of sugarcane leaves. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 13., 1991, Bundaberg. **Proceedings...** Bundaberg, 1991. p. 66-72.

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.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 6, p. 189-249.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**. 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.

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**, Dordrecht, v. 102, p. 79-83, 1987.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 861-868, 2002.

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.; 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.

ORPLANA. **Preços do kg do ATR – junho de 2007**. Disponível em: <http://www.orplana.com.br/pdf_atr/ATR_Jornal_Orplana_06-07.pdf> Acesso em: 20 nov. 2007a.

ORPLANA. **Preços do kg do ATR – julho de 2007**. Disponível em: <http://www.orplana.com.br/pdf_atr/ATR_Jornal_Orplana_07-07.pdf> Acesso em: 20 nov. 2007b.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007. 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., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Centro de Tecnologia da COPERSUCAR, 1997. p. 340-349.

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, 1997. 285 p. (IAC. Boletim Técnico 100).

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, seqüencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Eficiência de utilização de uréia-¹⁵N pela cana-soca em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: SEMINÁRIO REGIONAL SOBRE TÉCNICAS NUCLEARES NA PRODUÇÃO DE PLANTAS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: CENA, 1984. p. 205-209.

SEGATO, S.V.; MATTIUZ, C.F.M.; MOZAMBANI, A.E. Aspectos fonológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Ed.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2006. cap. 1, p. 19-36.

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: IAA, 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: IAA, 1983. cap. 4, p. 77-99.

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.

SILVEIRA, J.A.G.; CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum spp.*). I. Effects of NO₃ nitrogen concentration on the metabolism or sugar and nitrogen. **Energia Nuclear e Agricultura**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 19-33, 1981.

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.

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

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-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 89-99, 1996.

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-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995.

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. 637-646, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M. **Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual.** 2002. 140 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2002.

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

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; PIEDADE, S.M.S. Recuperação do N do fertilizante-¹⁵N e da palha-¹⁵N no sistema solo-planta-palha em cana-de-açúcar. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE, 2005, Santos. **Anais...** Santos: Associação Brasileira de Energia Nuclear, 2005. 1 CD-ROM.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C., PENATTI, C.P.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E., FRANCO, H.C.J.F. 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.

WOOD, A.W.; MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. III. Accumulation, partitioning and use of nitrogen. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 48, p. 223-233, 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, 1990.

ZAMBELO JUNIOR, E.; AZEREDO, D.F. Adubação na região centro-sul. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA, PLANALSUCAR, 1983. cap. 12, p. 289-313.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apresentados neste trabalho de tese esclarecem, parcialmente, os questionamentos que levaram à sua realização. Sendo parte de um grande projeto multidisciplinar, essa tese teve por objetivo maior identificar como o nutriente nitrogênio, adicionado no plantio da cana-de-açúcar, se comporta no sistema solo-planta por mais de um ciclo agrícola e qual sua interação com a adubação nitrogenada da cana-soca e seus efeitos na produtividade e qualidade tecnológica da soqueira.

Sendo assim, grande parte das respostas encontradas no ciclo de cana-soca tem a origem de suas explicações no ciclo de cana-planta, no qual, pela realização do preparo convencional de solo que consiste em seu revolvimento e nas correções de suas características químicas indesejáveis, ocorrem as maiores alterações no sistema solo-planta e na dinâmica do ciclo do nitrogênio.

O trabalho precedente de Franco (2008), realizado no ciclo de cana-planta, apontou que a cana-de-açúcar respondeu a adubação nitrogenada de plantio tanto em produtividade como no rendimento de açúcar por hectare, independente do tipo de solo, sendo recomendada, para a cana-planta de ano e meio, com preparo de solo no sistema convencional, a aplicação de 40 a 60 kg ha⁻¹ de N. Nesse trabalho foi constatado que a principal fonte de N para a cultura no ciclo de cana-planta foi o N nativo mineralizado do solo e dos materiais orgânicos recém incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. O N-fertilizante, na colheita da cana-planta, representou apenas 12% do N total acumulado pela planta toda (parte aérea e raízes).

Diante deste cenário se questionou sobre a dinâmica do N adicionado no plantio no sistema solo-planta e seu efeito residual no ciclo de cana-soca. Se na média das doses de N aplicadas no plantio, apenas 27% do nutriente foi utilizado pelas plantas, qual o destino dos outros 73% não aproveitados?

Desconsideradas as perdas por volatilização da amônia, já que o N-uréia foi aplicado no fundo do sulco no plantio, e as por lixiviação, quantificada na mesma área experimental por Ghiberto et al. (2007) e consideradas, praticamente, desprezíveis, uma pequena parte do N não contabilizado pode ter sido perdida por desnitrificação e outra parte, essa mais considerável, perdida pela parte aérea das plantas durante o

desenvolvimento da cultura, as quais não foram quantificadas. Porém, grande parte do N da adubação de plantio permaneceu no sistema solo-planta.

Na média dos experimentos e das doses de N de plantio, 13% do N-fertilizante permaneceu no sistema radicular e nos ponteiros e folhas secas residuais da colheita. Esse N contido no tecido vegetal, mais o N imobilizado no solo e na matéria orgânica por ação de microrganismos tornam-se uma fonte residual potencial para os ciclos subseqüentes da cana-de-açúcar (VITTI, 2003). Além desse efeito residual, a adubação nitrogenada de plantio aumenta a eficiência de utilização dos nutrientes, pois tem efeito sinérgico na absorção de outros nutrientes pela cana-planta e, conseqüentemente, maior acúmulo de reservas para o ciclo subseqüente. Isso fica muito claro com o estímulo da adubação nitrogenada à produção de raízes, e também a quantidade de nutrientes nos órgãos de reserva da cana-planta (raízes e rizomas) observados em trabalho precedente de Franco (2008).

Neste trabalho se quantificou que a recuperação (%) pela parte aérea da cana-soca da uréia-¹⁵N aplicada no plantio e que, na média dos experimentos e das doses, foi da ordem de 5%. Se considerarmos que a recuperação do N desse mesmo adubo no ciclo de cana-planta foi da ordem de 25% na parte aérea, a recuperação da cana-soca representou 25% do recuperado na cana-planta, o que é significativo em termos de aproveitamento do N-fertilizante. A recuperação (%) pela cana-soca do N da palha residual da colheita da cana-planta foi da ordem de 9%. Considerando, com base nos dados de Franco (2008), que 12,3% do N de plantio foram recuperados na palha e nos ponteiros e esse material fica no campo, após sua mineralização durante o primeiro ciclo de cana-soca pouco mais que 1% do N do adubo de plantio presente nos resíduos da colheita foi aproveitado pela soqueira.

Apesar de serem baixas as recuperações citadas, elas mostraram que o N-fertilizante de plantio continua no sistema solo-planta e é utilizado pelos cultivos nos ciclos subseqüentes. Nas parcelas que receberam adubação nitrogenada de plantio e foram testemunhas da adubação nitrogenada no ciclo de cana-soca, houve aumento da produtividade de colmos industrializáveis (TCH) na primeira soqueira. No entanto, quando foi aplicado N na cana-soca esse efeito residual não foi evidenciado, mostrando não haver interação entre as adubações, ou supressão do efeito residual pela

adubação de soqueira. A queda de produtividade em colmos do primeiro para o segundo corte (54% na USL e 31% na USA) pode ter sido um dos fatores responsáveis pela falta de resposta da cana-soca às adubações nitrogenadas, pela menor demanda do nutriente pelas plantas.

O fato de a recuperação ser baixa leva a consideração que esse N ainda pode ser utilizado pela cultura em seus próximos ciclos. Segundo Vitti (2003), em canaviais onde não se realiza a queima por vários anos, a saída de N do sistema é menor e haverá menor necessidade de fertilização com N, uma vez que a produtividade da cana-de-açúcar relaciona-se diretamente com esse N residual encontrado no solo, no sistema radicular e imobilizado na palha. Do N do adubo da cana-soca, na média dos experimentos e das doses, 24% foram encontrados nos ponteiros, folhas secas e raízes e 29% no solo, o que totaliza 53% do N da adubação de soqueira que continua no sistema e pode ser disponibilizada para os ciclo subseqüentes.

As doses de N na cana-soca não alteraram os teores de N na planta toda e nem o acúmulo do nutriente, nos dois experimentos, independente do tratamento de plantio. Porém, a maior dose de N aplicada à cana-soca aumentou a produtividade, em relação à menor dose. A recuperação de N (kg ha^{-1}) também foi maior na maior dose de soqueira, independente do tratamento de cana-plantio, mas a eficiência de utilização do adubo nitrogenado (%) não variou com a dose aplicada após o primeiro corte. Essas observações mostram que a absorção do nutriente foi proporcional a produção. As plantas do experimento USA acumularam 37 kg ha^{-1} de N a mais que as do experimento USL. Esses 35% acumulados a mais de N equivaleram a diferença de produção entre os experimentos, 30% maior em fitomassa seca na USA, em relação à USL. Esses resultados mostram que, talvez, a expectativa de produtividade possa ser uma das ferramentas para o manejo da adubação nitrogenada das soqueiras.

Diante de todas essas considerações, baseadas nos resultados de um trabalho que envolve uma equipe multidisciplinar e que tem como objetivo o estudo dos efeitos das adubações nitrogenadas do plantio e de soqueiras no ciclo de produção completo da cana-de-açúcar, que vai de reforma a reforma, fica clara necessidade de se modelar a dinâmica do N no sistema solo-planta.

A adubação nitrogenada da cana-de-açúcar deve levar em conta vários fatores: preparo do solo (preparo convencional ou reduzido), incorporação de resíduos culturais ou subprodutos orgânicos agroindustriais na reforma do canavial (cana colhida com ou sem a queima da palha e plantio com ou sem torta de filtro, fuligem, etc.), época de plantio e de corte (cana de ano ou ano e meio), expectativa de produção (ambiente de produção e histórico da área), tipo de colheita (mecânica ou manual, queimada ou sem queima), tipo de cultivo ou adubação de soqueira e, principalmente, a disponibilidade do N residual no sistema radicular da soqueira após o corte e do imobilizado no solo e na matéria orgânica.

A estimativa da mineralização desse N deve levar em conta o clima da região e a composição química da matéria orgânica, sendo que esse processo é dependente de fatores ambientais como temperatura, umidade e aeração e, principalmente, da qualidade dos restos culturais, especialmente da relação C:N, teores de lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis.

Considerados e quantificados todos esses fatores, a adubação nitrogenada poderá ser realizada de acordo com as necessidades do sistema de produção e não apenas da planta, já que a maior parte do N-fertilizante não é aproveitada por ela, mas passa a fazer parte do sistema solo-planta ou, ao menos, participa dos processos do ciclo do nitrogênio no solo que disponibilizam o nutriente estocado que será absorvido, assimilado e desassimilado pelas plantas, podendo também ser perdido do sistema.

Referências

FRANCO, H.C.J. **Eficiência agrônômica da adubação nitrogenada de cana-planta**. 2008. 112 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

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.

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