

ISSN 1677-9266

## Avaliação da Adubação com Nitrogênio e Potássio em Soqueiras de Cana-de-açúcar sem Queima





ISSN 1677-9266  
Abril, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Informática Agropecuária  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*Cooperação Internacional da Embrapa e International Potash Institute*

# **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 16**

## **Avaliação da Adubação com Nitrogênio e Potássio em Soqueiras de Cana-de-açúcar sem Queima**

Fábio Cesar da Silva  
Takashi Muraoka  
Paulo Roberto de Camargo e Castro  
Silvio Tavares  
Paulo Cesar O. Trivelin  
Maria Júlia de Lima Brossi  
João Vitor Dezuó Packer  
Matilde Barga dos Santos

Campinas, SP  
2007

**Embrapa Informática Agropecuária**  
**Área de Comunicação e Negócios (ACN)**

Av. André Tosello, 209  
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo  
Caixa Postal 6041  
13083-970 - Campinas, SP  
Telefone (19) 3789-5743 Fax (19) 3289-9594  
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>  
e-mail: [sac@cnptia.embrapa.br](mailto:sac@cnptia.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

*Adriana Farah Gonzalez (secretária)*  
*Ivanilde Dispatto*  
*José Iguelmar Miranda*  
*Kleber Xavier Sampaio de Souza (presidente)*  
*Marcia Izabel Fugisawa Souza*  
*Silvio Roberto Medeiros Evangelista*  
*Stanley Robson de Medeiros Oliveira*

**Suplentes**

*Laurimar Gonçalves Vendrusculo*  
*Maria Goretti Gurgel Praxedes*

Supervisor editorial: *Ivanilde Dispatto*  
Normalização bibliográfica: *Marcia Izabel Fugisawa Souza*  
Editoração eletrônica: *Área de Comunicação e Negócios (ACN)*

**1ª. edição on-line - 2007**  
**Todos os direitos reservados.**

---

Avaliação da adubação com nitrogênio e potássio em soqueiras de cana-de-açúcar sem queima / Fábio Cesar da Silva...[et al.]. — Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2007.

32 p. : il. — (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Informática Agropecuária; 16).

ISSN 1677-9266

1. Cana-de-açúcar. 2. Adubação nitrogenada. 3. Adubação potássica. I. Silva, Fábio Cesar da. II. Série.

CDD - 633.61 (21st. Ed.)

# Sumário

Resumo.....	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Fundamentação Teórica.....	8
Material e Métodos.....	12
Resultados e Discussão.....	15
Conclusões.....	28
Referências Bibliográficas.....	29



# Avaliação da Adubação com Nitrogênio e Potássio em Soqueiras de Cana-de-açúcar sem Queima

---

*Fábio Cesar da Silva*<sup>1</sup>

*Takashi Muraoka*<sup>2</sup>

*Paulo Roberto de Camargo e Castro*<sup>3</sup>

*Silvio Tavares*<sup>4</sup>

*Paulo Cesar O. Trivelin*<sup>5</sup>

*Maria Julia de Lima Brossi*<sup>6</sup>

*João Vítor Dezuó Packer*<sup>7</sup>

*Matilde Barga dos Santos*<sup>8</sup>

## Resumo

O agrossistema canavieiro gera exportação de açúcar e álcool, produzindo 25 milhões toneladas de açúcar e 14,8 milhões m<sup>3</sup> de etanol. A cana-de-açúcar é a principal fonte alternativa de energia limpa em substituição de fontes fósseis.

O projeto “Suporte para Aplicação Balanceada da Adubação Potássica” é uma parceria da Embrapa e do Instituto Internacional de Potássio e avaliou o desempenho da aplicação do nitrogênio e do potássio em agrossistema canavieiro sem queima, analisando a produtividade oriunda das suas combinações, a absorção de nutrientes pela planta, as perdas de nutrientes do sistema e os impactos no ambiente.

No experimento combinou-se a adubação nitrogenada e potássica em 16 tratamentos, nas doses de 0, 50, 100 e 150 kg/ha, para fins de obter a maior produtividade econômica desejada, investimento ponderado, com menores impactos ambientais e adequação à legislação vigente. A adubação nitrogenada recomendada para cana sem queima foi de 50 a 100 kg de N por hectare, dependendo da adição de fertilizante K - potássico, o qual é recomendado 100 kg de K por hectare para satisfazer a necessidade da planta.

Termos para indexação: adubação nitrogenada, adubação potássica.

---

<sup>1</sup> Doutor em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia, Pesquisador do Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA/USP.

<sup>3</sup> Doutor em Agronomia, Pesquisador do Departamento de Ciências Biológicas - ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<sup>4</sup> Doutor em Agronomia Apta de Andradina, SP.

<sup>5</sup> Doutor em Agronomia Pesquisador do CENA/USP, Piracicaba, SP.

<sup>6</sup> Tecnóloga Unicamp/Ceset, Limeira, SP e Pós-graduando do CENA/USP, Piracicaba, SP.

<sup>7</sup> Bolsista da Embrapa Informática Agropecuária, Campinas SP.

<sup>8</sup> Tecnóloga Unicamp/Ceset, Limeira, SP.

# Evaluation of Nitrogen and Potassium Fertilization Ratoon of Sugarcane without Burn

---

## Abstract

*The sugarcane agrosystem is the most important crop for agribusinesses in the country, generating exportation of sugar and alcohol, producing 24.945.018 tons of sugar and 14.764.086 m<sup>3</sup> of ethanol. The sugarcane assumed the paper of main alternative source of clean energy making possible the substitution of fossil energy attacking less the atmosphere.*

*The project "Support for sustentable application of potassium fertilizer", promoted by Embrapa and International Institute of Potassium evaluated the effect of the application of nitrogen and of potassium in sugarcane agrosystem without burns, analyzing the productivity originating from combinations of fertilizers, the absorption of nutrients for the plant, losses of nutrients of the system and the impacts on the environment.*

*The experiment combined nitrogen and potassium fertilization in 16 treatments, in the doses of 0, 50, 100 and 150 kg/ha, to identify which is the most appropriate treatment with gives a wanted productivity, considered investment, with smaller environmental impacts and adaptation with the effective legislation. The most appropriate treatment was 100 kg/ha of nitrogen plus 50 kg/ha of potassium (N100 K50) for presenting productivity, minimum degradation in the environment, to allow the application of the remaining straw on the soil, and for having a value considerable limbered to the productivity.*

*Index terms: nitrogen fertilizers, potassium fertilizers.*

## Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com uma área cultivada de cinco milhões de hectares, que resultou na safra 2003/04 a produção de 25 milhões de toneladas de açúcar e 14.8 milhões de m<sup>3</sup> de etanol (Única, 2005). O setor de produção de álcool assume o papel como a principal fonte alternativa de energia limpa em substituição às fontes fósseis.

A colheita de cana-de-açúcar foi tradicionalmente realizada após a despalha a fogo para facilitar o corte manual, mas que acarreta na emissão de N e C na atmosfera, principalmente como óxido.

No sistema da colheita da cana sem queima, as folhas secas, os ponteiros e as folhas verdes são cortados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduos vegetais, na ordem de 10 a 15 mg.ha<sup>-1</sup>, denominada palhada. A palhada é uma sobra proveniente da colheita da cana que pode ser descartada ou deixada nas lavouras, que se incorporada ao solo, acrescentaria cerca de 50 a 100 kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e de 3 a 6 mg.ha<sup>-1</sup> de carbono. Sendo possível aproveitá-la energeticamente, também, em sistemas de geração de energia colaborando para o aumento da eficiência do processo. O efeito da palhada na brotação da cana e na produtividade dos colmos varia com o cultivar, as condições termo-hídricas e a taxa de drenagem do solo (Oliveira, 1999). De acordo com os estudos realizados pela Copersucar, essa quantidade de massa vegetal, deixada no campo, é suficiente para produzir o efeito herbicida, no controle das ervas daninhas e na atenuação da erosão hídrica e eólica, devido a proteção ao impacto da gota d'água e do vento na desagregação do solo respectivamente, dificultando o arraste laminar, além da redução de custos (Furlani Neto, 1994; Silva et al., 2005; Campos, 2003).

Do ponto de vista do agrossistema canavieiro, a colheita da cana crua permite que os nutrientes contidos na palhada permaneçam no campo e sejam reciclados no sistema. Deste modo, a maior parte do carbono e do nitrogênio contidos nos resíduos passa a formar, gradativamente, parte da matéria orgânica do solo. Há com o tempo um equilíbrio dinâmico que alcançado quando a taxa de incorporação do nitrogênio (ou carbono) orgânico, mantendo estável o conteúdo de nitrogênio (ou carbono) no agrossistema.

A lógica da adubação nitrogenada e também potássica na cana crua seria a reposição das perdas de N e K no agrossistema, principalmente pela exportação dos colmos, visando a manutenção de níveis de nitrogênio e potássio, mas existem outras perdas a serem consideradas no balanço.

A pesquisa, financiada pelo Instituto Internacional de Potássio, teve como objetivo avaliar e expor um modelo simples que caracterize a dinâmica temporal da distribuição de nitrogênio no sistema de produção canavieiro sem queima prévia na colheita, face à aplicação de diversas combinações de nitrogênio e potássio, em cobertura sob a palhada em soqueira, visando a obtenção da produtividade econômica e sem contaminar o ambiente.

## Fundamentação Teórica

O processo de queima dos canaviais é realizado com o intuito de facilitar o trabalho dos cortadores de cana-de-açúcar e afugentar animais peçonhentos, porém essa prática implica na liberação de grande quantidade de gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$  (gases de efeito estufa - GEE) colaborando com o aumento do efeito estufa, um dos principais problemas ambientais enfrentados atualmente (Campos, 2003).

Furlani Neto (1994) apresentou uma série de vantagens e desvantagens, da colheita sem queima, que são resumidas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Vantagens e desvantagens do sistemas de colheita sem queima.

Vantagens	Desvantagens
Redução do impacto das gotas de chuva sobre os solos agrícolas	Diminuição da capacidade operacional das colhedoras
Maior conservação de umidade no solo, pelo efeito da palha sobre este	Maiores desgastes dos componentes ativos da colhedora, pelo efeito abrasivo das folhas
A palha em decomposição auxilia uma maior atividade microbiana no solo	Dificulta o manejo de uréia como fonte de N sob a palhada
Auxílio no controle de ervas daninhas promovendo redução do uso de herbicidas	Risco constante de incêndios no canavial
Maior incorporação de matéria orgânica aos solos	Eleva o índice de acidentes de trabalho durante o corte manual
Ausência de exsudação dos colmos, ocasionada pela queima do canavial	Dificuldade de realizar as operações de cultivo
Diminui o impacto ambiental da queimada e seus efeitos (fumaça e fuligem) nas cidades próximas	A palha favorece a proliferação de pragas (como a cigarrinha que representa um problema para a cultura)
Dispensa o processo de lavagem dos colmos, ajudando a evitar perdas de Matéria-prima e, conseqüentemente, diminuindo os custos industriais	Redução da densidade de carga devido ao aumento de matéria estranha de origem vegetal, necessitando acréscimo no número de viagens para transporte da matéria-prima

Fonte: Furlani Neto (1994).

As maiores limitações do meio à produtividade da cana-de-açúcar em soqueiras estão ligadas à disponibilidade de nutrientes no solo, especialmente o nitrogênio (Trivelin, 2000). Levando este fato em consideração nota-se a importância de uma adubação adequada na cultura canavieira. Segundo Malavolta (1979) o macronutriente que as plantas necessitam em maior quantidade é o nitrogênio, que em sua proporção é absorvido pelas suas raízes na forma de nitrato. Malavolta (1967) considerou que o processo da mineralização se inicia com a liberação do nitrogênio amoniacal dos esqueletos carbônicos em que se achava preso e depois, por ação predominantemente bacteriana (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*) a amônia é oxidada a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato, processo de nitrificação.

A imobilização e a mineralização são influenciadas pelo teor de carbono (C) na matéria orgânica; com um teor de carbono e uma baixa porcentagem de nitrogênio na matéria orgânica, é bastante provável que os microrganismos absorvam amônia e nitrato do solo que depende o teor de C - dá-se a mineralização (Malavolta, 1967). Segundo Stevenson (1982), da totalidade do nitrogênio encontrado na camada da superfície do solo, 90% estão combinados organicamente e o restante é nitrogênio inorgânico que pode ser aproveitado pelas plantas. A ação do fogo na colheita altera bruscamente as dinâmicas do carbono, nitrogênio e do enxofre no agrossistema.

A legislação no Estado de São Paulo (Lei nº 11.241) dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar. A mecanização apresenta-se como única opção para a colheita da cana crua, tanto do ponto de vista ergonômico, econômico quanto ambiental, dessa forma o corte mecânico viabiliza a colheita sem queima prévia, o que por sua vez, permite o aproveitamento do palhicho e este pode ser utilizado como proteção do solo ou como fonte de energia.

A prática da colheita mecanizada sem prévia queima do canavial implica diretamente no manejo de fertilizantes nitrogenados, porque a palhada é uma fonte de nitrogênio (N) à cultura. Dessa forma, é possível realizar o uso mais racional de fertilizantes, e manter um maior equilíbrio com o meio ambiente.

De todos os nutrientes minerais, o nitrogênio é, quantitativamente, o mais importante para o crescimento das plantas, uma vez que é insubstituível em suas funções. Ele está presente nos pigmentos, como clorofila, nas proteínas e nas enzimas que atuam como catalizadores da absorção de minerais do solo, da respiração, na fotossíntese e em muitos outros processos. O nitrogênio atua no estímulo do perfilhamento, refletindo no aumento da produção. A absorção do nitrogênio do solo é, principalmente, na forma de amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), e é regulada não somente pela disponibilidade química e espacial de nitrogênio no perfil do solo e a maior proximidade das raízes, mas também pela atividade na rizosfera e o transporte interno das raízes para o colmo, e utilização para crescimento e estoque de sacarose (Keulen & Wolf, 1986). A absorção de N é comandada pela demanda de N para o crescimento e produção de biomassa pela planta, que é atendida pela capacidade do solo em supri-la, dependendo do N disponível. A maior parte do amônio tem de ser incorporado em compostos orgânicos nas raízes, enquanto o nitrato é móvel no xilema. O amônio pode ser também armazenado nos vacúolos das raízes e órgãos de acúmulo, enquanto o nitrato nos vacúolos que tem função de balanço iônico e de osmorregulador em determinados organismos (Zillo, 1993).

Embora, possam absorver tanto  $\text{NH}_4^+$  como  $\text{NO}_3^-$ , devido à intensidade do processo de nitrificação no solo, a segunda forma - nítrica ou nitrato - é a

utilizada predominantemente pelas plantas superiores. Como nos compostos orgânicos o N se acha em formas reduzidas o  $\text{NO}_3^-$  deve ser, antes da sua incorporação em aminoácidos e proteínas, transformado em  $\text{NH}_4^+$ ; a redução se dá através de uma série de transportadores intermediários de elétrons que são nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) hiponitrito ( $\text{HNO}_2$ ) e hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ); o oxigênio é o aceitador final: as enzimas responsáveis são flavoproteínas que requerem metais pesados para a sua atividade (Mo, Fe, Cu e Mn) (Malavolta, 1967). Os resultados de nitrogênio obtidos por Sampaio et al. (1984) indicaram que o solo contribuiu com grande quantidade do nitrogênio absorvido pelas plantas, o que pode estar relacionado ao aumento da fertilidade do solo (Urquiaga et al., 1991), proveniente da mineralização da matéria orgânica.

Segundo Malavolta (1967), após sua redução, o N amoniacal é incorporado a esqueletos carbônicos (alfa-cetoácidos, por exemplo) produzindo aminoácidos; estes graças a reações de transmissão, convertem-se uns nos outros de modo que podem resultar novos aminoácidos. A síntese de proteínas se dá graças à união de aminoácidos formando longas cadeias que mostram a característica ligação de peptídeo ( $\text{NH-CO}$ ) entre o grupo carboxilo de um e o grupo amino de outro. As proteínas vegetais acham-se, como as aminas, em um estado de equilíbrio dinâmico, desdobrando-se e sendo sintetizadas novamente à custa de material contido no reservatório metabólico do nitrogênio.

As proteínas que constituem o material nitrogenado por excelência, são importantes pelo seu papel plástico, formativo dos tecidos, pelas suas funções de reserva, como também pelas funções enzimáticas que muitas proteínas desempenham (Malavolta, 1967; Orlando Filho, 1983).

Na adubação nitrogenada foi concluído que o nitrogênio fornecido à cultura, sofre numerosas transformações envolvendo vários caminhos e estados (Lovenstain & Leffelaar, 1993), e que todos os processos sofrem influência do clima. O nitrogênio que não é recuperado pela cultura, acaba se perdendo no sistema solo - planta por erosão, lixiviação, desnitrificação ou volatilização. Essa fração perdida pode contribuir como fonte de poluição, sendo necessário o correto manejo da adubação atentando principalmente ao fato do tempo de exposição do nutriente. Já toda a parcela de nitrogênio absorvido contribui de maneira direta na produção de biomassa da planta.

O acúmulo do nitrogênio pela cana-de-açúcar varia de acordo com os seguintes fatores: idade da cultura; disponibilidade do N na solução de solo e fatores edafoclimáticos (Zambelo Junior & Azeredo, 1983; Gasho et al., 1986; Lima et al., 1987; Wood, 1991).

A fim de obter maior eficiência na adubação nitrogenada, é recomendado o parcelamento e época de adubação adequada, diminuindo as perdas e

aumentando a absorção (Zillo, 1993).

Outro elemento muito requisitado pela cana-de-açúcar é o potássio, um dos macronutrientes exigidos pelas culturas em grande proporção, sendo a necessidade deste elemento muito maior que a do fósforo, e podendo ser comparada com a ordem de grandeza exigidas do nitrogênio, quando se considera as quantidades dos três elementos contidos na planta (Malavolta, 1979; Orlando Filho, 1983).

Esse macronutriente é absorvido pelas plantas na forma de  $K^+$ , e usualmente o catiônio mais abundante nas células vegetais. Transportado no xilema pela seiva ascendente, difunde-se diretamente daquele para o floema, de modo que a sua concentração é aproximadamente a mesma nos dois sistemas de vasos. O potássio é altamente móvel na planta. A sua redistribuição interna ocorre fácil e mais ou menos continuamente durante todo o ciclo vital. Os tecidos em crescimento mais acentuado, aparentemente têm a maior capacidade para a acumulação de potássio, em contraste com as células menos ativas fisiologicamente. Cerca de 70% do potássio presente nas plantas superiores acha-se no suco celular, em forma iônica, enquanto os 30% restantes estão adsorvidos nas proteínas do protoplasma; daí a possibilidade de ser o elemento em questão eliminado em parte através das raízes, como também pelas folhas sob a forma de excreção cuticular; a água da chuva ou de irrigação é, por sua vez, capaz de lavar até a metade do potássio solúvel existente na parte aérea; a fração unida às proteínas se liberta apenas depois que as folhas envelhecem e começam a cair (Malavolta, 1967).

Os vegetais absorvem tanto o potássio solúvel como aquele que ficou adsorvido às partículas coloidais em forma permutável. O segundo processo é a chamada troca por contato; as esferas de oscilação do  $K^+$  adsorvido e do  $H^+$  dos pêlos absorventes se confundem e então o hidrogênio vai para a solução do solo enquanto o potássio é aproveitado pelas raízes. Em relação à demanda do nitrogênio e do fósforo aplicados, a quantidade que chega a ser absorvida pelas plantas é em geral pequena, devida às perdas de natureza diversas (Zillo, 1993; Trivelin, 2000).

Malavolta (1967) considerou que mesmo sendo o potássio fixado na maioria das vezes, e que lentamente é aproveitado, por meio do processo de rehidratação e expansão dos minerais de argila, não há dúvida que as culturas podem sofrer deficiência desse elemento por causa da fixação, sempre que a libertação não se dê em tempo hábil.

As respostas do cultivo da cana com a realização da adubação potássica vem aumentando consideravelmente e o fertilizante mais comumente usado é o KCl. As recomendações da adubação potássica são comumente relacionadas com o teor desse elemento no solo (Zillo, 1993). Para se obter

os objetivos desejados na adubação potássica é adequado evitar perdas por lixiviação. Segundo Zillo (1993) e Silva et al. (2005), o potássio pode ser considerado perdido se atingir em torno de 90 a 100 cm de profundidade faz-se necessário que o nutriente esteja ao alcance das raízes e sua concentração no solo não seja demasiadamente alta (Malavolta & Usherwood, 1978).

Dentro de um processo produtivo na agricultura é fundamental a utilização de práticas adequadas de manejo de solo, destacando a conservação do mesmo. Uma consequência do não manejo do solo para sua utilização é a erosão que degrada o solo afetando as propriedades contribuintes para o desenvolvimento das culturas, podendo ocasionar o assoreamento de rios, mananciais e reservatórios de água pelo arrastamento de partículas de solo, ou ainda resíduos de defensivos agrícolas entre outros poluentes (Orlando Filho, 1983). A erosão do solo pode também ser responsável pela perda progressiva da fertilidade do mesmo, podendo a ter como consequência até a esterilidade total, ou mesmo a desertificação da área no caso de não se tomar cuidados adequados.

O cultivo da cana-de-açúcar, ano após ano na mesma área, pode causar a impressão de que a produtividade declina com o tempo. Porém, o contrário está se mostrando ser uma realidade: após décadas de colheitas, a produtividade de cana-de-açúcar brasileira tem aumentado de forma contínua. Grande parte deste aumento na produtividade pode ser atribuída ao melhor preparo do solo, ao desenvolvimento de variedades superiores de cana e reciclagem de nutrientes (Orlando Filho, 1983; Silva et al., 2005).

O manejo da palhada da cana-de-açúcar que é depositada no solo no sistema de colheita protege o solo do impacto da chuva reduzindo assim as perdas do solo por erosão e a temperatura da superfície do solo, conservando sua umidade (Bergamasco, 2003).

## **Material e Métodos**

O experimento foi instalado, sob responsabilidade da Embrapa Informática Agropecuária (Campinas, SP), em convênio com o Instituto Internacional de Potássio, na Usina Costa Pinto, no município de Piracicaba, SP, com 16 tratamentos em 3 repetições em agrossistema canavieiro sem queima. Os tratamentos são oriundos da combinação fatorial NK da aplicação em soqueira nas doses de: 0, 50, 100 e 150 kg/ha de nitrogênio (nitrato de amônio) e 0, 50, 100 e 150 kg/ha de potássio (cloreto de potássio). O primeiro ensaio foi implantado em solo Latossolo vermelho amarelo (LVA), em novembro/dezembro de 2001 e colhido em novembro de 2002 com a colaboração do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

A amostragem deste experimento foi realizada em cada parcela de 5 linhas centrais de 12 m, sendo coletadas 15 plantas por metro linear em dois pontos, a cada 2 meses. Esse material foi pesado por parcelas, separadas, enviado ao laboratório, seco em estufa, moído e armazenado para as análises químicas.

Nas amostras das plantas os elementos analisados foram os teores totais de potássio e nitrogênio. A solubilização do potássio foi efetuada pela digestão nitro-perclórica. O material, pesado e seco, foi colocado em tubos e foram adicionados os ácidos, deixando-se por 24 horas sob temperatura ambiente. Os tubos foram colocados em um bloco digestor e a temperatura foi elevada gradativamente até 160°C. Após a redução do volume pela metade a temperatura foi elevada até 210°C, em tempo suficiente para formar fumos brancos. O extrato foi resfriado, transferindo-o para um balão volumétrico, completando com água deionizada. A curva padrão foi estabelecida a partir de soluções estoque, diluindo-se o extrato (quando necessário) até que a solução de potássio atingisse um valor dentro da faixa de leitura da curva padrão. A leitura do extrato foi realizada no espectrofotômetro de chama.

A análise do nitrogênio foi procedida mediante uma digestão via o Método Nitrogênio Total - Kjeldahl. A amostra foi pesada, colocada em tubos de digestão, acrescidos de solução digestora para nitrogênio, deixando repousa-lo por 24 horas. Os tubos foram encaminhados ao bloco digestor, onde foram submetidos à temperatura de até 340°C (mais ou menos por 6 horas). Resfriados os tubos, foram completados com aproximadamente 20mL de água deionizada. Esta alíquota foi transferida para o balão de destilação. A destilação foi realizada pela técnica de arraste de vapores (método de Kjeldahl) e a determinação do nitrogênio ocorreu com a titulação da amostra condensada com uma solução de  $H_2SO_4$  0,05 N.

Para análise da exportação de nutrientes, observou-se o aumento em biomassa seca sendo as amostras colhidas e analisadas quanto aos teores de nitrogênio e potássio na planta. Os dados foram interpretados, permitindo vislumbrar a absorção dos nutrientes pela planta e a produtividade de acordo com as várias combinações de adubos a base de nitrogênio e potássio.

O modelo no Software STELLA, foi baseado em resultados experimentais de vários autores (Orlando Filho, 1983; Trivelin et al., 1995a, 1995b, 1996; Oliveira et al., 1999; Ripoli, 1991) para a construção do balanço de N. Os dados foram introduzidos no Modelo de Balanço de Nitrogênio para a Cana-de-açúcar no software de simulação denominado Stella, que permitiu conhecer e entender as perdas do nitrogênio no sistema solo-planta ao longo do ciclo, via lixiviação, volatilização, desnitrificação e fontes potencialmente poluidoras.

O modelo empregado no software STELLA dispõe de compartimentos, onde são inseridos os valores obtidos no campo. No compartimento palhada remanescente, a produção de palha do canavial sob colheita mecanizada inclui as folhas, bainhas e o ponteiro, além de quantidade variável de pedaços de colmos. A palhada, contém em torno de 60 a 80 kg/ha de nitrogênio para a cana-planta, que pode vir ser disponibilizados à cultura por ação dos microrganismos do solo, como descrito no Modelo de Balanço de Nitrogênio para a Cana-de-Açúcar Fase II. Este modelo utiliza a cana-soca e apresenta uma variação de 30 a 50 kg/ha de nitrogênio na palhada. O valor utilizado para o parâmetro Matéria Orgânica (MO) do solo foi proveniente de experimentos realizados por Trivelin (2000), que é 20.000 kg/ha, e a taxa de nitrogênio presente na Matéria Orgânica (MO), de 5%.

Com entrada do N no solo, inicialmente poderá haver uma rápida decomposição da matéria orgânica que decrescerá com o tempo, caso as condições de umidade e aeração forem favoráveis e houver a presença de microrganismos. O tempo necessário para que se processe essa decomposição e conseqüente mineralização depende do teor original de nitrogênio da matéria orgânica, o qual determinará a relação carbono/nitrogênio da fitomassa, a relação ideal é 60 (C/N). Quando o conteúdo de nitrogênio for inferior a esse valor, o tempo de decomposição será maior; mas se esse material orgânico pobre em nitrogênio estiver incorporado ao solo, durante o processo de decomposição, os microrganismos irão retirar dele o nitrogênio na forma nítrica ou amoniacal, suprindo sua deficiência, com prejuízo temporário ou definitivo da cultura.

A entrada do nitrogênio no sistema solo-cana-de-açúcar foi calculado a partir dos parâmetros MO no solo e palhada remanescente pela colheita mecanizada da cana-planta. O programa inserido neste parâmetro no software STELLA, considerou uma única entrada de N pela palhada, no momento do corte da cana-planta, depois disso não ocorre mais entrada desses parâmetros, apenas a decomposição destes.

A presença de palhada na superfície do terreno dificulta a introdução do adubo no solo, e, como a uréia tem sido o fertilizante nitrogenado mais utilizado na adubação da cana-de-açúcar, grandes perdas de amônia por volatilização podem ocorrer se este fertilizante for aplicado sobre a palhada (Gava et al., 2001). Neste experimento foi empregado o nitrato de amônio. Para determinação das taxas de volatilização utilizadas no modelo matemático, foram realizadas análises de regressão a partir dos resultados nos dados dos experimentos de Trivelin (2000), devido a medição oferecida pelo uso de marcadores isotópicos. Os valores desse parâmetro foram definidos de acordo com regras, combinando-se uma fonte de nitrogênio, várias formas de aplicação do fertilizante, época do ano e fator precipitação.

A desnitrificação (DNTR) é um processo de perda de nitrato através de

organismos desnitrificadores, em condições anaeróbias, e requerem uma fonte de energia, geralmente derivada do carbono do solo. A equação para estimativa do valor desse parâmetro foi retirada do modelo CERES N do software DSSAT, e esta é dependente da solubilidade do carbono do solo, do fator água e do fator temperatura. O parâmetro N desnitrificado do modelo, se refere a toda a perda de nitrato por esse processo durante todo o ciclo da cana-de-açúcar.

A lixiviação (LIX) é realmente importante ser considerada em cana após dois ou três anos de cultivo, em solo arenoso e quando ocorrem muitas chuvas. Em cana crua, principalmente, a lixiviação é praticamente nula. Assim, foram consideradas taxas baixas para esse parâmetro, obtidas de acordo com experimentos realizados (Trivelin, 2000) e considerando-se o fator temperatura.

O parâmetro perda de nitrato (PERNIT), estima o acúmulo de todo o nitrato que foi perdido do sistema através do processo de lixiviação, levando o nitrogênio que estava na forma disponível para a cana, para camadas mais profundas, onde as raízes não conseguem absorvê-lo.

## Resultados e Discussão

A análise de crescimento da cana-de-açúcar permite acompanhar o aumento de matéria seca, assim como, o aumento de peso e de tamanho (Orlando Filho, 1983; Silva et al., 2005).

Pela análise de crescimento possibilita conhecer o comportamento de uma variedade em diferentes ambientes de produção e de manejo da cultura (Benincasa, 1988), investigar a adaptação de uma variedade a um sistema de produção sem queima ajustando-se aos distintos manejos de adubação em função dos recursos naturais. No caso particular, a análise de crescimento utilizou dados de acúmulo de matéria seca nos colmos.

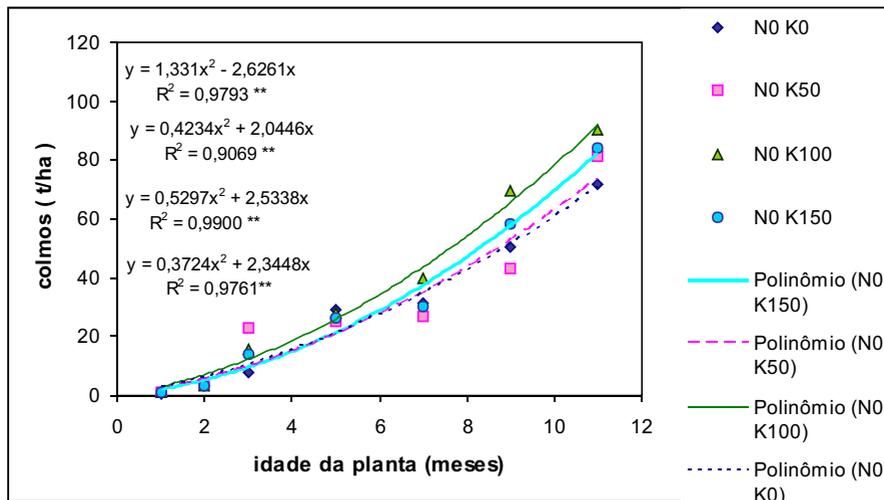
Nas Fig. estão demonstradas a influência da aplicação de fertilizantes potássicos ao longo do tempo ( $x$ ) nas curvas de crescimento da cana soca ( $y$ ), em quatro níveis de nitrogênio (Fig. 1 sem N; Fig. 2 - 50 kg N/ha; Fig. 3 - 100 kg N/ha; Fig. 4 - 150 kg N/ha) na produção de colmos.

Os resultados de crescimento do tratamento sem adubação (N0 K0), como se nota-se na Fig. 1, em relação a matéria seca dos colmos, podem ser divididos em três etapas: estabelecimento, formação da produção e maturação.

A interpretação do crescimento da cultura da cana soca, de acordo com

Doorembos & Kassan (1979), é definido em três estágios para a cana-de-açúcar:

- estabelecimento da cultura, seguido de um período vegetativo nos quatro meses iniciais;
- formação de produção, dos quatro aos nove meses;
- maturação, dos nove aos doze meses



**Fig. 1.** Curvas de crescimento da cana-de-açúcar no tempo em função de doses de potássio, sem adubação nitrogenada de referência.

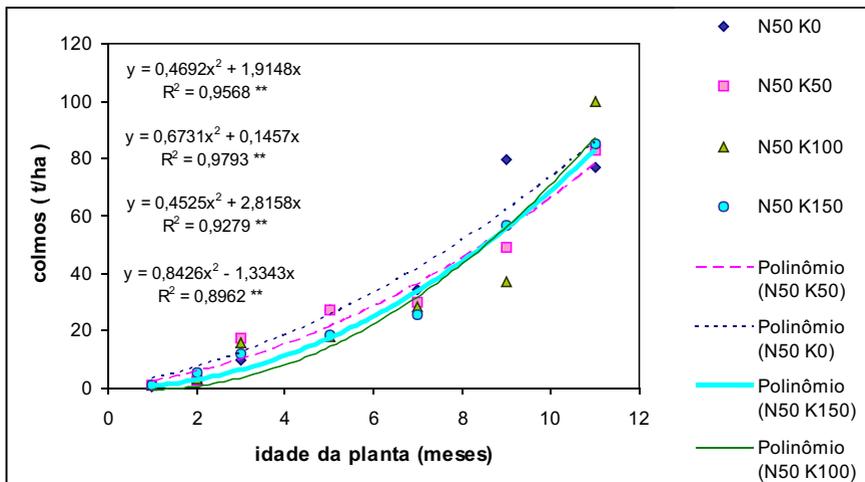
\*\* Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

O K é o nutriente - exportado em maior quantidade pela cana-de-açúcar, na ordem de 210 kg de  $K_2O$  para 100 t de colmos de cana-soca. Deste modo, como nota-se na Fig. 1, há influência de K no crescimento da cana-de-açúcar.

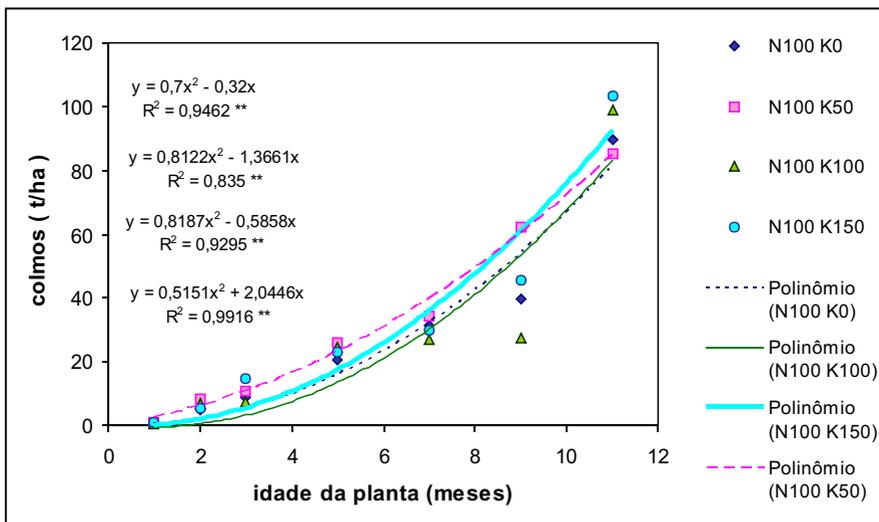
O K atua no metabolismo de crescimento da cana-de-açúcar ( Mengel & Kirkby, 2001), em especial na ativação, na síntese e na translocação de proteína, o que explica a forte interação entre os nutrientes (N-K).

Nota-se na ainda na Fig. 1, que a falta de N no solo está limitando a melhor resposta ao K a 100 kg K/ha.

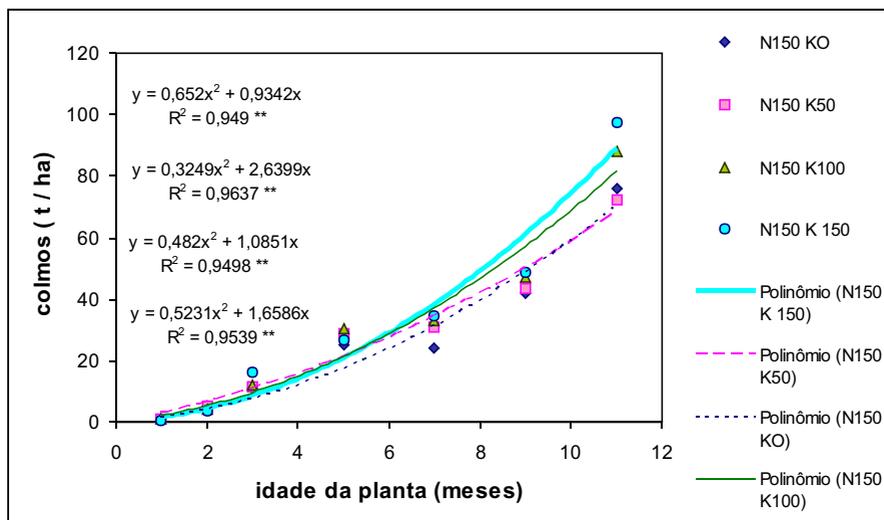
Todavia, há uma tendência maior de resposta ao K, nas Fig. 2 e 3, a partir de 9 meses, com nota-se nas doses de N de 50 e 100 kg N/ha. (Fig. 2 e 3), em relação a maior dose de N (Fig. 4).



**Fig. 2.** Curvas de crescimento da cana-de-açúcar no tempo em função de doses de potássio, com adubação fixa de 50 kg de nitrogênio por hectare. **\*\*** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.



**Fig. 3.** Curvas de crescimento da cana-de-açúcar no tempo em função de doses de potássio, com adubação fixa de 100 kg de nitrogênio por hectare. **\*\*** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.



**Fig. 4.** Curvas de crescimento da cana-de-açúcar no tempo em função de doses de potássio, com adubação fixa de 150 kg de nitrogênio por hectare. \*\*Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Uma pré-análise em biomassa na fase de crescimento vegetativo da cana-de-açúcar em função da aplicação de N e K, mostra resultados marcantes de efeito do K e da sua forte interação com o nitrogênio aplicado à cultura (Fig. 1, 2, 3 e 4). A melhor combinação para fins de crescimento vegetativo na faixa de aplicação de potássio de 50 à 100 kg K/ha associado à uma dose de nitrogênio de 100 (Fig. 3) a 150 (Fig. 4) kg N/ha. Embora, a melhor resposta ocorreu na dose de N 100 K 150, essa resposta ao fertilizante potássico aplicado à cana soca foi seguida por aumento de disponibilidade de potássio do solo (Tabela 2). Entretanto, o grau de produtividade não foi muito maior que a dose N 100 K 100. O melhor custo benefício seria aplicar N100K100, se aplicado sobre a linha de plantio ou enterrado em sulco lateral próximo. Todavia, se não for possível encontrar a linha de plantio, devido a mesma estar muito encoberta pela palhada, então a alternativa melhor seria aplicar a dose N100K150, em área total.

Na Tabela 2, encontra-se os modelos de regressão polinomial que foram significativos, na resposta de K trocável no solo (y), face à adição do K-fertilizante (x), em distintas profundidades e com adubação de N como variável.

**Tabela 2.** Influência da adubação potássica nos teores de potássio trocável no solo, medido por regressão polinomial, em relação a referência de N e profundidade.

Tratamento		Modelo matemático	Valores observados	R <sup>2</sup>
Taxa de N (fixa)	Profundidade	$y = a + b \cdot X - c \cdot x^2$	Mg/kg	
N = 0	0 - 5 cm	$y = 123,2 + 0,374x$	131,134,153,187	0,8792**
N = 0	10 - 20 cm	$y = 91,7 - 0,486x + 0,005x^2$	88,91,82,135	0,8453**
N = 0	80 - 100 cm	$y = 42,55 - 0,319x + 0,0043x^2$	41,42,49,93	0,9739**
N = 50	5 - 10 cm	$y = 114,34 - 0,7916x + 0,007x^2$	118,80,118,150	0,8656**
N = 50	10 - 20 cm	$y = 85,68 - 0,363x + 0,0033x^2$	86,74,84,104	0,9801**
N = 50	20 - 40 cm	$y = 57,58 + 0,4059x - 0,0019x^2$	56,79,74,78	0,7959**
N = 50	60 - 80 cm	$y = 56,03 - 0,603x + 0,0051x^2$	59,28,57,77	0,8056**
N = 50	80 - 100 cm	$y = 61,98 - 0,1415x + 0,0015x^2$	62, 58, 63, 73	0,9844**
N = 100	0 - 5 cm	$y = 185,08 - 1,3886x + 0,0112x^2$	182, 153, 149, 232	0,9571**
N = 100	10 - 20 cm	$y = 83,51 + 0,1137x - 0,0025x^2$	88, 70, 82, 39	0,7437**
N = 100	20 - 40 cm	$y = 43,68 + 0,4111x - 0,0024x^2$	43, 59, 60, 51	0,9925**
N = 100	40 - 60 cm	$y = 57,35 - 0,4039x + 0,0023x^2$	57, 45, 38, 49	0,9465**
N = 100	60 - 80 cm	$y = 54,41 - 0,6947x + 0,005x^2$	52, 40, 27, 65	0,8412**
N = 100	80 - 100 cm	$y = 56,66 - 0,3492x + 0,0028x^2$	56, 49, 47, 68	0,9311**
N = 150	20 - 40 cm	$y = 67,92 - 0,4999x + 0,0043x^2$	71, 59, 60, 51	0,7872**
N = 150	40 - 60 cm	$y = 58,40 - 0,1711x + 0,0013x^2$	59, 51, 57, 62	0,8368**
N = 150	80 - 100 cm	$y = 70,77 - 0,389x + 0,0020x^2$	71, 55, 53, 56	0,9771**

Nos solos pobres em K, a cana-de-açúcar responde de forma muito expressiva à aplicação de adubo potássico. Para a interpretação dos valores de K - trocável nas amostras de solo, utilizou-se a classificação em classes de fertilidade para cana-de-açúcar (Orlando Filho, 1983) que seria: (<40 mg/kg k) muito baixo; (40 à 80 mg/kg k) baixo; (81 à 130 mg/kg k) médio; (131 à 260 mg/kg k) alto e (> 260 mg/kg k) muito alto.

Silva et. al. (2005) não recomendam aplicar K (K<sub>2</sub>O) nos solos que apresentam teores deste nutriente superior a 150 mg/kg. A cana-de-açúcar extraí o K do solo até a profundidade de meio metro, que corresponderia as amostras das camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm. Os teores de K trocável, inicialmente, no solo, em média, nas camadas foram de 0 à 5 cm - alto (131 à 182 mg/kg k); 5 à 10 - cm médio (100 à 124 mg/kg k); 10 à 20 cm - baixo (79 à 88 mg/kg k); 20 à 40 cm - baixo (43 à 71 mg/kg k); 40 à 60 - cm baixo (49 à 80 mg/kg k); 60 à 80 - cm muito baixo (34 à 59 mg/kg k); 80 à 100 cm - baixo (41 à 71 mg/kg k).

Predomina na camada de 0-40 cm de profundidade, teor baixo de K, o que explica a resposta ao fertilizante potássico, que ocorreu no ensaio.

Alcançar alta produtividade utilizando-se da quantidade estritamente necessária de adubos a base de nitrogênio e potássio é a intenção da pesquisa. Isso foi possível estabelecer após testes de diversas combinações de N e K, e posterior verificação da produtividade no ensaio. A busca pela combinação mais racional ocorre no sentido de conciliar interesses, na contínua procura de altas produtividades, além da necessidade de se utilizar técnicas que não degradem o meio ambiente. Dessa forma, a pesquisa buscou esse sinergismo.

A influência da adubação NK na fase de estabelecimento da cultura é observada aos três meses, sendo verificado que o potássio na dose de 50 kg de N/ha atende à necessidade para o nutriente. Entretanto, é necessário suprir a necessidade da cultura para o N, o que se nota na análise foliar.

O nitrogênio constitui cerca de 1% do total de matéria seca da cana-planta madura, estando presente sob diferentes formas como compostos aminados ou participando na síntese de proteínas, sendo portanto de extrema importância. Comparando-se as quantidades de N/ha utilizadas sugere-se o uso de 60 a 90 kg de N/ha (Figuerola, 1986), as quais são condicionadas pelo local e pela quantidade de fertilizante potássico adicionado à soqueira.

Existem outros importantes aspectos além da adubação (no caso, do K fixando o N) que exercem influência do crescimento da parte aérea da planta.

A temperatura do ar tem papel fundamental na maturação da cana-de-açúcar, responsável pelo atraso no ritmo de crescimento para o acúmulo de mais açúcar (Scarpari, 2002). O processo de maturação fisiológica depende da redução sazonal da temperatura do ar diminuindo significativamente o processo a taxa de desenvolvimento vegetativa, sem afetar o processo fotossintético, de maneira a promover um saldo positivo de produtos fotossintetizados, transformados em carboidratos para armazenamento nos tecidos da planta (Alexander, 1973).

Além da temperatura do ar, a umidade do solo também poderá atuar na maturação. Humbert (1968) observou que para ocorrer o processo de maturação fisiológica e acúmulo de açúcar em locais onde não há redução sazonal da temperatura do ar, a cultura deve ser submetida a uma seca moderada.

A cana-de-açúcar, por ser uma planta  $C_4$  é altamente eficiente fotossinteticamente. Segundo Camargo (1968), a cana cultivada a pleno sol apresenta colmos mais grossos, mais curtos as folhas mais largas e verdes, e o perfilhamento mais intenso. Com o aumento da temperatura acima de 20°C ocorre um aumento no comprimento, diâmetro e número de

internódios, sendo ideal para o bom desenvolvimento, faixa de 20 à 35°C (Casagrande, 1991).

Na fase de estabelecimento (aos três meses), ao se verificar os valores encontrados nos tratamentos de N e K de 100 kg/ha notaram-se níveis superiores de suficiência para ambos os macronutrientes, que está descrito em Malavolta (1982), cujos valores limites são de 20 a 22 g N/kg e de 13 a 15 g K/kg, como se verifica nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3.** Absorção de nitrogênio no período de estabelecimento (3 meses), observados em campo.

		N g/kg			
		K – kg/ha			
		00	50	100	150
N-Kg/ha	00	18,8	19,3	20,4	18,4
	50	19,1	19,4	19,3	18,7
	100	22,2	<b>20,7</b>	21,8	19,4
	150	20,5	22,1	20,4	20,5

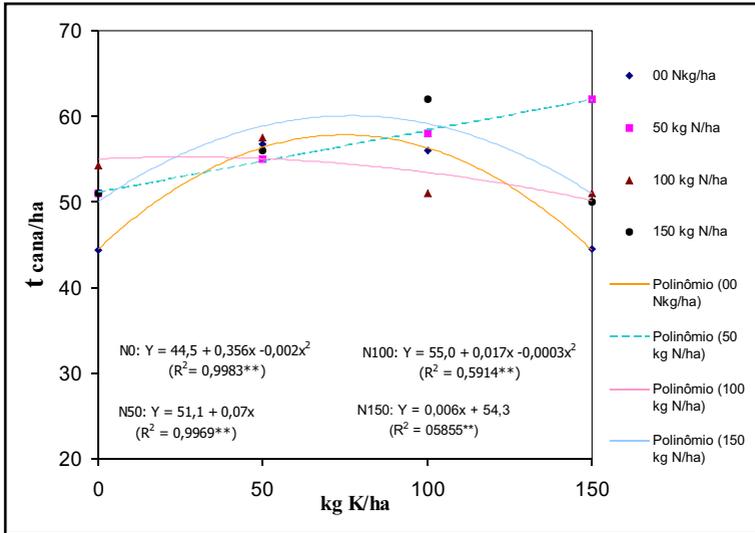
**Tabela.4** Absorção de potássio no período de estabelecimento (3 meses), observados em campo.

		K g/kg			
		K – kg/ha			
		0	50	100	150
N-Kg/ha	0	26,6	25,7	25	24,5
	50	22,3	27,1	25,4	25
	100	25,4	<b>27,3</b>	25,5	27,5
	150	26,5	25,4	23,4	22,4

A absorção pela cana-soca foi na ordem de 22 a 27,3 kg/ha de Potássio e de 18,4 a 22,2 kg/ha de Nitrogênio (Tabelas 3 e 4) que assemelha-se aos resultados de Orlando Filho (1983).

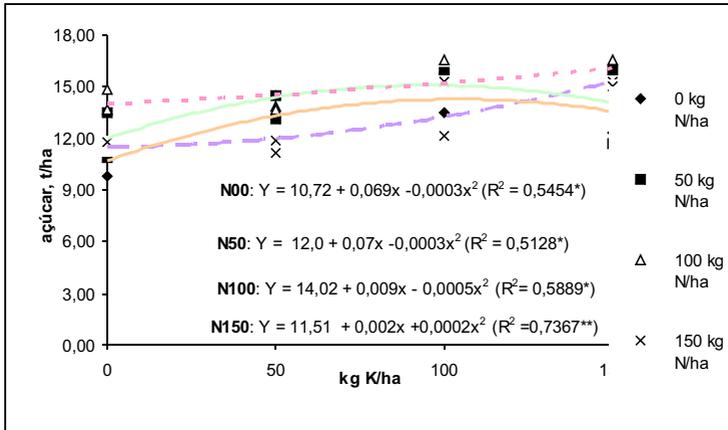
Na fase de produção, aos nove meses, observou-se um nivelamento na produtividade de 40 a 60 t/ha de colmos, sendo um pouco superior nos tratamentos com doses de N e K na ordem de 50 a 100 kg/ha (Fig. 1, 2, 3 e 4).

Os resultados observados na produtividade dos colmos, por tratamento, manteve a tendência notada na análise durante a fase de crescimento vegetativo. As diferenças identificadas entre as doses de K mostraram-se menores devido à forte seca ocorrida durante à maturação dos colmos (Fig. 5).



**Fig. 5.** Influência da aplicação de potássio com níveis de nitrogênio na produtividade de colmos

A acumulação de açúcar aparente (pol) por hectare foi positiva até a dose de K de 100 kg/ha com combinação de nitrogênio (Fig. 6).



**Fig. 6.** Influência da aplicação de potássio em diferentes níveis de nitrogênio na produção de açúcar por hectare.

Na prática, quando observa-se os valores máximos de potássio nas distintas doses de nitrogênio, verifica-se que na aplicação de 50 kg de N/ha tem-se à melhor resposta na dose de 100 kg de K para obter a máxima produtividade de biomassa, mas se considerar o açúcar por área já com 116 kg atinge o patamar. Em doses de N acima de 100 kg / ha necessidade de K reduz de 150 kg K/ha para 100 kg K/ha, como nota-se na (Tabela 5).

No cenário 1, nota-se na Tabela 5, que ocorreram diferenças significativas de N nas três doses simuladas (0, 50 e 100 kg/ha), sendo que a dose de 100 kg/ha, é a recomendada atualmente para a cultura de cana-de-açúcar. As perdas somam-se em 15,9 % do teor total de N no sistema; na dosagem de 50 kg/ha, em 5,2 %; e na dosagem 0 essas perdas não chegam a 0,5 %.

Quanto ao teor de N na cana para a dose de 100 kg/ha de N, chegou a 165,17 kg/ha pois, como pode ser observado na Tabela 5, existem outras fontes de entrada de N no sistema além do fertilizante. Para a dose de 50 kg/ha de N foi de 150,20 e para a dosagem zero, foi de 116,61 kg/ha.

**Tabela 5.** Cenário 1: aplicação de N, fonte nitrato de amônia, incorporada ao solo, entre os meses de novembro a fevereiro. Precipitação abaixo de 10 mm no período de aplicação do fertilizante.

Parâmetros	Quantidade de N aplicado ao solo		
	0 kg/ha de N	50 kg/há de N	100 kg/ha de N
	----- kg/ha-----		
Parâmetros de entrada de N			
1. Palhada	50,00	50,00	50,00
2. MO do solo	100,00	100,00	100,00
3. Fertilizante	0	50,00	100,00
4. Atmosfera	37,28	37,28	37,28
5. Reserva da cana	10,00	10,00	10
Total de entrada	197,28	247,28	297,28
Parâmetros perda de N			
1. N Desnitrificado	0,09	2,06	3,94
2. Perda de amônia	0	0	22,8
3. Perda de nitrato	0,48	10,76	20,64
Total perdido	0,57	12,82	47,38
Parâmetro N no solo			
1. Húmus	27,08	28,19	28,97
2. MO	43,67	46,17	47,1
3. Nitrato	0	0	0
4. N mineral	9,35	9,90	8,66
Total N no solo	80,10	84,26	84,13
Parâmetro N na planta			
1. N na cana-de-açúcar	116,61	150,2	165,17
Total de N no sistema	<b>197,28</b>	<b>247,28</b>	<b>297,28</b>

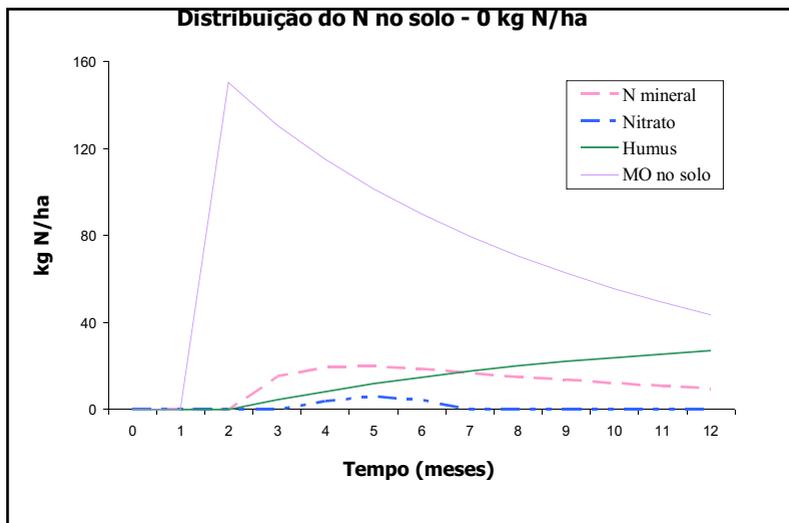
Através da análise da dinâmica comportamento do N no solo durante o ciclo da cana-de-açúcar, pode-se observar que existe influência da quantidade de fertilizante adicionado ao solo no teor de N como matéria orgânica (MO), pois se adicionando N ao sistema a atividade dos microrganismos é aumentada, além do fato do N adicionado na forma de fertilizante poder sofrer imobilização e passar a fazer parte da MO do solo. No final do ciclo da cana, ficará no solo como MO 15,8 % do N que entrou no sistema para a aplicação de 100 kg/ha de N e ficará 22% do N quando não há aplicação de fertilizante. Isso indica que a adição de N no sistema ativa a mineralização da MO. Assim, palhas e outros vegetais celulósicos se não forem suplementados com nutrientes essenciais, devem ser considerados mais uma fonte de húmus do que material fertilizante fornecedor de nutrientes para as plantas (Silva et al., 2005).

Pode ser também observado nos resultados (Tabela 5), os diferentes comportamentos do N mineral, do nitrato e do húmus nas diferentes dosagens de N simuladas. A formação de húmus é praticamente igual nos três casos. O teor de N mineral na dose zero permanece praticamente constante do terceiro mês até o final do ciclo, sem atingir um pico.

É observado que o excesso de fertilizante que permanece no solo pode ser perdido através de processos de desnitrificação, volatilização, e lixiviação, de modo que o efeito residual no ciclo seguinte da cultura é praticamente insignificante.

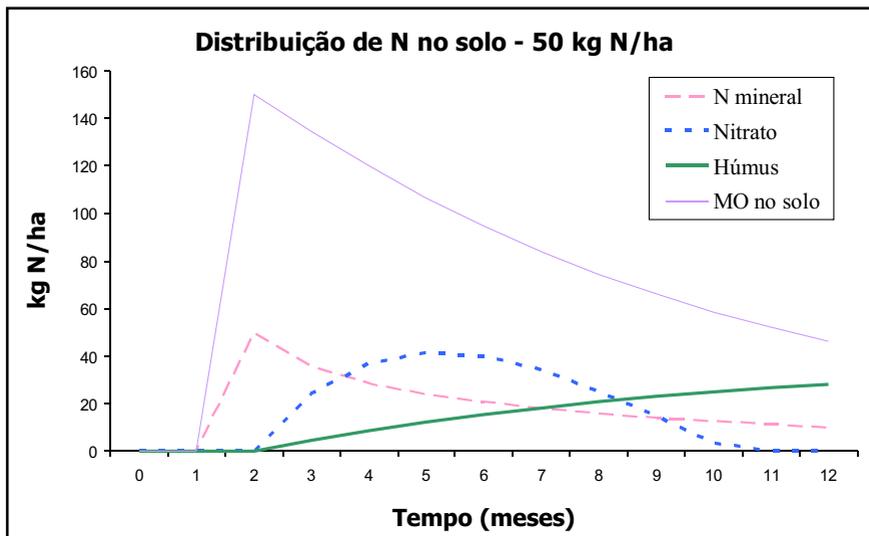
A participação do potássio como ativador enzimático e principal cátion, responsável pelo balanço de íons dentro das células, é apontada por vários autores, podendo-se afirmar que de maneira semelhante ao nitrogênio, o potássio é requerido em grande quantidade pela cultura. Nota-se a necessidade da fertilização potássica aplicada em profundidade, junto à zona radicular, a fim de transportar o íon para a área de alcance do sistema radicular.

Na Fig. 7 é apresentado o comportamento do nitrogênio em quatro formas no solo N mineral, nitrato, húmus e matéria orgânica, que mudam no tempo, durante o ciclo da cana soca, para a mesma situação do cenário 1 (Tabela 5), sem aplicação de fertilizante nitrogenado na cana-de-açúcar.

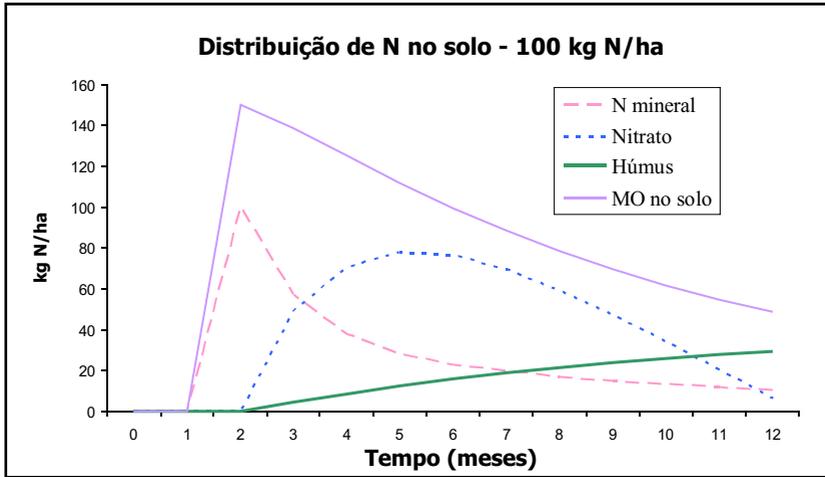


**Fig. 7.** Distribuição e comportamento do N no solo durante o ciclo da cana soca, sem aplicação de fertilizante nitrogenado.

Na Fig. 8 apresenta-se o comportamento do nitrogênio em quatro formas no solo (N mineral, nitrato, húmus e matéria orgânica no solo), durante ciclo da cana soca, para a mesma situação do cenário 1 (Tabela 5), aplicação de 50 kg N/ha utilizando nitrato de amônia, e na Fig. 9, aplicação de 100Kg N/ha.



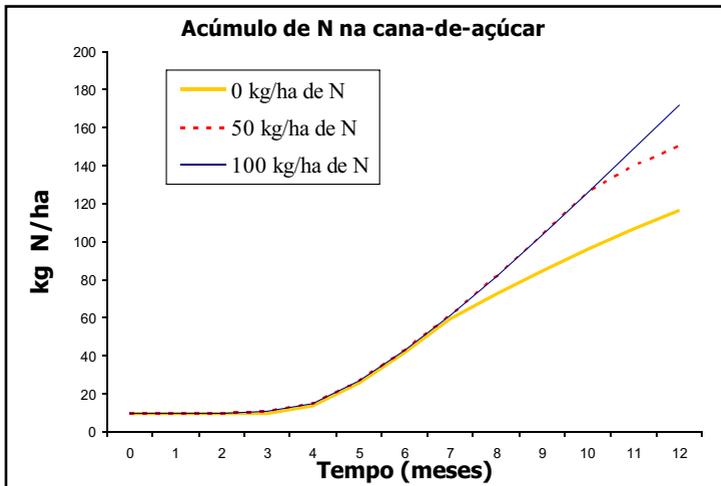
**Fig. 8.** Distribuição e comportamento do N no solo durante o ciclo da cana soca com aplicação de 50 kg /ha de N, fonte nitrato de amônia.



**Fig. 9.** Distribuição e comportamento do N no solo durante o ciclo da cana soca, com a aplicação de 100 kg/ha de N, fonte nitrato de amônia.

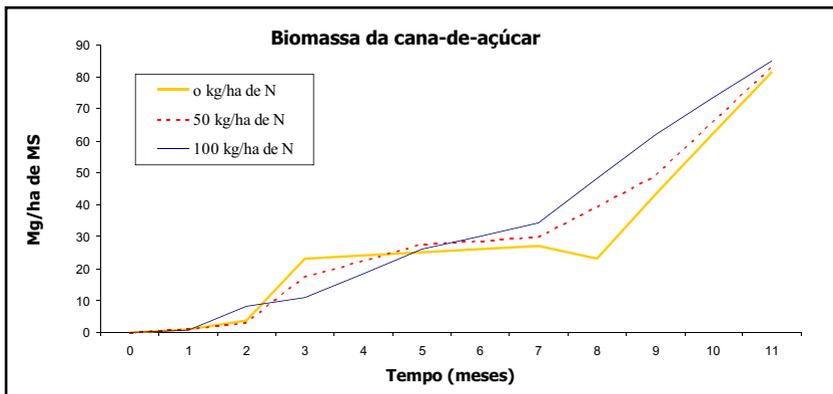
Verifica-se que há aumento do N - mineral com a dosagem de N - fertilizante no solo, que gradativamente transforma-se em nitrato, no solo. Quanto maior for a dose de N - fertilizante, maior será a quantidade de nitrato apto a lixiviar no perfil.

Na Fig. 10, pode ser visualizado o acúmulo de nitrogênio durante o ciclo da cana soca, para a mesma situação do cenário 1 (Tabela 5), em três doses diferentes de nitrogênio (0, 50 e 100 kg/ha), fonte nitrato de amônia.



**Fig. 10.** Acúmulo de N na cana soca em três doses diferentes de N(0, 50 e 100kg/ha), fonte nitrato de amônia.

A cana-de-açúcar que recebe maiores doses de NK em sistemas de produção sem queima, mostra um aumento de biomassa de colmos (Fig. 11), folhas e pontas que são parcialmente carregadas para a indústria.



**Fig. 11.** Crescimento da cana soca na parte aérea, em t/ha de matéria seca, para três doses diferentes de N (0, 50 e 100 kg/ha), fonte nitrato de amônia.

Esse aumento de biomassa de cana é acompanhada pela mesma concentração de N no tecido, refletindo em maior exportação de nitrogênio por hectare (Fig. 10).

Essa matéria-prima enriquecida em NK no seu caldo, tem conseqüências na industrialização de açúcar e álcool, que Silva (1989) destaca como principais efeitos no processamento:

- as substâncias nitrogenadas e as gomas presentes no caldo, em especial nas pontas dos colmos e no início da safra, aumentam a viscosidade das massas cozidas, dificultando a cristalização da sacarose; tais substâncias nitrogenadas favorecem as reações de escurecimento, o que provoca o amarelamento do açúcar, reduzindo o seu preço no mercado de exportação;
- o potássio é o principal componente das cinzas do caldo, que é um fator que reduz a solubilidade da sacarose na massa cozida, reduzindo as perdas por formação de melaço.

Quanto a questão da fabricação do álcool aparentemente não há transtornos industriais pela maior presença de nitrogênio e potássio no caldo, resultando na ativação de enzimas e na incorporação em proteínas pelas leveduras, respectivamente, o que reflete na maior produtividade industrial.

## **Conclusões**

A estratégia de reposição do nitrogênio retirado no agrossistema, pela exportação nos colmos, na colheita foi adequada para a fertilização nitrogenada na soqueira, mas a fonte de N não deve ser a uréia, ou se for, teria que incorpora-la ao solo.

O potencial de perdas de nitrogênio no sistema de colheita sem queima em soqueiras, está ao redor de 50 kg de N por hectare, com a acumulação de 140 kg de N na parte aérea, que requer uma reposição de 100 kg de N na forma N - fertilizante.

A quantidade recomendada de fertilizante nitrogenado, na cana crua, foi inversamente proporcional a fertilização potássica cujo valor variou de 50 a 100 kg de N por hectare.

A aplicação de 100 kg de N e 100 kg de K por hectare sobre a palhada disposta no solo, mostrou-se a mais equilibrada do ponto de vista agrônomico e ambiental.

A fertilização potássica deve ocorrer na ordem de 100 kg de K por hectare, que possibilita corrigir a fertilidade do solo e atender a necessidade nutricional da cana, sem acarretar em problemas ambientais.

## Referências Bibliográficas

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

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42 p.

BERGAMASCO, F. A. **Sistema de apoio à decisão para manejo de fertilizantes nitrogenados em cana de açúcar colhida sem queima**. 2003. 138 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAMARGO, P. N. **Fisiologia da cana de açúcar**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1968. 38 p.

CAMPOS, D. N. **Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o seqüestro de carbono**. 2003. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

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

DOOREMBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 212 p.

FIGUEROA, L.R. La fertilización de la caña de azúcar con urea y sus efectos sobre los niveles de amonio, nitrato y nitrogeno facilmente mineralizables en el suelo. **Revista Industrial y Agrícola de Tucuman**, v.62, n. 1-2, p. 3-8, 1986.

FURLANI NETO, V.L. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n. 13, p. 8-9, 1994.

GASCHO, G. J.; ANDERSON, D. L.; OZAKI, H. Y. Cultivar dependent sugar cane responso to nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 78, n. 6, p. 1064-1069, 1986.

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, DF, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

HUMBERT, R. P. Planting of sugar cane. In: HUMBERT, R. P. **The growing of sugar cane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. p. 103-130.

KEULEN, H. van; WOLF, J. (Ed.). **Modelling of agricultural production: weather, soils and crops**. Wageningen: Pudoc, 1986. 479 p.

LIMA, E.; BODDEY, R. M.; DOBEREINER, J. Quantification of biological nitrogen fixation associated with sugarcane using a  $^{15}\text{N}$ - aided nitrogen balance. **Soil Biol. Biochem.**, v. 19, p. 165-170, 1987.

LOVENSTAIN, H.; LEFFELLAR, P. (Ed.). **Principals of production ecology**. Wageningen: University of Wageningen, 1993. 115 p. (Course Book F300-001).

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. 4. ed. rev. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 255 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1967. 606 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Ed. Ultrafertil - Departamento de Serviços Técnicos Agronômicos, 1982. 80 p.

MALAVOLTA, E.; USHERWOOD, N. R. **Adubos e adubação potássica**. Piracicaba: Ed. Franciscana, 1978. 56 p. (Boletim Técnico, 3).

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 5. ed. Pordredit: Kleiwer Academic, 2001. 849 p.

OLIVEIRA, M. W. **Dinâmica do nitrogênio da uréia ( $^{15}\text{N}$ ) no sistema solo - cana-de-açúcar com ou sem queima da palhada**. 1999. 93 p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999. 93 p.

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

ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: Instituto do Açúcar e do Alcool, Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar - PLANALSUCAR, 1983. 369 p.

RIPOLI, T. C. C. **Utilização do material remanescente da colheita da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) - equacionamento dos balanços energético e econômico.** 1991. 150 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SAMPAIO, E. V. B. S.; SALCEDO, I. N.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (15N) em aplicação única ou parcelada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 943-949, 1984.

SCARPARI, M. S. **Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através de parâmetros climáticos.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SILVA, F. C. Planejamento de integração agroindustrial: açúcar e álcool. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 1989, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Abepro; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989. 255 p.

SILVA, F. C. da; BERGAMASCO, A. F.; MONTALI, E. F.; RODRIGUES, L. H.; FARIAS, J. R. B. Avaliação da adubação nitrogenada e potássica em cana-de-açúcar baseada em modelos. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA, 2., 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS, 2005. p. 763-822.

STEVENSON, F. J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils.** Madison: American Society of Agronomy, 1982. 940 p. (Agronomy, 22).

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

TRIVELIN, P. C. O.; CARNEIRO, A. E. V.; VICTORIA, R. L. Utilização da reserva orgânica e de nitrogênio do tolete de plantio (colmo semente) no desenvolvimento da cana-planta. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 199-209, 1995a.

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, DF, 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, DF, v. 30, n. 12, p. 1375-1385, 1995b.

ÚNICA. Portal Única [referência - estatística - produção Brasil]. Disponível em:  
<<http://www.portalunica.com.br/portalunica/?Secao=referencia&SubSecao=estatisticas>>. Acesso em junho de 2005.

URQUIAGA, S.; BODEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C.; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. **A importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar**. Seropédica: Embrapa-CNPBS, 1991. 6 p. (Embrapa-CNPBS. Comunicado Técnico, 5).

WOOD, R. A. Sugarcane nutrition and fertilizer use. **South Africa Int. Soc. Sugarcane Technol Proc.**, v. 20, n. 2; p. 495-504, 1989.

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

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. 287-313.

ZILLO, F. J. **Modo de aplicação e doses de nitrogênio e potássio na produção de cana-de-açúcar**. 1993. 88 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.



---

*Informática Agropecuária*

**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

