**DINÂMICA DO NITROGÊNIO DOS FERTILIZANTES: URÉIA (^{15}N) E
AQUAMÔNIA (^{15}N) INCORPORADOS AO SOLO NA CULTURA DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

PLINIO BARBOSA DE CAMARGO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia, Área de Concentração:
Energia Nuclear na Agricultura.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro - 1989

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Camargo, Plínio Barbosa de
C172d Dinâmica de nitrogênio dos fertilizantes: uréia
(¹⁵N) e aquamônia(¹⁵N) incorporados ao solo na cul-
tura de cana-de-açúcar. Piracicaba, 1989.
104p. ilustr.

Diss.(Mestre) - CENA
Bibliografia.

1. Adubação nitrogenada 2. Cana-de-açúcar - Adu-
bação nitrogenada 3. Nitrogênio em solo - Isótopo
estável I. Centro de Energia Nuclear na Agricultu-
ra, Piracicaba

CDD 631.416

**DINÂMICA DO NITROGÊNIO DOS FERTILIZANTES: URÉIA (^{15}N) E
AQUAMÔNIA (^{15}N) INCORPORADOS AO SOLO NA CULTURA DE
CANA-DE-AÇÚCAR.**

PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO

Aprovado em: 20/03/1990

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Paulo Cesar Ocheuze Trivelin

CENA/USP

Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

ESALQ/USP

Prof. Dr. Antônio Enedi Boaretto

CENA/USP

Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

/Orientador

AGRADECIMENTOS

- ao amigo e orientador Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, pela orientação e direção deste trabalho.
- a todos os amigos da Seção de Hidrologia e Isótopos Estáveis: Reynaldo Luiz Victória, Marcelo Zacharias Moreira, Eiichi Matsui, Jefferson Mortatti, José Aurélio Bonassi, José Albertino Bendasolli, Miguel Luiz Baldessin, Maria Isabel Beira Moda, Maria Antonia Zambetta Perez, Geraldo de Arruda Junior, João Jurandir Izaque, Marisa de Cassia Picollo, Valdo Lara Cabezas, Bento Moçambique de Moraes Neto, Francisco Carneiro Junior, Ana Elisa Vives Carneiro pelo convívio maravilhoso sempre proporcionado.
- aos queridos irmãos e amigos Luiz Antônio Martinelli e Neusa Maria Augusti, pelo constante incentivo e amizade sempre regado a belos jantares.
- às instituições COPERSUCAR, CENA, FAPESP, CNEN pelo apoio logístico e financeiro.
- à MARIBEL pela oportunidade maravilhosa de tê-la sempre ao meu lado.
- e a todos aqueles que sempre me inspiraram confiança e determinação para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iv
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	xi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta.....	04
2.1.1. Fontes de nitrogênio	05
2.1.2. Disponibilidade de nitrogênio no solo	06
2.1.3. Nitrogênio absorvido pelas culturas.....	07
2.1.4. Perdas de nitrogênio do solo	09
2.2. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar	12
2.2.1. Utilização de fertilizantes nitrogenados	
líquidos em cana-de-açúcar	12
2.2.2. Avaliação da eficiência de utilização do nitrogênio	
líquido e sólido em cana-de-açúcar	13
2.2.3. Perdas e efeito residual do nitrogênio no	
solo na cultura de cana-de-açúcar	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1. Local	18
3.2. Variedade de cana-de-açúcar e antecedentes.....	18

3.3. Solo.....	19
3.4. Delineamento experimental	19
3.5. Cultivo mecânico da área e instalação dos tensiômetros e extratores de solução do solo.....	19
3.6. Adubação potássica e nitrogenada.....	20
3.7. Produção de massa verde, massa seca e nitrogênio total extraído na parte aérea da soqueira, em função do tempo.....	25
3.8. Utilização do nitrogênio dos fertilizantes pela soqueira de cana em diferentes estágios de crescimento, determinada pela técnica de ^{15}N	26
3.9. Volatilização de NH_3 do solo.....	27
3.10. Fluxo de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no perfil do solo.....	29
3.11. Colheita final da cana das áreas com fertilizante- ^{15}N	32
3.11.1. Produção final de massa verde, massa seca e nitrogênio total extraído pela parte aérea	32
3.11.2. Nitrogênio dos fertilizantes contidos na parte aérea e subterrânea.....	34
3.12. Distribuição do nitrogênio residual dos fertilizantes: uréia e aquamônia, no solo.....	35
3.13. Testes estatísticos utilizados.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1. Crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca) e utilização do nitrogênio dos fertilizantes (uréia e aquamônia).....	38
4.2. Volatilização de NH_3 do solo.....	63

4.3. Nitrogênio residual dos fertilizantes no solo.....	66
4.4. Destino do nitrogênio da solução do solo.....	74
4.4.1. Determinação da densidade de fluxo de água no solo...	74
4.4.2. Concentração de nitrogênio mineral na solução do solo e lixiviação do nitrogênio dos fertilizantes.....	75
4.5. Destino do nitrogênio dos fertilizantes: aquamônia e uréia, no sistema solo-planta.....	78
5. CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	92

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Esquema experimental.....	22
2. Esquema do posicionamento dos equipamentos instalados.....	23
3. Esquema de um tensiômetro.....	24
4. Esquema da unidade extratora de solução do solo.....	24
5. Produção de massa verde total (t/ha) da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.....	44
6. Produção de massa seca total (t/ha) da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.....	45
7. Teor de nitrogênio (N%) na massa seca da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.....	46
8. Nitrogênio total extraído e contido na parte aérea (Kg/ha) da soqueira (3ªsoca) de cana-de-açúcar SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.....	47
9. Correlação entre nitrogênio total extraído e massa seca total da parte aérea da soqueira (3ªsoca) de cana-de-açúcar SP 70-1143, em diferentes épocas.....	48
10. Fração do nitrogênio total extraído e contido na parte aérea	

da soqueira (3ªsoca) de cana-de-açúcar SP 70-1143 (% NPPF), em função do tempo (dias) após adubação.....	57
11. Quantidade de nitrogênio na parte aérea da soqueira (3ªsoca) de cana-de-açúcar SP 70-1143 derivada do fertilizante (NPPF-Kg/ha) e eficiência de utilização do fertilizante (EUF%), em função do tempo após adubação.....	58
12. Nitrogênio nativo do solo (NS) e proveniente do fertilizante (NF) no nitrogênio total extraído pela soqueira (3ªsoca) de cana-de-açúcar SP 70-1143 (Kg/ha), para a parte aérea e subterrânea.....	62
13. Porcentagem do nitrogênio do solo derivado dos fertilizantes (%NSPF):aquamônia (Aq.) e uréia (Ur.), em diferentes profundidades, na entrelinha e sulco de adubação (amostragem de 07/05/87).....	70
14. Porcentagem e quantidade do nitrogênio do solo derivado dos fertilizantes (%NSPF e QNSF-Kg/ha): aquamônia e uréia, em diferentes profundidades, após a colheita final (amostragem de 08/12/87).....	73
15. Umidade do solo (θ) em função do tempo (t) para as profundidades de 40, 60, 90 e 110cm obtidas no campo no período de 20 dias após a saturação do solo.....	84
16. Precipitação pluviométrica e densidade de fluxo de água no solo (q) em duas profundidades (50 e 100 cm) no tratamento NK-aquamônia durante 102 dias após a adubação.....	85

17. Precipitação pluviométrica e densidade de fluxo de água no solo (q) em duas profundidades (50 e 100 cm) no tratamento NK-uréia durante 102 dias após a adubação.....	86
18. Concentração (ppm) de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) na solução do solo proveniente dos fertilizantes (NF) e do nitrogênio nativo do solo (NS), em função do tempo e em duas profundidades, para o local do sulco de adubação.....	87
19. Concentração (ppm) de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) na solução do solo proveniente dos fertilizantes (NF) e do nitrogênio nativo do solo (NS), em função do tempo e em duas profundidades na entrelinha.....	88

LISTA DE TABELAS

Página

1. Análise química de amostras compostas de terra (LVA), colhidas antes da instalação do experimento (a,b).....	21
2. Análise textural do solo LVA, da área experimental (a).....	21
3. Amostragens para determinação da produção de massa verde massa seca, nitrogênio total nos tratamentos: NK (aquamônia-KCl e uréia-KCl-100Kg/ha de N + 120 Kg/ha de K ₂ O) e K (KCl - 0 Kg/ha de N + 120 Kg/ha de K ₂ O) e aproveitamento do nitrogênio das fontes nitrogenadas (uréia e aquamônia): por meio da concentração de ¹⁵ N de folha +3.....	28
4. Amostragens dos coletores de espuma na determinação do N-NH ₃ volatilizado dos fertilizantes.....	33
5. Datas das amostragens de solução do solo.....	33
6. Número de perfilhos em 10 metros lineares (A), massa verde de 30 canas (B) e umidade da massa verde (C), durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca).....	40,41
7. Produção de massa verde ,massa seca e nitrogênio total	

da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ªsoca).....	42,43
8. Concentração de ^{15}N (átomos %) nas folhas +3 coletadas nas linhas centrais das parcelas com o isótopo ^{15}N , em diferentes épocas (meses) durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ªsoca).....	51,52
9. Nitrogênio na parte aérea de soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ªsoca), proveniente dos fertilizantes: aquamônia (^{15}N) e uréia (^{15}N) - 100Kg/ha de N (NPPF).....	53
10. Produção de massa verde (t/ha) na parte aérea (colmo + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmos subterrâneos e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143, na colheita final (4ºcorte).....	54
11. Teor de nitrogênio na massa seca (%) e extração de nitrogênio (kg/ha) pela parte aérea (colmos + folhas verdes e folhas secas) e subterrâneo (colmos subterrâneos e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143, na colheita final (4ºcorte).....	55
12. Concentração de ^{15}N (átomos %) na parte aérea (colmo + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmo subterrâneo e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143 colhidas nas parcelas com fertilizantes ^{15}N , na colheita final....	56
13. Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF-% e Kg/ha) na parte aérea (colmo + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmo subterrâneo e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3ªsoca) SP 70-1143 no 4º corte.....	61

14. N-NH ₃ volatilizado total após 47 dias de incorporados os adubos (uréia e aquamônia), acima do sulco de adubação.....	65
15. Abundância de ¹⁵ N (átomos %) e nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (%NSPF) em amostras de solo coletadas em 07/05/87, após 5 meses da adubação.....	69
16. Teor de N(%), abundância de ¹⁵ N (átomos%) , nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (%NSPF) e quantidade de nitrogênio no solo do fertilizante (QNSF) em amostras de solo coletadas em 08/12/87, após 12 meses da adubação.....	72
17. Concentração de nitrogênio mineral (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺) em partes por milhão (ppm) nas amostras de solução do solo nos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, em dois locais de amostragem e em duas profundidades, em função do tempo após a adubação.....	79
18. Concentração de ¹⁵ N (átomos%) no nitrogênio mineral (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺) da solução do solo, nos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, em dois locais de amostragem e em duas profundidades, em função do tempo após a adubação.....	80
19. Concentração de nitrogênio mineral (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺) em partes por milhão (ppm) proveniente do fertilizante nas amostras de solução do solo nos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, em dois locais de amostragem e em duas profundidades, em função do tempo após a adubação.....	81
20. Estimativa de lixiviação do nitrogênio mineral (NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺)	

dos fertilizantes e do nitrogênio nativo do solo, para duas profundidades (50 e 100cm), nos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, após 102 dias da adubação nitrogenada.....	82
21. Precipitação e temperatura média mensal (dezembro de 1987 a outubro de 1987) do local.....	83

DINÂMICA DO NITROGÊNIO DOS FERTILIZANTES: URÉIA (^{15}N) E
AQUAMÔNIA (^{15}N) INCORPORADOS AO SOLO NA CULTURA DE
CANA-DE-AÇÚCAR

Autor: PLÍNIO BARBOSA DE CAMARGO

Orientador: Prof. Dr. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

RESUMO

O objetivo deste trabalho é estudar a dinâmica do nitrogênio das fontes uréia e aquamônia no solo na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), por meio da técnica isotópica com ^{15}N , visando esclarecer quais os destinos do nitrogênio com relação à lixiviação, volatilização, extração pela cultura e resíduo nitrogenado dos adubos no solo.

O experimento foi realizado em área pertencente à Usina São José, situada no Município de Macatuba-SP. Utilizou-se a variedade de cana-de-açúcar SP 70-1143 de 3ª soca em solo Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura arenosa, característico de 45% da região.

O delineamento experimental constou de 2 tratamentos com fertilizantes nitrogenados na forma de uréia e aquamônia e um terceiro tratamento testemunha sem nitrogênio. A área de cada tratamento constou de 15 sulcos de 10 metros de comprimento, com espaçamento entre sulcos de 1,40m. Nos tratamentos com fertilizantes foram demarcadas 3 parcelas para aplicação do adubo- ^{15}N , sendo cada parcela constituída de 3 linhas contíguas de 1,5 metros lineares. Nessas mesmas parcelas foram instalados tensiômetros, extratores de solução do solo e amostradores para coletar o nitrogênio volatilizado do solo.

A adubação nitrogenada foi de 100 Kg de N/ha aplicados em sulcos com 20cm de profundidade e localizados a 15cm de cada lado da linha de soqueira. Como fertilizantes marcados com ^{15}N foram utilizados uréia- ^{15}N (3,413 átomos% ^{15}N) e aquamônia (3,181 átomos% ^{15}N).

Os resultados obtidos mostraram valores de eficiência de utilização do fertilizante (EUF) de 18,4 e 14,4% para aquamônia e uréia respectivamente, sendo que 25 e 21% do nitrogênio absorvido foram encontrados nos rizomas e raízes (parte subterrânea) e o restante na parte aérea.

A quantidade média estimada de N-NH_3 volatilizado do solo em 47 dias foi de 0,15 Kg de N/ha sendo apenas 2% proveniente dos fertilizantes uréia e aquamônia.

A quantidade residual dos fertilizantes no solo, considerada a profundidade de 1,25m foi de 22,8 e 13,5 Kg de N/ha para o nitrogênio da aquamônia e uréia respectivamente.

Considerando que o arraste do nitrogênio à profundidade de 1m

representa perda do nutriente para fora do volume de solo explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar, as perdas por lixiviação foram de 28,2 e 7,5 Kg de N/ha para uréia e aquamônia respectivamente, ou seja, uma perda 4 vezes maior para o nitrogênio da uréia do que o nitrogênio da aquamônia nas condições experimentais.

EFFECT OF NITROGEN OF FERTILIZERS: UREA (^{15}N) AND AQUA
AMMONIA (^{15}N) APPLIED IN SUGARCANE CULTURE SOILS.

Author: PLINIO BARBOSA DE CAMARGO

Adviser: PROF. DR. PAULO CESAR OCHEUZE TRIVELIN

SUMMARY

The objective of this work is to study the dynamic of nitrogen from urea and aqua ammonia sources in soil cropped with sugarcane (*Saccharum spp*) by means of isotopic ^{15}N techniques to determine the fate of the nitrogen in terms of leaching, volatilization, plant uptake and nitrogen residues in the soil.

The field studies were conducted at a site in Usina São José, Macatuba-SP. The SP 70-1143 sugarcane cultivar (3rd ratoon) was used in Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA - sandy soil), which is representative of 45% of the region.

The experimental design consisted of two nitrogen fertilizer treatments: one with urea the other with aqua ammonia and a third without nitrogen fertilization. Each treatment consisted of a plot with 15 rows, ten meters long with spacing of 1.40 meters. Three subplots in each of the two nitrogen fertilizer plots were delimited for ^{15}N fertilizer applications. Each of these subplots were represented by 3 lines 1.5m long. Tensiometers, soil solution extractors and soil air collectors were installed on these subplots.

The nitrogen fertilizer was applied at a dose of 100kg of N/ha 20cm deep and 15cm from the plant row. The labelled ^{15}N nitrogen fertilizer consisted of urea- ^{15}N (3.413 atoms % ^{15}N) and aqua ammonia (3.181 atoms % ^{15}N).

The results obtained showed the following values for the nitrogen utilization efficiency: aqua ammonia: 18.4% and urea: 14.4%.

It was also observed that 25% (aqua ammonia) and 21% (urea) of nitrogen taken up by plants was found in the buried rhizospheres and roots.

The mean value of the amount of N-NH_3 volatilization from the soil was 0.15kg of N/ha during a period of 47 days. Only 2% was from the urea and aqua ammonia fertilizers.

The residual nitrogen in the soil, until the depth of 1.25m was 22.8kg N/ha for urea and 13.5kg for aqua ammonia.

The nitrogen leaching bellow the depth of 1.0m for the urea treatment was four times greater than that of the aqua ammonia one.

1. INTRODUÇÃO

Dos elementos nutritivos essenciais às plantas, o nitrogênio é o de maior e mais rápido efeito no crescimento vegetal. Além disso, é o elemento que as plantas requerem durante largo período do seu ciclo vegetativo, porém, no solo, esse elemento sofre uma série de transformações, o que se denomina de ciclo do nitrogênio no solo.

Dentre as formas minerais do nitrogênio no solo: NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ , o nitrato é o mais aproveitado pelas plantas. No entanto por ser um ânion, o NO_3^- é pouco retido nos colóides do solo, permanecendo em maior parte livre na fase líquida do solo e dessa maneira ficando sujeito ao movimento da água no perfil.

A movimentação horizontal e vertical do nitrogênio mineral em solos tem merecido muita atenção, pois trata-se de uma fonte potencial de perda desse nutriente no sistema solo-planta, aumentando consequentemente os custos de produção das culturas devido à maior necessidade de adubos nitrogenados e podendo ainda o NO_3^- lixiviado atuar como poluente do lençol freático.

Com o emprego de fertilizantes fluídos introduzidos na lavoura canavieira do Estado de São Paulo há pouco mais de 6 anos, foram encontradas vantagens técnico-econômicas nessa forma de adubação em relação à aplicação de adubos sólidos. Tal alternativa fundamentava-se no

fato, que em trabalhos realizados em outros países, mostraram para diversas culturas, a mesma eficiência de aproveitamento do nitrogênio para ambas as formas de fertilizantes.

Nesse sentido estudos deveriam ser levados a efeito comparando a produtividade, aproveitamento e a dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes (fluido e sólido) em diferentes condições de cultivo, com cana planta e soqueira, em nosso meio.

Com relação à movimentação do nitrogênio no solo e sua perda por lixiviação, sabe-se que o íon nitrato é o mais móvel no solo. Este íon, livre na solução do solo está sujeito ao arraste pela água para fora do sistema radicular, caracterizando uma perda de nitrogênio. Para se quantificar esta perda, é necessário o conhecimento da densidade do fluxo de água e da concentração deste nutriente na solução do solo.

No ensaio conduzido foi possível acompanhar as movimentações do nitrogênio dos fertilizantes no solo - deslocamento horizontal e vertical, em função do tempo, utilizando para isso a técnica de extração da solução do solo em diferentes profundidades, e metodologia isotópica de ^{15}N . Também foram realizadas determinações das perdas de $^{15}\text{N-NH}_3$ dos fertilizantes por volatilização, através da superfície do solo.

Ao final da cultura (12 meses) realizou-se um balanço de nitrogênio no sistema solo-planta, pela colheita de toda a soqueira (parte aérea e sistema radicular) e desmonte do perfil do solo. Foram ainda considerados para efeito de balanço as perdas por lixiviação nos tres meses iniciais após a aplicação dos fertilizantes, período este onde foi possível coletar amostras de solução de solo e por volatilização.

Com base no que foi apresentado são objetivos desta pesquisa

estudar: a) a dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes uréia e aquamônia no solo na cultura de cana-de-açúcar, com ênfase nas movimentações horizontais e verticais, b) o destino do nitrogênio das fontes uréia e aquamônia, por meio da técnica isotópica com ^{15}N com relação à lixiviação, volatilização, extração pela cultura e resíduo do nitrogênio dos adubos imobilizados no solo, em área cultivada com cana-de-açúcar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta

O nitrogênio é reconhecido entre os nutrientes essenciais pelo importante papel que desempenha na nutrição vegetal. Muitos dos processos vitais estão associados à presença do nitrogênio, que participa de inúmeros compostos importantes no metabolismo das plantas e dos animais.

Segundo MEIRELLES et alii (1980), a sua importância se sobressai principalmente em solos situados em região de clima tropical úmido, no qual há grande mobilidade do nitrogênio e alta mineralização da matéria orgânica, além do elevado custo dos fertilizantes nitrogenados. Sendo assim, o uso de fertilizantes nitrogenados tornou-se limitado, exigindo um conhecimento mais profundo dos processos e interações que ocorrem no sistema solo-água-planta visando o seu máximo aproveitamento pela cultura.

O estudo detalhado da dinâmica do nitrogênio é necessário, pois resultados obtidos sob os mais diversos sistemas agrícolas mostraram que raramente uma cultura aproveita mais de 60% do nitrogênio aplicado como fertilizante (IAEA, 1976). O restante pode permanecer no solo, disponível para as culturas subsequentes ou perder-se por diversos mecanismos tais como a volatilização, desnitrificação, lixiviação para fora da zona radicular

e carregada pela erosão e pelo deflúvio superficial.

2.1.1. Fontes de nitrogênio

O grande reservatório de nitrogênio para a biosfera é o N_2 gasoso que constitui aproximadamente 78% do volume da atmosfera. Entretanto, neste estado, por ser o nitrogênio quimicamente inerte não é absorvido pelo sistema radicular das plantas, sendo a sua utilização dependente da conversão do mesmo a estados mais oxidados (nitrato ou nitrito) ou reduzido (amônio), pois a forma inorgânica é praticamente a única assimilável pelas plantas.

Também inviável à assimilação encontra-se o nitrogênio no solo na forma orgânica adicionado pelos resíduos de culturas, sendo necessárias portanto algumas transformações para que o nitrogênio orgânico e o nitrogênio atmosférico sejam utilizados pelas plantas. Desta forma, BARTHOLOMEW (1975), SANCHES (1976) e RUSSEL (1977), entre outros, têm discutido tanto as transformações do nitrogênio orgânico à nitrogênio mineral, ou seja a mineralização, quanto às transformações do nitrogênio mineral à nitrogênio orgânico; a imobilização.

Segundo RUSCHEL & VOSE (1982), AZEREDO & MANHÃES (1983) e KIEHL (1985), os adubos verdes são importantes como fontes de nitrogênio.

Em ecossistemas naturais, a fixação biológica do N_2 e a fotossíntese representam os processos básicos responsáveis pela manutenção da vida na terra. Dos sistemas fixadores mais importantes para solos de clima tropical, com maiores possibilidades de exploração agrícola destaca-se o *Rhizobium*.

No caso de gramíneas há uma fixação associativa, onde apesar de menos conhecida segundo VITTI et alii (1984), é de grande importância na economia de fertilizantes.

Dentro desta linha de pesquisa DÖBEREINER et alii (1973), verificaram a existência de uma abundante população de bactérias fixadoras de vida livre do gênero *Beijerinckia*, nos canaviais, que aumentava notadamente nas proximidades das touceiras. As estimativas de fixação de N_2 medidas foram da ordem de 50kg N/ha por ano.

Trabalhando com ^{15}N , RUSCHEL et alii (1978), estimaram uma fixação da ordem de 25 a 30% do nitrogênio total absorvido pela cana-de-açúcar sendo que em trabalho posterior RUSCHEL & VOSE (1982), encontraram valores de fixação do N_2 atmosférico de 17% do nitrogênio absorvido pela planta, ou seja 16,6 kg de N/ha.

Mais recentemente URQUIAGA et alii (1986), utilizando variedades de cana-de-açúcar mais aptas à fixação, concluíram que houve uma contribuição da fixação biológica do nitrogênio para a cana-de-açúcar equivalente a 33-163kg de N/ha por ano correspondendo a 37-56% do total de nitrogênio acumulado na planta. Tal fato levou os autores a afirmar ser possível em solo pobre em nitrogênio disponível alcançarem níveis de produtividade equivalentes a 175-250 ton de colmos/ha, sem o uso de adubo nitrogenado.

2.1.2. Disponibilidade de nitrogênio no solo

No solo, em torno de 2% do nitrogênio litosférico encontra-se na forma mineral (NO_3^- e NH_4^+) prontamente disponível para as plantas.

Segundo MALAVOLTA (1976), cerca de 90% do nitrogênio total do solo encontra-se na forma orgânica, sendo necessário sua mineralização à forma amoniacal e nítrica principalmente.

CLEMENTS (1960), verificou que as chances do NH_4^+ permanecer nesta forma no solo são bastante remotas, uma vez que estão sempre presentes nos solos populações de microrganismos envolvidos com os processos de nitrificação e ainda há a possibilidade de perdas por volatilização.

A utilização de fertilizantes nitrogenados químicos é o meio mais imediatista de fornecer nutrientes às culturas, aumentando a produção.

2.1.3. Nitrogênio absorvido pelas culturas

BARTHOLOMEW et alii (1950), foram os pioneiros no uso da técnica de utilização do isótopo ^{15}N como traçador, trabalhando com aveia fertilizada com diferentes níveis de sulfato de amônio enriquecido, obtendo valores de eficiência de utilização do fertilizante que variaram de 11 a 29%. Em 1971, revisando trabalhos dentro desta área BARTHOLOMEW (1971), concluiu que a recuperação do nitrogênio disponível no solo pelas plantas é em média de 50 a 60%.

IVANKO (1972), mostrou que a eficiência do milho em utilizar nitrogênio proveniente do fertilizante nunca excede 60%, variando entre 30 e 40% em condições menos adequadas.

CHO et alii (1967), mostraram que a eficiência de utilização do nitrogênio aumenta com a idade do milho, alcançando valores máximos de 30 e 40% em solos não muito deficientes em nitrogênio.

No Brasil, NEPTUNE (1977), comparando os métodos direto e indireto de medida de eficiência de utilização do fertilizante, usando sulfato de amônio marcado a 0,9 átomos % ^{15}N em excesso na cultura de milho, verificou que a eficiência variou entre 39,5 e 58% pelo método de ^{15}N enquanto que pelo método da diferença a variação foi de 59 a 75%, verificando portanto uma superestimativa pelo método da diferença.

Utilizando a cultura de milho, REICHARDT et alii (1979), encontraram uma eficiência extremamente alta de 82% onde para uma dose de aplicação de 80kg de N/ha de sulfato de amônio- ^{15}N , 71,3kg/ha de N foram absorvidos pela planta. Neste trabalho, vale destacar que as chuvas durante os 150 dias de crescimento da cultura estiveram muito bem distribuídas, o que talvez justifique este valor.

Mais recentemente CALVACHE et alii (1982), aplicando uréia- ^{15}N (100kg de N/ha), concluíram que a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pelo milho aumenta conforme avançam os estádios de desenvolvimento da cultura, alcançando o valor máximo de 30% na planta madura, sendo 10,6% na palha e 19,4% no grão.

Diversos trabalhos, utilizando feijão como planta-resposta, também levaram-se a efeito. NEPTUNE & MURAOKA (1978), aplicando uréia- ^{15}N em diferentes estádios de desenvolvimento, encontraram um coeficiente de utilização do fertilizante que variou entre 11,2 e 35,7%, sendo que o feijão aproveitou melhor o fertilizante nitrogenado oferecido pouco antes ou durante o florescimento quando comparado ao aplicado na semeadura.

Já LIBARDI & REICHARDT (1978), aplicando 40 e 120kg de uréia- ^{15}N obtiveram valores aproximados de 38 e 33% de eficiência de

utilização aos 77 dias após o plantio.

MEIRELLES et alii (1980), utilizando sulfato de amônia- ^{15}N (100kg de N/ha) em aplicação parcelada, sendo 1/3 da dose total no plantio e os 2/3 restantes aos 30 dias após a germinação, período de maior necessidade de nitrogênio pela planta, verificaram uma eficiência máxima de 30% aos 45 dias após a germinação.

LIBARDI et alii (1982), trabalhando com uréia marcada com ^{15}N , executaram um experimento sobre o destino do nitrogênio aplicado em três culturas consecutivas de feijão, obtendo uma eficiência para a primeira cultura de 38,5%, para a segunda 4,6% e para a terceira 4,2%, dando uma recuperação total de 44,3% do nitrogênio aplicado à primeira cultura.

No mesmo solo, aplicando sulfato de amônio altamente enriquecido com ^{15}N (56,11% de átomos de ^{15}N em excesso), foi conduzido o trabalho de URQUIAGA (1982), no qual se obteve uma eficiência de 76% de utilização do nitrogênio pela cultura, considerada muito alta, ou seja, 32kg N/ha recuperados dos 42kg N/ha aplicados.

2.1.4. Perdas de nitrogênio do solo

O nitrogênio aplicado como fertilizante é susceptível a diversas transformações químicas e biológicas que resultam em perdas pelo solo ou a sua indisponibilidade temporária às plantas.

Devido à alta mobilidade do nitrogênio no solo este, além de aumentar os custos de produção, atua como poluidor às águas naturais.

As quantidades de N-NO_3^- no perfil, susceptíveis à perda, são muito variáveis no espaço e no tempo, dependendo da quantidade de

nitrogênio adicionado, do tipo do adubo, da taxa de mineralização do nitrogênio nativo, da remoção pelas colheitas, do tipo de cultura e do volume de água drenada, fatores estes afetados significativamente pelas propriedades do solo (capacidade de troca iônica, pH, textura, estrutura, matéria orgânica, relação C/N, etc.) e pelo clima (precipitação, principalmente).

Para os estudos do movimento de nutrientes no perfil do solo, alguns pesquisadores têm realizado amostragens e análises do material orgânico retirado do solo (Terra Fina Seca ao Ar, TFSA) e outros e da solução ou água de drenagem, sendo que nesta última metodologia o uso de cápsulas porosas é mais recomendável, pela facilidade de obtenção da amostra *in situ*, sem destruição da estrutura do solo e das raízes e por poder ser de uso permanente (LIBARDI & REICHARDT, 1978; MEIRELLES et alii, 1980 e REICHARDT et alii, 1979).

No que diz respeito aos estudos de lixiviação, LIBARDI & REICHARDT (1978), estudando o destino da uréia- ^{15}N (120kg de N/ha) na cultura de feijão, encontraram que durante o ciclo da cultura foram perdidos a mais de 90cm, 6,7kg/ha de nitrogênio total (5,6%). Porém no mesmo solo e com a mesma cultura, MEIRELLES et alii (1980) aplicando sulfato de amônio- ^{15}N (100kg de N/ha) encontraram que as perdas por lixiviação a 120cm foram no total 15kg de N/ha/ano sendo 1,35kg de N (1,35%) proveniente do fertilizante.

REICHARDT et alii (1979), aplicaram 80kg de N/ha de sulfato de amônia à cultura de milho num Latossolo Vermelho-Escuro, fase arenosa verificando que as perdas por lixiviação a mais de 120cm foram de 9,2kg de N/ha sendo 4,8% do fertilizante.

Um trabalho conduzido em Paleudalf óxido em cultivo de milho, para uma taxa de aplicação de 100kg de N/ha, ARAUJO SILVA (1982) verificou uma perda de 32,4kg de N/ha sendo 34% do fertilizante, ou seja, 11kg de N/ha.

REICHARDT et alii (1982) numa análise global dos demais trabalhos puderam concluir que para taxas de aplicação da ordem de 90kg N/ha somente 4,5g de nitrogênio dos fertilizantes foram lixiviados por hectare por mm de chuva nas condições tropicais.

Em recente trabalho publicado por URQUIAGA et alii (1986) verificaram-se que em TRE com cultura de feijão, sob as condições de mínima drenagem foram lixiviados abaixo dos 120cm de profundidade apenas 3g/ha de nitrogênio total sendo 3,04mg/ha nitrogênio do fertilizante.

As perdas por volatilização são mais significativas em condições redutoras, que ocorrem em solos de má drenagem ou saturados de água. As perdas de nitrogênio para a atmosfera ocorrem na forma de NH_3 (amônia) especialmente em solos de elevado pH. Segundo MALAVOLTA, (1981), a volatilização da amônia ocorre com alta probabilidade, quando o adubo é aplicado em superfície (cobertura), sendo função também da natureza do fertilizante, CTC, pH, teor de matéria orgânica e outras propriedades do solo, da umidade e da temperatura.

LIBARDI & REICHARDT (1978), avaliando o destino da uréia aplicada a uma cultura de feijão, encontraram que as perdas por volatilização do fertilizante aplicado foram insignificantes.

RODRIGUES & KHIEL (1986) trabalhando com volatilização de amônia após adubação com uréia, observaram que quanto menor a dose aplicada e maior a profundidade de aplicação menor o percentual

volatilizado, assim como observaram que o secamento do solo pode acelerar as perdas de amônia por volatilização, porque parte dela se encontra dissolvida na água do solo.

2.2. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar

2.2.1. Utilização de fertilizantes nitrogenados líquidos em cana-de-açúcar

Os fertilizantes líquidos são de uso generalizado na cultura de cana-de-açúcar em algumas regiões canavieiras do país, em adubações foliares complementares, devido a sua versatilidade. No entanto, a utilização dos fertilizantes fluidos na fertilização básica da cana-de-açúcar como adubo de solo em escala comercial teve início em 1981 através de um projeto pioneiro desenvolvido pelas usinas do Grupo Zillo Lorenzetti.

Corbini (1983), fazendo um breve histórico, verificou que em 1975 tiveram início as aplicações comerciais de fertilizantes fluidos via foliar nas Usinas de São José e Barra Grande através de aplicações aéreas em fertilizações complementares.

Em 1979, experiências foram desenvolvidas pela equipe do Prof. Bittencourt no Centro Tecnológico da Copersucar, para o uso da amônia anidra e soluções de amônia no solo.

Experiências de campo para aplicação de soluções de amônia no solo e desenvolvimento de um protótipo aplicador tratorizado foram efetuados em 1980 pela Usina São José e Centro Tecnológico da Copersucar.

A partir de 1981 tiveram início as aplicações de aquamônia no campo comercialmente e os trabalhos de avaliação de produção e em 1984 foi realizado o primeiro trabalho com a aplicação da técnica isotópica a fim de avaliar a eficiência dos fertilizantes fluidos.

Desde então diversos projetos foram levados a cabo visando estudar a eficiência de adubação para as diferentes condições climáticas que influenciam as soqueiras de início ou final de safra.

2.2.2. Avaliação da eficiência de utilização do nitrogênio líquido e sólido em cana-de-açúcar

Segundo SILVEIRA (1985) a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de fertilizante nitrogenado deve estar relacionada com a taxa de crescimento que, por sua vez, depende do material genético e dos fatores ambientais, todos interrelacionados com características fisiológicas.

Quanto ao nitrogênio extraído ou exportado pela cultura de cana-de-açúcar, os resultados de diversos trabalhos mostraram que a absorção de nitrogênio é influenciada por condições ambientais, climáticas e edafológicas (ORLANDO FILHO et alii, 1980).

Por exemplo, SERRA (1979) obteve respostas significativas à complementação com 40kg de N/ha em solo TRE, resultado esse que não foi conseguido em LVE fase arenosa.

ESPIRONELLO et alii (1981) observaram respostas à complementação com nitrogênio tanto em solos arenosos como argilosos. Já GLORIA et alii (1984) trabalhando em solos argilosos no Estado de São Paulo com vinhaça e complementados com doses variando de 45 a 120kg de N/ha,

concluíram haver apenas uma tendência de resposta à adubação nitrogenada.

PENNA & FIGUEIREDO (1984), trabalhando com 3 tipos de solos fertilizados com 100m³/ha de vinhaça e doses de 40kg de N/ha na forma de uréia e 80kg de N/ha nas formas de uréia e aquamônia, concluíram que os acréscimos obtidos na produção final de colmos foram proporcionais às doses de nitrogênio aplicadas. Concluíram também que o uso da aquamônia em substituição à uréia demonstrou viabilidade técnico-econômica.

Em recente trabalho conduzido por SILVA et alii (1988), e desenvolvido pelo PLANALSUCAR no Estado de São Paulo, onde foram comparados fertilizante sólido e líquido em 6 diferentes ensaios; 4 tipos de solos e 2 variedades de cana-de-açúcar, foi possível concluir que: a) as duas fontes de nitrogênio (uréia e aquamônia) mostraram eficiência similar na adubação de cana-de-açúcar; b) a umidade adequada do solo e a necessidade da aplicação do fertilizante fluido a aproximadamente 15cm de profundidade influenciaram positivamente no comportamento da aquamônia na adubação de soqueira.

Os pioneiros na utilização de ¹⁵N em pesquisas com cana-de-açúcar a fim de se estudarem os mecanismos de utilização de nitrogênio pela cultura foram BURR & TAKAHASHI (1955).

Segundo uma série de experimentos realizados por TAKAHASHI (1964; 1967; 1968; 1970) demonstraram que para a cana-planta a eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado pode variar de aproximadamente 21 a 40,6% e para a soca de 11,6 a 27,3%. Esta variação se deve devido à variabilidade climática dos locais dos experimentos, do regime hídrico, do solo, etc.

Em Formosa, CHAN & WENG (1983) verificaram que as

recuperações do nitrogênio proveniente do sulfato de amônio marcado com ^{15}N sob condições de estufa variaram de 7,3 a 45,8% para cana-planta, dependendo da dose e do parcelamento.

VALDIVIA (1982) estimou que para as condições de deserto litorâneo no Peru, o nitrogênio exportado pela cultura foi de 210 a 246kg de N/ha para uma aplicação de 300kg de N/ha, sendo 30% perdido na queima da cultura antes da colheita.

No Brasil, RUSCHEL et alii (1977) usando sulfato de amônio marcado com ^{15}N em cana-de-açúcar em condições de vaso concluíram que 37,8% do nitrogênio derivado do fertilizante estava nas folhas verdes, 31,6% nas folhas mortas e 22,2% nos colmos quando 100kg de N/ha foi aplicado.

SAMPAIO et alii (1984) trabalhando em solo PVA em condições de campo com cana-planta, encontraram que foram absorvidos pelas plantas 39% do nitrogênio do fertilizante (uréia), representando menos de 10% do nitrogênio total retirado pela cultura e praticamente todo o nitrogênio proveniente do fertilizante foi absorvido pelas plantas até 3 meses após a sua aplicação.

Os resultados experimentais do trabalho de TRIVELIN et alii (1986) para soqueira de final de safra de cana-de-açúcar SP 70-1143 de 2º corte cultivada em área com aplicação de vinhaça mostrou uma tendência constante do tratamento com adubo fluido (aquamônia) apresentar resultados médios de produções e quantidade total de nitrogênio extraído pela cultura maiores que no tratamento com uréia, apesar de não diferirem estatisticamente. Dos 90kg de N/ha incorporados ao solo, 35kg/ha foram recuperados na parte aérea da soca representando uma eficiência de 38%.

Para a condição de soqueira de início de safra, TRIVELIN et alii

(1987b) verificaram um baixo aproveitamento do nitrogênio dos adubos uréia e aquamônia que corresponderam a uma eficiência de utilização média de 13,7%.

CARNAUBA (1989), visando avaliar o aproveitamento do nitrogênio do fertilizante uréia em cana-de-açúcar obteve resultados da eficiência de utilização do fertilizante de 44 e 40% para cana-planta e soca respectivamente considerando-se a planta toda. A participação do nitrogênio fertilizante no total de nitrogênio contido na parte aérea da cultura foi 26 e 12% para cana-planta e soqueira.

2.2.3. Perdas e efeito residual do nitrogênio no solo na cultura de cana-de-açúcar

TAKAHASHI (1967), utilizando lisímetros em um cultivo de cana-de-açúcar, verificou que ocorreram pequenas perdas de nitrogênio na solução lixiviada mesmo não tendo ocorrido grandes precipitações.

VALDIVIA (1982) encontrou perda de 33kg de N/ha por lixiviação a uma profundidade de 180cm nos 18 meses do ciclo da cultura, no Peru.

Investigando o destino do nitrato e amônio marcados com ^{15}N em solo sob cultivo de cana-de-açúcar, CHEONG et alii (1980), constatarem um movimento mais pronunciado do fertilizante nítrico em relação ao amoniacal, porém o aumento do teor de argila e da CTC do solo agem favoravelmente à retenção destes íons ao solo.

PATWARY & RAICOVICH (1980) estudando o movimento e a distribuição do nitrogênio isotópico no perfil do solo até a profundidade de 200cm encontraram que a somatória do nitrogênio lixiviado abaixo de 140cm

mais o acumulado no perfil do solo foi de 55% do ^{15}N total adicionado.

SALCEDO & SAMPAIO (1984), estudando o deslocamento vertical e lateral da uréia- ^{15}N aplicado em solo Podzólico Vermelho Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, verificaram perdas por lixiviação de 14kg de N/ha no caso da aplicação do fertilizante parcelado e de 21kg de N/ha quando da aplicação única.

As perdas por volatilização em condições de campo foram estudadas por LARA C. et alii (1987c) que encontraram perdas de 3,2 a 1,8% do nitrogênio aos 60 dias da aplicação dos fertilizantes uréia e aquamônia.

PINNA & VALDIVIA (1978) trabalhando em solo calcáreo cultivado com cana-de-açúcar obtiveram elevados valores de perdas por volatilização da uréia, ou seja, 25-50% quatro dias após a aplicação, para a condição de aplicação superficial sob condições de alta temperatura.

A imobilização do nitrogênio disponível no solo, prejudica a absorção do nitrogênio do solo pela cana-de-açúcar. CARNAUBA et alii (1983) verificaram uma maior imobilização do nitrogênio em solo tratado com vinhaça do que em não tratado.

A permanência no solo de parte significativa do nitrogênio aplicado via fertilizante pode explicar em parte a elevada percentagem do fertilizante não recuperada pela parte aérea da cana-de-açúcar (TRIVELIN et alii, 1986, 1987a, 1987b).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

O experimento foi instalado em área da Fazenda 14 (Granja), Lote 54, Quadra 18, pertencente à Usina São José - Zillo Lorenzetti, situada no município de Macatuba no Estado de São Paulo. A área escolhida situa-se próxima a rodovia SP 261 (Osni Mateus), a 310 km da capital do Estado.

3.2. Variedade de cana-de-açúcar e antecedentes

A variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) utilizada foi a SP 70-1143, terceira soca cuja data de corte anterior à implantação do ensaio foi 04/11/1986. A produção na área de cana industrial no 3º corte foi de 47t/ha (J.C.S. Rodrigues ¹). Esta variedade ocupa uma área correspondente a 25% da área total da Usina.

¹. RODRIGUES, J.C.S. (Usina São José Zillo Lorenzetti, Macatuba, SP) Comunicação pessoal, 1987.

3.3. Solo

O solo da área onde foram desenvolvidos os trabalhos experimentais é o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), textura arenosa, característico de 45% da área da região. A análise química e textural de amostras compostas de terra colhidas nas entrelinhas de soqueiras, no local de instalação do projeto de pesquisa, são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

3.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental constou de três tratamentos; dois com fertilizantes nitrogenados na forma de uréia e aquamônia designados respectivamente de: NK-uréia (100kg/ha de N-uréia + 120kg/ha de K_2O-KCl) e NK-aquamônia (100kg/ha de N-aquamônia + 120kg/ha de K_2O-KCl), e um terceiro tratamento, testemunha K (0kg/ha de N + 120kg/ha de K_2O-KCl).

A área de cada tratamento constou de 15 sulcos de 10 metros de comprimento, com espaçamento entre sulcos de 1,40m. Nas áreas dos tratamentos NK-aquamônia e NK-uréia, foram demarcadas as parcelas para aplicação do adubo ^{15}N , no centro das linhas de soqueira de números 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 13 em 1,5 metros lineares de acordo com a Figura 1.

3.5. Cultivo mecânico da área e instalação dos tensiômetros e extratores de solução do solo.

O cultivo mecânico da área do ensaio, foi realizado em 03/12/86

e constou dos tratos convencionais, sem aplicação simultânea de fertilizantes.

No período compreendido entre os dias 03 a 11/12/86 procedeu-se a instalação dos tensiômetros e extratores de solução do solo, nos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, conforme o esquema da Figura 2.

As Figuras 3 e 4 representam esquemas do tensiômetro e unidade extratora de solução do solo, respectivamente. Detalhes sobre estes instrumentos e a sua instalação, podem ser encontrados em Libardi, (1984).

3.6. Adubação potássica e nitrogenada

Em 18/12/86 procedeu-se a adubação potássica nos tratamentos NK-uréia e K-testemunha, com KCl sólido (120kg/ha de K_2O) aplicado no fundo de sulcos localizados a 15-20cm de cada lado da linha de soqueira. A adubação nitrogenada (100kg/ha de N) no tratamento NK-uréia foi realizada após a adubação potássica. No tratamento NK-aquamônia aplicou-se também no fundo dos sulcos localizados a 15-20cm de cada lado da linha de soqueira a formulação líquida: 10-0-12 (100kg/ha de N-aquamônia e 120kg/ha de K_2O -KCl).

Nas parcelas de 1,5 metros lineares delimitadas para receberem fertilizante- ^{15}N (Figura 2), a adubação foi realizada nos mesmos moldes do restante da área de cada tratamento (NK-uréia e NK-aquamônia), somente que o fertilizante nitrogenado estava marcado com o isótopo (uréia a 3,413 e aquamônia a 3,181 átomos % em ^{15}N).

Tabela 1. Análise química de amostras compostas de terra (LVA), colhidas antes da instalação do experimento(a,b).

Profundidade (cm)	pH	M.O. (%)	meq / 100 ml de TFSA							
			P_{4}^{3-}	K^{+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H^{+}	Al^{3+}	SB	CTC
0-25	5,2	1,77	0,04	0,05	0,33	0,13	2,0	0,60	0,5	3,1
25-50	5,0	1,43	0,03	0,03	0,11	0,05	1,7	0,59	0,2	2,5

(a) Análise realizada pelo Laboratório Central, Copersucar.

(b) P e K = H_2SO_4 0,5 N.

Tabela 2. Análise textural do solo LVA, da área experimental(a).

Profundidade (cm)	Resultados analíticos (%)					Classe Textural
	Areia			Limo	Argila	
	Fina	Grossa	Total			
0 - 25	44,5	34,6	79,1	5,7	15,2	Barro Arenoso
25 - 50	40,9	38,2	79,1	4,2	16,7	Barro Arenoso

(a) determinações realizadas no Laboratório Central da Copersucar.

Figura 1. Esquema experimental

Figura 4. Esquema da unidade extratora de solo.

Figura 3. Esquema de um tensiômetro

3.7. Produção de massa verde, massa seca e nitrogênio total extraído na parte aérea da soqueira, em função do tempo.

Em área a parte aquela com tratamentos que receberam fertilizantes- ^{15}N , contendo os mesmos tratamentos relacionados no item 3.4., procederam-se amostragens mensais a partir do mês subsequente a adubação (janeiro de 1987), até a colheita final em 03/11/87, nas datas relacionadas na Tabela 3. Nessas amostragens adotou-se a metodologia utilizada pela Copersucar no "Controle de Produção Integrado" - COPI. Em três blocos contendo cada um os três tratamentos, foram feitas contagens do número de perfilhos em 10 metros lineares (A) e pesagem da massa verde total da parte aérea (colmo, folhas verdes e secas) de 30 canas colhidas seguidamente (B), em diferentes épocas (vide Tabela 3). A produção de massa verde total da parte aérea da soqueira para um hectare (MV), nas diferentes épocas foi estimado pela equação 1:

$$\text{MV(t/ha)} = 7,143 \cdot (A/10) \cdot (B/30) \dots\dots\dots(1)$$

Sub-amostras da massa verde total das repetições de cada tratamento (3 por tratamento), obtidas por moagem das canas e folhas em moenda tipo forrageira, foram utilizadas na determinação da porcentagem de umidade da massa verde (C). Essas determinações foram realizadas por pesagem das sub-amostras antes e depois da secagem em estufa a 70°C. Nas sub-amostras secas em estufa foram determinadas o teor de nitrogênio na massa seca (%N) pelo método de Kjeldahl, segundo Bremner (1965). As estimativas de produções totais de massa seca (MS) e extração de nitrogênio

(N) por hectare para a parte aérea, foram calculadas pelas equações 2 e 3:

$$MS(t/ha) = MV \cdot [1 - (C/100)] \dots\dots\dots (2)$$

$$N(kg/ha) = 10 \cdot MS \cdot \% N \dots\dots\dots (3)$$

3.8. Utilização do nitrogênio dos fertilizantes pela soqueira de cana em diferentes estágios de crescimento, determinada pela técnica com ^{15}N .

Nas parcelas contendo fertilizante- ^{15}N dos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia realizaram-se mensalmente, a partir do mês de fevereiro/87, amostragens de folhas +3 nas datas relacionadas na Tabela 3. O procedimento nessas amostragens constou da coleta de duas folhas +3 de plantas da linha central, de cada parcela dos tratamentos com uréia- ^{15}N e aquamônia- ^{15}N , (linhas 3, 8 e 12). No tratamento testemunha (K) colheram amostras de folhas +3 nas mesmas linhas acima relacionadas a fim de determinar a concentração isotópica natural média de ^{15}N , em cada época.

As amostras de folhas +3 foram secas em estufa a 70°C, moídas em moinho mecânico tipo Willey e analisadas quanto a composição isotópica de ^{15}N por espectrometria de massa, utilizando como método de preparo das amostras a combustão de "Dumás" (TRIVELIN et alii, 1973).

Na determinação da porcentagem do nitrogênio nas plantas derivada dos fertilizantes (% NPPF) foi utilizada a expressão 4.

$$\% NPPF = \frac{a - b}{c - b} \cdot 100 \dots\dots\dots (4)$$

- a. átomos % de ^{15}N na folha +3 do tratamento com ^{15}N .
- b. átomos % de ^{15}N na folha +3 do tratamento testemunha (natural)
- c. átomos % de ^{15}N no fertilizante.

A quantidade de nitrogênio na planta derivado do fertilizante foi calculado pela expressão 5 onde o valor de $\text{N}(\text{kg}/\text{ha})$ foi obtido conforme descrito no item 3.7., para amostras colhidas na mesma época de amostragem de folhas +3.

$$\text{NPPF}(\text{kg}/\text{ha}) = (\% \text{ NPPF}/100) \cdot \text{N}(\text{kg}/\text{ha}) \dots\dots\dots (5)$$

3.9. Volatilização de NH_3 do solo

A instalação de coletores de NH_3 volatilizado do solo, do tipo semi-aberto estático modificado de Nômik e calibrado por LARA C. (1987a) deu-se em 18/12/86, logo após a aplicação dos adubos marcados com ^{15}N e nos locais indicados na Figura 2.

A metodologia de extração do NH_3 coletado, análises químicas e cálculos efetuados nesse estudo foram descritos por LARA C. (1987a) e LARA C. et alii (1987b).

A Tabela 4 relaciona as épocas de amostragem das espumas dos coletores para determinação do N-NH_3 volatilizado.

Tabela 3. Amostragens para determinação da produção de: massa verde, massa seca, nitrogênio total nos tratamentos: NK (aquamônia-KCl e uréia-KCl - 100kg/ha de N + 120 kg/ha de K_2O) e K (KCl - 0 kg/ha de N + 120 kg/ha de K_2O) e aproveitamento do nitrogênio das fontes nitrogenadas (uréia e aquamônia) por meio da concentração de ^{15}N de folha +3.

Amostragem Nº	Data	Tempo da adubação (dias)	Tipo de Amostragem			
			A ⁽¹⁾	B ⁽²⁾	C ⁽³⁾	D ⁽⁴⁾
01	06/01/87	19	+ ⁽⁵⁾	+	+	-
02	05/02/87	49	+	+	+	+
03	06/03/87	78	+	+	+	+
04	07/04/87	110	+	+	+	+
05	07/05/87	140	+	+	+	+
06	08/06/87	172	+	+	+	+
07	08/07/87	202	+	+	+	+
08	10/08/87	235	+	+	+	+
09	04/09/87	260	+	+	+	-
10	03/11/87	320	Colheita final			

(1) Contagens de número de perfilhos em 10 metros lineares (três repetições por tratamento).

(2) Massa verde de 30 canas (três repetições por tratamento).

(3) Determinação da % de umidade na massa verde (três repetições por tratamento).

(4) Colheita de folha +3 (duas folhas por parcela).

(5) + e - significam amostragens realizadas ou não, respectivamente.

3.10. Fluxo de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) no perfil do solo.

Nos tratamentos que receberam o fertilizante- ^{15}N (NK-uréia e NK-aquamônia), foram instalados respectivamente 8 tensiômetros (3 `a profundidade de 110cm, 3 `a 90cm, 1 `a 60cm e 1 `a 40cm de profundidade) e 12 extratores de solução do solo, sendo 6 para cada profundidade de 50 e 100cm, nas posições sulco de adubação e entrelinha em locais indicados na Figura 2.

A leitura dos tensiômetros (altura h da coluna de Hg) foi diária, e sempre no mesmo horário (11 horas da manhã), sendo sorvados sempre que se notou a presença de bolhas de ar. Ao mesmo tempo fez-se também a leitura diária de um pluviômetro localizado ao lado da área experimental.

As extrações de solução foram realizadas a partir da data da adubação nitrogenada nos meses de dezembro de 1986 a março de 1987, de acordo com o apresentado na Tabela 5.

A movimentação e a perda por percolação profunda de nitrogênio no perfil do solo considerando-se apenas o fluxo de massa foi estimada pela equação 6:

$$Q_N = q \cdot C_N \dots\dots\dots(6)$$

onde: Q_N ($\mu\text{g. cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) representa o fluxo de nitrogênio (nitrato+amônio) no solo às profundidades de 50 ou 100cm num dado tempo;

q ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$) a densidade de fluxo de água no solo a um dado tempo nas mesmas profundidades;

C_N ($\mu\text{g. cm}^{-3}$) a concentração média de nitrogênio (nitrato+ amônio) na solução do solo no mesmo tempo e profundidade.

Os cálculos de densidade de fluxo de água no solo (q) obtidos pela equação de Darcy (equação 7) para as profundidades de 50 e 100cm foram realizadas utilizando-se as leituras diárias dos tensiômetros (altura h da coluna de Hg em cm) a 40, 60, 90, 110cm de profundidade, como também da curva de condutividade hidráulica do solo ($K(\theta)$) em função da umidade (θ).

$$q = - K(\theta) \cdot (\psi_{hs} - \psi_{hi}) / h \quad \text{.....(7)}$$

onde: $K(\theta)$ (cm. dia^{-1}) é a condutividade hidráulica;

ψ_h (cm de coluna de água) o potencial hidráulico na profundidade s (superior) e i (inferior);

h (cm) a distância entre as posições das cápsulas dos tensiômetros no perfil do solo.

O potencial hidráulico (ψ_h) é a combinação de potenciais que atuam como força propulsora no fluxo de água para solos não saturados, e é dado por:

$$\psi_h = \psi_m + \psi_g \quad \text{..... (8)}$$

onde: ψ_m (cm de coluna de água) é o potencial mátrico;

ψ_g (cm) é o potencial gravitacional, e equivale a altura entre a

superfície do solo até o centro da cápsula porosa do extrator

Para o cálculo do potencial mátrico (ψ_m) da água do solo, utilizaram-se os dados diários medidos da altura da coluna de mercúrio dos tensiômetros (h), juntamente com as distâncias da superfície do solo ao nível superior do mercúrio na cuba (h_c) e a profundidade de instalação da cápsula (z), dada pela fórmula:

$$\psi_m = -12,6 \cdot h + h_c + z \quad \text{.....(9)}$$

A condutividade hidráulica do solo para as profundidades de 50 e 100 cm foi calculado utilizando-se o Método de Umidade de Libardi, (1984) pela equação:

$$K(\theta) = K_0 \cdot e^{\gamma (\theta - \theta_0)} \quad \text{.....(10)}$$

onde: $K(\theta)$ - condutividade hidráulica em função do tempo e umidade;

K_0 - condutividade hidráulica do solo saturado;

γ - constante para cada profundidade;

θ - umidade do solo num determinado tempo;

θ_0 - umidade do solo na saturação, e

sendo os valores de K_0 , γ , e θ_0 obtidos através da regressão linear das curvas de umidade (θ) em função do tempo ($\ln t$).

Para se obter a concentração de nitrogênio na solução do solo coletado pelos extratores, fez-se uma destilação de forma a proporcionar

uma redução de todo NO_3^- à NH_4^+ pela liga de Devarda e em seguida destilando-se o NH_4^+ total da amostra em meio alcalino com óxido de magnésio, segundo Bremner (1965).

As análises de ^{15}N das amostras destiladas de solução do solo foram realizadas por espectrometria de massa utilizando como método de preparo das amostras o de Rittenberg, como apresentado por TRIVELIN et alii (1973).

Os cálculos das concentrações de nitrogênio (nitrato + amônio) derivado dos fertilizantes nas amostras de solução do solo (C_{Nf}) foram feitos empregando-se a equação 11.

$$C_{\text{Nf}} = (\% \text{NSSPF} / 100) \cdot C_{\text{N}} \quad \text{.....(11)}$$

onde: %NSSPF - % de nitrogênio na solução do solo proveniente do fertilizante (calculado à semelhança da equação 4);

C_{N} - como definido anteriormente.

3.11. Colheita final da cana das áreas com fertilizante- ^{15}N

3.11.1. Produção final de massa verde, massa seca e nitrogênio total extraído pela parte aérea

Na colheita final da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar (3ª soca), SP 70-1143 (4ª corte), realizada em 03/11/87 nas áreas dos

Tabela 4. Amostragens dos coletores de espuma na determinação do N-NH_3 volatilizado dos fertilizantes.

Amostragem nº	Data da amostragem/ tempo após adubação	Tratamento/nº de repetições	
		uréia	aquamônia
1	23/12/86 / 5 dias	3	3
2	30/12/86 /12 dias	3	3
3	08/01/87 /21 dias	3	3
4	13/01/87 /26 dias	3	3
5	20/01/87 /33 dias	3	3
6	28/01/87 /41 dias	3	3
7	03/02/87 /47 dias	3	3

Tabela 5. Datas das amostragens de solução do solo

mês / dia das amostragens			
dezembro/87	janeiro/87	fevereiro/87	março/87
18ae	02c	03e	07e
23b	06c	06e	10e
26e	08c	10d	13e
30d	09c	17d	17e
	13c	20e	20e
	17e	25e	24e
	20c	28e	27e
	23e		31e
	28e		
	30e		

- a. Amostras colhidas no dia da adubação.
- b. Solo com baixa umidade na superfície, não houve extração de solução do solo a 50 cm de profundidade para os dois tratamentos.
- c. Coletas irregulares devido problemas surgidos ora com a bomba de vácuo ora com os aparelhos extratores.
- d. Pequeno volume de solução extraída nos extratores do tratamento uréia.
- e. Coleta normal em todos os extratores.

tratamentos NK-aquamônia, NK-uréia, e K-testemunha, colheram-se as canas cruas das linhas 2, 6, 10 e 14, subdividindo cada linha em duas parcelas de 5 metros lineares totalizando 8 parcelas por tratamento. A parte aérea das plantas foi ainda subdividida em colmo e folhas verdes (C+FV) e folhas secas (FS), nas quais foram determinadas a massa verde (massa fresca) por 5 metros lineares (mv). Cada uma das amostras foram trituradas em moenda tipo forrageira e sub-amostradas, e essas por sua vez secas em estufa a fim de obter a porcentagem de umidade da massa fresca. Nas sub-amostras secas em estufa foram determinadas a % de nitrogênio como descrito no item 3.7. A equação 12 foi utilizada no cálculo da estimativa de produção da massa verde por hectare.

$$MV(t/ha) = 1,429 \cdot mv \dots\dots\dots (12)$$

As estimativas de produção de massa seca (MS) e nitrogênio total extraído (N) foram calculadas pelas expressões 2 e 3, descritas no item 3.7..

3.11.2. Nitrogênio dos fertilizantes contidos na parte aérea e subterrânea.

No meio metro linear central (0,5 m.l.) das linhas 4, 8 e 12 dos três tratamentos foram colhidas em 03/11/87 as canas cruas e subdivididas também em amostras de colmo e folhas verdes (C+FV) e folhas secas (FS).

Em 08/12/87 nos mesmos locais onde foram colhidas as canas nos 0,5 metro linear, foram abertas trincheiras abrangendo os mesmos 0,5

m da linha e 1,40 m de entrelinha a entrelinha. Todo o solo retirado para as profundidades de 0 a 25cm e 25 a 50cm de profundidade, foi peneirado, separando-se dessa forma os colmos subterrâneos ou rizomas (CS) e raízes (R), a cada profundidade. As amostras de rizomas e raízes foram lavadas para a retirada do solo aderido e a seguir pesados para a determinação da massa verde (fresca) por parcela. Cada uma das amostras das parcelas dos tratamentos: NK-aquamônia, NK-uréia e K-testemunha, tanto da parte aérea como da parte subterrânea, foram trituradas em moinho tipo forrageira e sub-amostradas. As sub-amostras foram secas em estufa a 70°C e processadas para análise isotópica de ^{15}N , como descrito no item 3.8.. Nas sub-amostras de rizomas e raízes foram determinadas a % de umidade, e % de nitrogênio na matéria seca pelo método de Kjeldahl.

3.12. Distribuição do nitrogênio residual dos fertilizantes: uréia e aquamônia, no solo.

Amostragens de solo foram realizadas em 07/05/87 (5 meses após a adubação), 1 mes após finalização do período de coleta de solução do solo e em 08/12/87 (12 meses da adubação) após a colheita final da soqueira.

Na 1ª amostragem (07/05/87) procedeu-se a tradagem do solo, na posição de abertura do sulco de adubação (15 a 20cm de cada lado da linha de soqueira) e na entrelinha (70cm das linhas de cana), no ponto central das linhas 4, 8 e 12, dos tratamentos NK-aquamônia, NK-uréia e K-testemunha. Amostras compostas foram colhidas para as profundidades 0 a 25, 25 a 50, 50 a 75, 75 a 100 e 100 a 125cm.

Na amostragem final (08/12/87) as amostras para as profundidades 0 a 25 e 25 a 50cm, foram colhidas após peneiragem da terra contida nessas profundidades para a trincheira aberta, como descrito em 3.11.2. Nas demais profundidades (50 a 75, 75 a 100 e 100 a 125cm) amostras de solo foram colhidas através de tradagens realizadas em três pontos ao acaso, na área abrangida pela trincheira.

As amostras de solo foram secas ao ar e posteriormente analisadas quanto ao teor de nitrogênio pelo método de Kjeldahl. A determinação da concentração de ^{15}N (átomos %) do nitrogênio total do solo foi efetuada por espectrometria de massa, utilizando como método de preparo das amostras o de Rittenberg (TRIVELIN et alii, 1973).

No cálculo da porcentagem do nitrogênio do solo derivada do fertilizante (%NSPF) foi utilizada a expressão 13:

$$\% \text{NSPF} = \frac{a - b}{c - b} \cdot 100 \dots\dots\dots (13)$$

onde:

a - átomo % de ^{15}N no nitrogênio total do solo das parcelas com fertilizante

^{15}N

b - átomo % de ^{15}N no nitrogênio total do solo das parcelas sem fertilizante

^{15}N (K-testemunha)

c - átomo % de ^{15}N no fertilizante aplicado.

A quantidade de nitrogênio residual no solo derivado do fertilizante (NSPF-kg/ha) foi calculado para a amostragem final (08/12/87), nas profundidades amostradas (0 a 25, 25 a 50, 50 a 75, 75 a

100, 100 a 125cm), através da equação 11.

$$\text{NSPF}(\text{kg/ha}) = 14,286 \cdot (\% \text{NSPF}/100) \cdot V \cdot d \quad (14)$$

onde: $V = (0,175\text{m}^3)$ é o volume de solo contido em uma trincheira de 1,40m de comprimento por 0,5m de largura e 0,25m de profundidade, correspondendo ao volume de solo amostrado para a profundidade de 25cm;

$d = (1,44\text{ g. cm}^{-3})$ densidade global média do solo

3.13. Testes estatísticos utilizados

Os valores obtidos para a produção de massa verde, massa seca, nitrogênio total da soqueira de cana-de-açúcar e nitrogênio na planta proveniente dos fertilizantes (%) e (kg/ha), durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar, foram obtidos utilizando-se a média de tres resultados, sendo os valores de s.e. (desvio padrão da média) obtidos pela teoria de propagação de erros (FURTADO, 1967).

Foram utilizados o teste de Tukey a nível de 5% para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias dos tratamentos e profundidades e o teste t de student para quando a diferença entre as médias dos tratamentos diferirem significativamente de zero.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca) e utilização do nitrogênio dos fertilizantes (uréia e aquamônia).

Na Tabela 6 constam os resultados das amostragens: número de perfilhos em 10 metros lineares, massa verde total da parte aérea de 30 canas e a umidade da massa verde, realizadas entre janeiro e setembro de 1987, durante o desenvolvimento vegetativo da soqueira, para os três tratamentos em estudo. As estimativas de produção da massa verde e massa seca total da parte aérea (t/ha) foram calculados dos resultados da Tabela 6 e encontram-se na Tabela 7. Nessa mesma tabela são apresentados os valores de teor de nitrogênio na massa seca (%N) e o nitrogênio total extraído (kg/ha), contido na parte aérea da soqueira, nas diferentes épocas. Ainda da Tabela 7 constam os resultados da colheita final (novembro de 1987). Com os resultados da Tabela 7 elaboraram-se as Figuras 5 a 9.

Dos resultados de massa verde como daqueles da massa seca (Tabela 7 e Figuras 5 e 6), fica evidente que no crescimento da soqueira, o tratamento aquamônia mostrou sempre maior produção comparado aos demais tratamentos. Esse fato vem novamente reforçar o que já havia sido verificado por TRIVELIN et alii (1986), para a condição de uma soqueira de

1º corte (1ª soca) de final de safra, em área de vinhaça. O fato do tratamento uréia evidenciar menores produções que o tratamento aquamônia e comparável a da testemunha, pode estar de alguma forma relacionado a dinâmica e transformações do nitrogênio dos fertilizantes no solo, como será abordado mais adiante no presente trabalho.

A produção final de massa verde total da parte aérea da soqueira no tratamento aquamônia foi de 45t/ha, resultado esse muito abaixo da produtividade média de cana industrial para o Brasil. Deve ser ressaltado, neste ponto, que o trabalho experimental foi implantado em área comercial onde o rendimento de cana industrial no 3º corte (novembro de 1986) já tinha se apresentado muito baixo (47t/ha).

Verifica-se pela Figura 7 que as curvas de teores de nitrogênio na massa seca (%N) em função do tempo, para os três tratamentos, apresentaram redução no período compreendido entre 30 e 150 dias da adubação, e praticamente estabilizaram-se no período posterior, em torno de 0,4%. O tratamento que não recebeu nitrogênio mineral (K-testemunha) mostrou valores médios de %N na massa seca, quase sempre inferiores aqueles com nitrogênio mineral. Fica evidente também pela análise dos resultados de nitrogênio total na parte aérea (kg/ha) em função do tempo (Tabela 7 e Figura 8), que não houve incremento significativo no nitrogênio da parte aérea após os 120 dias da adubação para os tratamentos adubados (NK-aquamônia e NK-uréia), sendo que o tratamento que recebeu aquamônia foi aquele que sempre revelou as maiores quantidades.

Através das Figuras 6, 8 e 9 pode-se observar que para os tratamentos adubados o aumento na massa seca da parte aérea foi acompanhado de aumento no acúmulo de nitrogênio até por volta dos 120

Tabela 6. Número de perfilhos em 10 metros lineares (A), massa verde de 30 canas (B) e umidade da massa verde (C), durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca).

Época (mês/ano)	Tratamento a/	A ^b / (nº)	B ^b / (kg/30canas)	C ^b / (%)
janeiro/87	K	267± 3	0,98±0,14	73,5±1,4
	NK-uréia	261±10	0,70±0,15	72,5±0,5
	NK-aquamônia	301±12	0,80±0,12	73,2±0,7
fevereiro/87	K	241±24	3,87±0,44	79,9±0,3
	NK-uréia	263±13	2,80±0,15	80,1±0,4
	NK-aquamônia	271±14	4,23±0,32	80,4±0,7
março/87	K	242±14	3,53±0,81	70,2±1,1
	NK-uréia	252±23	3,93±0,19	69,8±0,1
	NK-aquamônia	284± 8	4,53±0,43	71,4±0,2
abril/87	K	168± 2	6,47±0,99	72,1±0,4
	NK-uréia	160± 5	8,07±0,33	72,9±0,5
	NK-aquamônia	168± 3	10,3 ±1,0	72,4±0,3
maio/87	K	157±15	7,95±1,34	72,9±0,2
	NK-uréia	149±10	11,1 ±0,8	70,5±0,2
	NK-aquamônia	164± 7	11,6 ±1,5	72,8±0,2

a/K: KCl (120 kg/ha de K₂O)

NK-uréia: uréia (100 kg/ha de N) + KCl (120 kg/ha de K₂O)

NK-aquamônia: aquamônia (100 kg/ha de N) + KCl (120 kg/ha de K₂O).

b/média e desvio padrão da média (m±s.e.) de três repetições.

Tabela 6. Número de perfilhos em 10 metros lineares (A), massa verde de 30 canas (B) e umidade da massa verde (C), durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca).

Época (mês/ano)	Tratamento ^a /	A ^b / (nº)	B ^b / (kg/30canas)	C ^b / (%)
junho/87	K	118± 3	11,6±1,3	71,1±0,4
	NK-uréia	123±11	8,8±0,3	71,3±0,6
	NK-aquamônia	128± 3	15,6±1,0	70,6±0,4
julho/87	K	128± 4	13,0±0,7	67,9±0,8
	NK-uréia	133±10	11,4±0,7	67,8±0,4
	NK-aquamônia	124± 2	16,8±0,8	68,9±0,3
agosto/87	K	123± 5	12,9±1,4	65,6±0,2
	NK-uréia	121± 6	12,9±1,3	66,3±0,3
	NK-aquamônia	128± 7	16,0±0,5	65,4±0,8
setembro/87	K	111± 5	14,1±0,5	63,9±0,6
	NK-uréia	121± 9	17,4±2,1	65,3±0,1
	NK-aquamônia	125± 8	17,1±0,9	61,9±1,1

a/K: KCl (120 kg/ha de K₂O)

NK-uréia: uréia (100 kg/ha de N) + KCl (120 kg/ha de K₂O)

NK-aquamônia: aquamônia (100 kg/ha de N) + KCl (120 kg/ha de K₂O).

b/média e desvio padrão da média (m±s.e.) de três repetições.

Tabela 7. Produção de massa verde, massa seca e nitrogênio total da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca)^a.

Época (mês)	Tratamento ^b	Massa Verde ^c (t/ha)	Massa Seca ^d (t/ha)	Nitrogênio	
				(% N) ^e	(kg/ha) ^f
jan./87	K	6,23±0,9	1,65±0,2	0,99±0,02	16,3±2,5
	NK-uréia	4,35±1,0	1,20±0,3	0,94±0,02	11,3±2,5
	NK-aquamônia	5,73±0,9	1,54±0,2	1,04±0,02	16,0±2,5
fev./87	K	22,2 ±3,4	4,46±0,7	0,84±0,03	37,5±5,9
	NK-uréia	17,5 ±1,3	3,48±0,3	0,92±0,02	32,0±2,6
	NK-aquamônia	27,3 ±2,5	5,35±0,5	0,89±0,02	47,6±4,8
mar./87	K	20,3 ±4,8	6,05±1,4	0,57±0,03	34,5±8,5
	NK-uréia	23,6 ±2,4	7,13±0,7	0,66±0,01	47,1±4,9
	NK-aquamônia	30,6 ±3,0	8,75±0,9	0,62±0,05	54,3±6,9
abr./87	K	25,9 ±4,0	7,23±1,1	0,41±0,02	29,6±4,8
	NK-uréia	30,7 ±1,6	8,32±0,5	0,50±0,02	41,6±2,8
	NK-aquamônia	41,2 ±4,1	11,4 ±1,1	0,51±0,02	58,1±6,1
maio/87	K	29,7 ±5,8	8,05±1,6	0,41±0,02	33,0±6,6
	NK-uréia	39,4 ±3,9	11,6 ±1,2	0,44±0,04	51,0±7,0
	NK-aquamônia	45,3 ±6,2	12,3 ±1,7	0,40±0,02	49,2±7,2

a. Os resultados representam a média e desvio padrão da média (m±s.e.) de três repetições, sendo o valor de s.e. obtido pela teoria de propagação de erros.

b. vide nota a no rodapé da Tabela 6.

c. $MV(t/ha) = A/10 \cdot B/30 \cdot 7,143$

d. $MS(t/ha) = MV \cdot (1-C/100)$, onde C = % de umidade da massa verde.

e. N% determinado pelo método Kjeldahl, com três repetições por tratamento.

f. $N(kg/ha) = MS \cdot N\% \cdot 10$

Tabela 7. Produção de massa verde, massa seca e nitrogênio total da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca)^a.

Época (mês)	Tratamento ^b	Massa Verde ^c (t/ha)	Massa Seca ^d (t/ha)	Nitrogênio	
				(% N) ^e	(kg/ha) ^f
jun./87	KCl	32,6 ±3,7	9,42±1,1	0,34±0,00	32,0± 3,7
	NK-uréia	25,8 ±2,5	7,40±0,7	0,40±0,02	29,6± 3,3
	NK-aquamônia	47,5 ±3,2	14,0 ±1,0	0,47±0,02	65,8± 5,5
jul./87	KCl	39,6 ±2,5	12,7 ±0,9	0,32±0,01	40,6± 3,1
	NK-uréia	36,1 ±3,5	11,6 ±1,1	0,45±0,02	52,2± 5,5
	NK-aquamônia	49,6 ±2,6	15,4 ±0,8	0,40±0,03	61,6± 5,6
ago./87	KCl	37,8 ±4,4	13,0 ±1,5	0,29±0,01	37,7± 4,5
	NK-uréia	37,1 ±4,2	12,5 ±1,4	0,41±0,02	51,3± 6,3
	NK-aquamônia	48,7 ±3,1	16,9 ±1,1	0,37±0,01	62,5± 4,4
set./87	KCl	37,2 ±2,1	13,4 ±0,8	0,27±0,01	36,2± 2,5
	NK-uréia	50,1 ±7,1	17,4 ±2,5	0,36±0,03	62,6±10,4
	NK-aquamônia	50,9 ±4,2	19,4 ±1,7	0,33±0,02	64,0± 6,8
nov./87	KCl	35,7 ±3,0	14,1 ±1,3	0,34±0,01	48,0± 3,6
	NK-uréia	35,7 ±2,6	14,1 ±1,0	0,38±0,01	53,0± 3,7
	NK-aquamônia	45,4 ±2,4	17,4 ±1,1	0,37±0,01	63,6± 3,6

a. Os resultados representam a média e desvio padrão da média (m±s.e.) de três repetições, sendo o valor de s.e. obtido pela teoria de propagação de erros.

b. vide nota a no rodapé da Tabela 6.

c. $MV(t/ha) = A/10 \cdot B/30 \cdot 7,143$

d. $MS(t/ha) = MV \cdot (1-C/100)$, onde C = % de umidade da massa verde.

e. N% determinado pelo método Kjeldahl, com três repetições por tratamento.

f. $N(kg/ha) = MS \cdot N\% \cdot 10$

Os resultados da colheita final (novembro de 1987) foram obtidas como descrito em Material e Métodos, item 3.11.1..

Figura 5. Produção de massa verde total (t/ha) da parte aérea de soqueira de cana-de-açúcar (3ª soca) SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.

Figura 6. Produção de massa seca total (t/ha) da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar (3ª soca) SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.

Figura 7. Teor de nitrogênio (N%) na massa seca da parte aérea da soqueira de cana-de-açúcar (3ª soca) SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.

Figura 8. Nitrogênio total extraído e contido na parte aérea (kg/ha) da soqueira (3ª soca) de cana-de-açúcar SP 70-1143, em função do tempo (dias) após adubação.

Figura 9. Correlação entre nitrogênio total extraído e massa seca total da parte aérea da soqueira (3ª soca) de cana-de-açúcar SP 70-1143, em diferentes épocas.

dias atingindo o tratamento NK-aquamônia e NK-uréia valores de 60 e 45kg/ha de N, respectivamente. Para esses tratamentos, após esse período, o aumento do nitrogênio total acumulado na parte aérea em função do aumento na produção de massa seca foi pequena, mostrando uma tendência a uma elevação nos últimos dois meses antes da colheita final, período em que o incremento na massa seca foi muito pequeno.

Para o tratamento testemunha fica evidente na Figura 9 que houve redução do nitrogênio total na parte aérea em função do aumento da massa seca no mesmo período onde não se verificou incremento de nitrogênio nos tratamentos adubados. Fato semelhante ao mencionado foi também verificado por TRIVELIN et alii (1987b) no desenvolvimento da soqueira de 1^o corte SP 70-1143 (1^a soca) de início de safra.

Na Tabela 8 encontram-se relacionados os resultados de concentração de ¹⁵N (átomos %) de folhas +3 colhidas nas parcelas com fertilizante-¹⁵N para as diferentes épocas de amostragens. Os valores de concentração de ¹⁵N (átomos %) das amostras colhidas nas parcelas que receberam fertilizante-¹⁵N e da testemunha na colheita final, são apresentados na Tabela 12. Dos resultados das tabelas acima referidas pode-se destacar que em todas as amostragens os valores de ¹⁵N (átomos %) das parcelas com fertilizante-¹⁵N mostram-se superiores em relação a testemunha, evidenciando absorção de nitrogênio dos fertilizantes.

Os resultados do nitrogênio na parte aérea da cultura proveniente do fertilizante aplicado (%NPPF e NPPF-kg/ha) como também a eficiência de utilização do fertilizante aplicado (EUF) em função do tempo, constam da Tabela 9 e Figuras 10 e 11.

Na Tabela 9 e Figura 10 observa-se que a %NPPF para os

tratamentos aquamônia e uréia mostraram-se crescentes até por volta de 120-150 dias da adubação, ocorrendo a partir dessa época redução nessas porcentagens. Esses resultados podem estar indicando que as plantas absorveram quantidades de nitrogênio dos fertilizantes proporcionalmente maiores que a do nitrogênio nativo do solo até os 120-150 dias, quando então passou a ocorrer menor absorção do nitrogênio dos adubos, proporcionalmente aquele do solo, ou mesmo, não tenha ocorrido mais absorção do nitrogênio dos fertilizantes, resultando com isso redução na %NPPF. Ainda da Tabela 9 e Figura 11 pode ser observado que até os 120-150 dias da adubação, as quantidades de NPPF(kg/ha) na parte aérea da soqueira foram aumentando até atingir valores de 14 e 11kg/ha de N dos fertilizantes, para aquamônia e uréia respectivamente, quando então essas quantidades não mais aumentaram e tenderam até a um leve declínio.

Das Tabelas 10 e 11 constam as produções de massa verde e massa seca, teor de nitrogênio na massa seca e as quantidades de nitrogênio extraído, para a parte aérea e subterrânea da soqueira, na colheita final. Dos resultados da Tabela 10 pode-se destacar tanto para massa verde como para massa seca, que a parte subterrânea da soqueira, contribui com valores expressivos com relação a produção total.

Considerando a média das produções dos três tratamentos a produção da parte subterrânea representa 32 e 26% da produção total (parte aérea + subterrânea) de massa verde e massa seca, respectivamente. Na Tabela 10 pode-se observar ainda que as raízes desenvolveram-se preferencialmente na camada superficial do solo (0 a 25cm de profundidade) devido provavelmente a fatores como: número de cortes (soqueira de 4º corte) que tornou mais superficial o sistema radicular da soqueira (BACCHI,

Tabela 8. Concentração de ^{15}N (átomos %) nas folhas +3 coletadas nas linhas centrais das parcelas com o isótopo ^{15}N , em diferentes épocas (meses) durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca).

Tratamento ^{a/}	Parcela	fever./87	março/87	abril/87	maio/87
NK-aquam. ^{b/}	L-04*	0,855	0,996	1,195	1,201
	L-08*	1,327	1,386	1,258	1,420
	L-12*	0,737	0,755	0,849	1,039
	média ±s.e.	0,973 ±0,180	1,046 ±0,184	1,101 ±0,127	1,220 ±0,110
NK-uréia. ^{b/}	S-04*	1,015	1,184	0,929	1,167
	S-08*	1,192	1,322	1,053	1,255
	S-12*	0,781	1,028	1,196	1,183
	média ±s.e.	0,996 ±0,119	1,178 ±0,085	1,059 ±0,077	1,202 ±0,027
K	C-04	0,365	0,365	0,367	0,368
	C-08	0,366	0,366	0,368	0,367
	C-12	0,364	0,365	0,366	0,367
	média ±s.e.	0,365 ±0,001	0,365 ±0,000	0,367 ±0,001	0,367 ±0,001

a/ Vide nota a do rodapé da Tabela 6.

b/ As concentrações de ^{15}N nos adubos foram: 3,181 e 3,413 átomos % de ^{15}N para a aquamônia e uréia, respectivamente.

Tabela 8. Concentração de ^{15}N (átomos %) nas folhas +3 coletadas nas linhas centrais das parcelas com o isótopo ^{15}N , em diferentes épocas (meses) durante o crescimento da soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca).

Tratamento ^{a/}	Parcela	junho/87	julho/87	agosto/87
NK-aquam. ^{b/}	L-04*	0,945	1,175	1,127
	L-08*	1,293	1,057	1,114
	L-12*	0,812	0,964	0,826
	média ±s.e.	1,017 ±0,143	1,065 ±0,061	1,022 ±0,098
NK-uréia ^{b/}	S-04*	1,116	0,922	1,180
	S-08*	1,269	1,088	0,787
	S-12*	1,249	1,115	1,099
	média ±s.e.	1,202 ±0,032	1,228 ±0,060	1,022 ±0,120
K	C-04	0,370	0,368	0,366
	C-08	0,368	0,368	0,365
	C-12	0,369	0,370	0,369
	média ±s.e.	0,369 ±0,000	0,369 ±0,001	0,367 ±0,001

a/ Vide nota a do rodapé da Tabela 6.

b/ As concentrações de ^{15}N nos adubos foram: 3,181 e 3,413 átomos % de ^{15}N para a aquamônia e uréia, respectivamente.

Tabela 9. Nitrogênio na parte aérea de soqueira de cana-de-açúcar SP 70-1143 (3ª soca), proveniente dos fertilizantes: aquamônia (^{15}N) e uréia (^{15}N) - 100 kg/ha de N (NPPF).

Tratamento	NPPF ^a		EUF ^b (%)
	(%)	(kg/ha)	
		(fevereiro/87)	
NK-aquamônia	21,6±6,4	10,3±3,2	10,3
NK-uréia	20,7±3,9	6,6±1,4	6,6
		(março/87)	
NK-aquamônia	24,2±6,5	13,1±3,9	13,1
NK-uréia	26,7±2,8	12,6±1,9	12,6
		(abril/87)	
NK-aquamônia	26,1±4,5	15,2±3,1	15,2
NK-uréia	22,7±2,5	9,4±1,2	9,4
		(maio/87)	
NK-aquamônia	30,3±3,9	14,9±2,9	14,9
NK-uréia	27,4±0,9	14,0±2,0	14,0
		(junho/87)	
NK-aquamônia	23,0±5,1	15,1±3,6	15,1
NK-uréia	28,2±1,0	8,3±1,0	8,3
		(julho/87)	
NK-aquamônia	24,8±2,2	15,3±1,9	15,3
NK-uréia	22,1±2,0	11,5±1,6	11,5
		(agosto/87)	
NK-aquamônia	23,3±3,5	14,6±2,4	14,6
NK-uréia	21,5±3,9	11,0±2,4	11,0
		(novembro/87)	
NK-aquamônia	21,6	13,7±1,1	13,7
NK-uréia	21,5	11,4±0,8	11,4

a/Cada valor representa a média e o desvio padrão da média (m±s.e.) sendo o valor de s.e. obtido pela teoria de propagação de erros.

b/EUF(%) = $\text{NPPF}(\text{kg/ha})/\text{QNA} \times 100$, onde QNA é a quantidade de nitrogênio aplicado (kg/ha).

Os resultados de novembro/87 referem-se aqueles para a parte aérea na colheita final, obtidos conforme descrito em Material e Métodos, item 3.11.2

Tabela 10. Produção de massa verde (t/ha) e massa seca (t/ha) na parte aérea (colmo + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmos subterrâneos e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3a. soca) SP 70-1143, na colheita final (49 corte).

Tratamentos	Massa verde (t/ha)					Massa seca (t/ha)								
	Parte aérea ^{1/}		Parte subterrânea ^{2/}			Parte aérea ^{1/}		Parte subterrânea ^{2/}						
	C+FV	FS	Total	CS	R-25	R-50	Total	C+FV	FS	Total	CS	R-25	R-50	Total
NK-aquamônia	39,7 ^a (5,9)	5,7 (1,1)	45,4 ^a (6,9)	16,3 (2,9)	8,0 (1,7)	1,6 (0,9)	25,9 (3,4)	12,2 (2,1)	5,3 (1,1)	17,5 (3,1)	4,2 (0,8)	1,74 (0,34)	0,33 (0,16)	6,3 (0,6)
NK-uréia	31,0 ^b (6,9)	4,7 (0,7)	35,7 ^b (7,3)	9,0 (3,4)	7,8 (2,3)	1,0 (0,2)	17,8 (5,9)	9,8 (2,2)	4,3 (0,6)	14,1 (2,7)	2,4 (1,0)	1,67 (0,57)	0,18 (0,04)	4,3 (1,6)
K-testemunha	31,4 ^{ab} (7,1)	4,4 (1,9)	35,8 ^b (8,4)	12,2 (5,4)	6,8 (1,0)	1,2 (0,6)	20,2 (5,7)	10,0 (2,4)	4,1 (1,7)	14,1 (3,7)	3,3 (1,4)	1,56 (0,10)	0,22 (0,08)	5,1 (1,5)

^{1/} C+FV - colmos e folhas verdes, FS - folhas secas; os valores entre parêntesis abaixo das médias representam o desvio padrão (s) de 8 repetições por tratamento (parcelas com 5 metros lineares).

^{2/} CS - colmos subterrâneos (0 a 25cm de profundidade); R-25 - raízes (0 a 25cm de profundidade); R-50 - raízes (25 a 50cm de profundidade); os valores entre parêntesis abaixo das médias representam o desvio padrão (s) de 3 repetições por tratamento (parcelas com 0,5 metro linear).

Médias na coluna vertical seguidas de letras distintas, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 11. Teor de nitrogênio na massa seca (%) e extração de nitrogênio (kg/ha) pela parte aérea (colmos + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmos subterrâneos e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3a. soca) SP 70-1143, na colheita final (4º corte).

Tratamentos	Teor de N na massa seca (%)				N-total extraído (kg/ha)										
	Parte aérea 1/			Total	Parte subterrânea 2/				Parte aérea 1/				Parte subterrânea 2/		
	C+V	FS	Total		CS	R-25	R-50	Total	C+V	FS	Total	CS	R-25	R-50	Total
NK-aquamônia	0,40 ^{ab} (0,04)	0,28 (0,02)	0,37 ^{ab} (0,03)	0,65 ^a (0,06)	0,60 ^a (0,03)	0,53 (0,11)	0,63 ^a (0,05)	48,4 ^a (7,7)	14,9 (2,9)	63,3 ^a (10,7)	27,1 ^a (5,7)	10,6 (2,4)	1,57 (0,71)	39,3 ^a (3,1)	
NK-uréia	0,42 ^a (0,04)	0,28 (0,02)	0,38 ^a (0,03)	0,58 ^{ab} (0,06)	0,58 ^a (0,03)	0,49 (0,01)	0,57 ^{ab} (0,04)	41,0 ^{ab} (9,4)	12,0 (1,9)	53,0 ^{ab} (10,4)	13,4 ^b (4,9)	9,7 (3,4)	0,86 (0,14)	24,0 ^b (8,3)	
K-testemunha	0,37 ^b (0,03)	0,27 (0,03)	0,34 ^b (0,02)	0,45 ^b (0,09)	0,50 ^b (0,03)	0,45 (0,04)	0,47 ^b (0,07)	36,9 ^b (6,6)	11,1 (4,7)	48,0 ^b (10,0)	14,6 ^{ab} (5,7)	7,9 (0,3)	1,00 (0,29)	23,5 ^b (5,6)	

1/ C+V - colmo e folhas verdes, FS - folhas secas; os valores entre parêntesis abaixo das médias, representam o desvio padrão (s) de 8 repetições por tratamento (parcelas com 5 metros lineares).

2/ CS - colmos subterrâneos (0 a 25cm de profundidade); R-25 - raízes (0 a 25cm de profundidade); R-50 - raízes (25 a 50cm de profundidade); os valores entre parêntesis abaixo das médias representam o desvio padrão (s) de 3 repetições por tratamento (parcelas com 0,5 metro linear).

Médias na coluna vertical seguidas de letras distintas, diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 12. Concentração de ^{15}N (átomos %) na parte aérea (colmo + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmo subterrâneo e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3a. soca) SP 70-1143 colhidas nas parcelas com fertilizante- ^{15}N na colheita final.

Tratamento	Linha de refer.	Concentração de ^{15}N (átomos %)					
		Parte aérea ^{1/}			Parte subterrânea ^{2/}		
		C+V	FS	CS	R-25	R-50	
NK-aquamônia ^{2/}	L-04	0,925	0,870	0,707	0,620	0,580	
	L-08	1,096	0,959	0,785	0,607	0,628	
	L-12	1,010	0,753	0,795	0,557	0,660	
	m	1,010	0,861	0,762	0,595	0,623	
	s	0,086	0,103	0,048	0,033	0,040	
NK-uréia ^{2/}	S-04	1,020	0,858	0,851	0,536	0,627	
	S-08	1,070	0,865	0,839	0,635	0,687	
	S-12	1,099	0,913	0,863	0,703	0,610	
	m	1,063	0,879	0,851	0,625	0,641	
	s	0,040	0,030	0,012	0,084	0,040	
K-testemunha	C-04	0,365	0,366	0,371	0,374	0,380	
	C-08	0,366	0,366	0,369	0,375	0,379	
	C-12	0,366	0,367	0,377	0,377	0,389	
	m	0,366	0,366	0,372	0,375	0,383	
	s	0,001	0,001	0,004	0,002	0,006	

^{1/} vide observações 1 e 2 no rodapé da Tabela 10.

^{2/} As concentrações de ^{15}N na aquamônia e uréia (100kg/ha de N) foram de 3,181 e 3,413 átomos % de ^{15}N , respectivamente.

Figura 10. Fração do nitrogênio total extraído e contido na parte aérea da soqueira (3ª soca) de cana-de-açúcar SP 70-1143 (% NPPF), em função do tempo (dias) após adubação.

Figura11. Quantidade de nitrogênio na parte aérea da soqueira (3ª soca) de cana-de-açúcar SP 70-1143 derivada do fertilizante (NPPF-kg/ha) e eficiência de utilização do fertilizante (EUF%), em função do tempo após adubação.

1983) e também devido ao conteúdo em alumínio do solo aliado ao baixo nível de Ca^{2+} como pode ser observado na Tabela 2, que proporcionaram bloqueio químico ao desenvolvimento radicular (BARBIERI & RODRIGUES, 1986 e MORELLI et alii, 1988).

Os resultados de teores de nitrogênio na massa seca da parte subterrânea, tanto nos rizomas como nas raízes mostram-se superiores comparados àqueles da parte aérea (Tabela 11). Como a cultura de cana-de-açúcar depende de reserva nutricional para a rebrota das soqueiras, os maiores valores de %N na parte subterrânea deve estar relacionado a esse fato. As quantidades de nitrogênio total extraído (kg/ha) na parte subterrânea contribuem com valores expressivos em relação ao total (parte aérea + parte subterrânea). Considerando a média do nitrogênio total extraído dos três tratamentos, a quantidade de nitrogênio contido nos rizomas e raízes (parte subterrânea) representa 35% do total. Tal constatação pode ter implicações nas interpretações de estudos de respostas da adubação nitrogenada de soqueiras e especialmente em cana planta, uma vez que, a quantidade de nitrogênio da parte subterrânea (rizomas + raízes) localizadas a 0-25cm de profundidade, é incorporada ao solo na reforma do canavial, tornando-se uma fonte potencial de nitrogênio a ser mineralizada por microrganismos heterotróficos do solo, e consequentemente uma fonte de nitrogênio à cana planta.

Deve ser salientado dos resultados das Tabelas 10 e 11 que o tratamento aquamônia mostrou valores médios significativamente maiores aos demais tratamentos na produção de massa verde total da parte aérea e nitrogênio total extraído e contido na parte aérea e subterrânea. Tal fato pode ter sido determinado por aspectos da dinâmica do nitrogênio e

transformações do nitrogênio da aquamônia no solo que possibilitou um melhor rendimento da soqueira adubada com adubo fluído (aquamônia), em relação a uréia (sólido), uma vez que a dose de aplicação foi a mesma (100kg/ha de N).

A Tabela 13 apresenta as quantidades de nitrogênio na parte aérea e subterrânea da soqueira (4º corte) provenientes dos fertilizantes: aquamônia e uréia (NPPF% e kg/ha). Em nenhum caso (NPPF% e kg/ha) pode-se afirmar pelo teste t de student que a diferença entre as médias dos tratamentos diferem significativamente de zero. Dos resultados de NPPF-kg/ha para o total da parte aérea e da subterrânea, o teste t indica somente probabilidade de 90% das diferenças entre as médias dos tratamentos diferirem de zero. Mesmo assim verifica-se nesses resultados que as plantas do tratamento aquamônia mostraram tendência constante em absorver e metabolizar quantidades médias maiores que aquelas que receberam uréia. As quantidades totais de nitrogênio extraído pela soqueira dos adubos aquamônia e uréia (100kg N/ha) foram de 18,4 e 14,4kg/ha, respectivamente (Tabela 13), sendo que 25 a 21% desses totais foram encontrados nos rizomas e raízes (parte subterrânea) e o restante na parte aérea.

A Figura 12 foi elaborada com os resultados do nitrogênio total extraído e do nitrogênio derivado dos fertilizantes (NPPF) que constam das Tabelas 11 e 13, respectivamente. O nitrogênio extraído do fertilizante (NPPF) presente na parte aérea da soqueira adubada com aquamônia (tratamento NK-aquamônia), corresponde quase que exatamente a diferença do nitrogênio total desse tratamento com aquele da testemunha, o que resultou em significância estatística nas médias dos tratamentos pelo

Tabela 13. Nitrogênio na planta proveniente do fertilizante (NPPF-% e kg/ha) na parte aérea (colmo + folhas verdes e folhas secas) e subterrânea (colmo subterrâneo e raízes) da soqueira de cana-de-açúcar (3a. soca) SP 70-1143 no 49 corte.

Tratamento	Parte aérea ^{1/}				Parte subterrânea ^{1/}						Planta toda (kg/ha)	
	C+FY ^{2/}		FS ^{2/}		CS ^{2/}		R-25 ^{2/}		R-50 ^{2/}			
	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)	(%)	(kg/ha)		
NK-aquamônia	22,9	11,1	17,6	2,62	13,9	3,77	7,84	0,83	8,58	0,13	4,73	18,4
	(3,1)	(2,3)	(3,7)	(0,75)	(1,7)	(0,92)	(1,18)	(0,23)	(1,43)	(0,06)	(0,95)	(2,6)
											25%	100%
NK-urêia	22,9	9,4	16,8	2,02	15,8	2,12	8,23	0,80	8,51	0,07	2,99	14,4
	(1,3)	(2,2)	(1,0)	(0,34)	(0,4)	(0,78)	(2,76)	(0,39)	(1,32)	(0,02)	(0,87)	(2,4)
											21%	100%

^{1/} vide observações 1 e 2 no rodapé da Tabela 10.

^{2/} A %NPPF foi obtida conforme descrito em Material e Métodos Item 3.11.2. com três repetições por tratamento.

Figura 12. Nitrogênio nativo do solo (NS) e proveniente do fertilizante (NF) no nitrogênio total extraído pela soqueira (3ª soca) de cana-de-açúcar SP 70-1143 (kg/ha), para a parte aérea e subterrânea.

teste Tukey (Figura 12 e Tabela 11). Já no tratamento NK-uréia, o nitrogênio extraído do fertilizante pela soqueira não representa um incremento significativo em relação ao nitrogênio total da testemunha, tanto para os resultados da parte aérea como do sistema radicular. O nitrogênio total (kg/ha) contido nas raízes e rizomas (parte subterrânea) do tratamento NK-aquamônia difere dos demais e revela-se como o maior valor médio. Deve ser ressaltado desses mesmos resultados que o tratamento com adubo líquido (aquamônia) apresenta maior conteúdo de nitrogênio extraído do solo (NS) (Figura 12) em comparação com o fertilizado com uréia, muito embora as taxas de adubação tenham sido as mesmas (100kg/ha de N). Tal fato pode ter explicação no chamado efeito "priming" aparente da fertilização nitrogenada (JANSSON & PERSON, 1982), onde o nitrogênio da aquamônia sendo imobilizado no solo por ação de microrganismos heterotróficos favoreceu a mineralização do nitrogênio orgânico nativo do solo, resultando em maior disponibilidade desse nitrogênio à soqueira, ou ainda, a aquamônia por algum efeito, estimulou o maior desenvolvimento do sistema radicular da soqueira, que pode explorar um maior volume de solo, com consequente maior absorção do nitrogênio mineral nativo do solo, ou mesmo ambos.

4.2. Volatilização de NH_3 do solo

Na Tabela 14 constam as estimativas de perdas de N-NH_3 volatilizado total (NVT-g N/ha) obtidas em 47 dias de amostragens realizadas a partir da adubação com aquamônia e uréia. As estimativas de

NVT-g N/ha, representam as quantidades de N-NH_3 totais volatilizado do solo (N-NH_3 nativo do solo + N-NH_3 dos fertilizante aplicado) na área compreendida entre sulcos de adubação de uma linha de soqueira, faixa essa onde foram instalados os coletores. Considerando o espaçamento de 25 cm de cada lado do centro da linha de soqueira, essa área corresponde a 35,7 % da área de 1 ha de cana, ou seja: 3.571,5 m².

Os resultados da Tabela 14 evidenciam que nas condições experimentais do trabalho, as quantidades totais de N-NH_3 volatilizado do solo foram baixas e da ordem de 0,15 kg/ha de N-NH_3 , considerando a média dos totais nos dois tratamentos, após 47 dias de incorporadas as fontes nitrogenadas. LARA et alli (1987b) obtiveram perdas por volatilização de NH_3 (N-NH_3 nativo do solo + N-NH_3 dos mesmos fertilizantes) da ordem de 4 kg N-NH_3 /ha, em 60 dias e em condições de baixa pluviometria.

Os fatores que devem ter influido decisivamente nos inexpressivos resultados de volatilização, foram: incorporação dos fertilizantes, e a precipitação pluviométrica de 445 mm de chuva regularmente distribuída nos 47 dias, que provocou arraste em profundidade no perfil do solo do nitrogênio dos fertilizantes, diminuindo com isso a possibilidade de perdas por volatilização.

Como consequência das pequenas quantidades de N-NH_3 retido nos coletores, em cada período de amostragem, não foi possível proceder-se as análises isotópicas de ¹⁵N do N-NH_3 coletado, a fim de se determinarem as frações desse nitrogênio proveniente dos fertilizantes (NVPF). Mesmo assim efetuaram-se análises isotópicas de algumas amostras que continham

Tabela 14. N-NH₃ volatilizado total após 47 dias de incorporados os adubos (uréia e aquamônia), acima do sulco de adubação.

Tratamento	N-NH ₃ volatilizado total (NVT-g N/ha) ^{1/}						
	0-5 ^{2/}	6-12	13-21	22-26	27-33	33-41	41-47
NK-uréia	24 ^{3/} (23)	20 (1)	28 (26)	11 (8)	12 (4)	21 (3)	26 (16)
NK-aquamônia	13 (9)	21 (9)	29 (5)	10 (7)	14 (2)	68 (67)	20 (6)
							142 (27)
							175 (72)

1/ $NVT(g\ N/ha) = M.S.x.m^{-1}.s^{-1}.10^{-3}$

onde: M - massa total da espuma de cada coletor (g)

m - massa de espuma onde determinou-se o valor de x(g)

x - massa de N-NH₃ obtida por destilação e titulação de uma massa m(m.M) de espuma (mg)

S - área compreendida na faixa entre sulcos de adubação, de uma linha de soqueira, onde foram instalados os coletores (3.571,5m²)

s - superfície abrangida pelo coletor individual (0,125m²)

2/ intervalo de tempo em dias entre determinação, a contar da data da adubação

3/ cada valor representa a média e o respectivo desvio padrão entre parêntesis, de 3 repetições por tratamento.

nitrogênio insuficiente, mesmo com grande redução de precisão e exatidão analítica, que evidenciaram para a porcentagem do N-NH_3 volatilizado proveniente dos fertilizantes (%NVPF) valores inferiores a 2%, isso significando que 98% do NVT estimado era proveniente do nitrogênio nativo do solo. Considerando o resultado de 2% para %NVPF e 150 g N/ha como valor médio de NVT, a quantidade de N-NH_3 volatilizado dos fertilizantes (uréia e aquamônia) será da ordem de 3 g N/ha. Esse valor nada representa no balanço final do nitrogênio dos fertilizantes a ser apresentado no final desse trabalho, uma vez que a ordem de grandeza dos desvios padrões das quantidades extraídas do nitrogênio dos fertilizantes pela soqueira e apresentado na Tabela 13, são 1.000 vezes superiores.

4.3. Nitrogênio residual dos fertilizantes no solo

Na Tabela 15 são apresentados os resultados de abundância de ^{15}N (átomos %) e porcentagem do nitrogênio total no solo derivado dos fertilizantes (%NSPF) nas amostras coletadas em 07/05/87 (5 meses após a adubação). Com os resultados de %NSPF dos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, elaborou-se a Figura 13.

O efeito residual dos fertilizantes (%NSPF) foi diferente no perfil do solo considerando os locais de amostragens (sulco de adubação e entrelinha) até 75 e 50 cm de profundidade, nos tratamentos aquamônia e uréia respectivamente. Os maiores valores médios foram encontrados na camada mais superficial (0 a 25cm), no local do sulco de adubação, para os dois tratamentos. Os resultados de %NSPF nas amostras colhidas na entrelinha

evidenciam o movimento lateral do nitrogênio dos fertilizantes no solo. *

Deve ser observado dos resultados, que existe uma tendência do nitrogênio da aquamônia em se concentrar mais na superfície do perfil do solo do que o da uréia. Esta observação sugere que a uréia foi mais facilmente arrastada no perfil do solo pela água de percolação. *

Como após a adubação nitrogenada as precipitações pluviométricas foram intensas, como pode ser observado na Tabela 21, era de se esperar uma maior movimentação na vertical dos fertilizantes. Mesmo assim, verifica-se que a difusão lateral do nitrogênio dos fertilizantes ocorreu, sendo que no tratamento uréia para as profundidades de 75-100 e 100-125 cm são verificados valores de %NSPF maiores que na superfície, que por sua vez são maiores e estatisticamente diferentes que os observados no tratamento com aquamônia. Estes resultados vem novamente reforçar a idéia que o nitrogênio da uréia foi mais facilmente arrastado em profundidade, pela água de percolação, no perfil do solo que o da aquamônia, dentro das condições experimentais em que foi conduzido o trabalho. *

Os resultados médios encontrados para o teor de nitrogênio (%), concentração de ^{15}N (átomos%), nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (%NSPF) e quantidade de nitrogênio no solo do fertilizante (QNSF) em amostras coletadas em 08/12/87, após a retirada da cultura, para as profundidades de 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 e 100-125cm no perfil do solo, encontram-se na Tabela 16.

Pela análise dos resultados médios dos teores de nitrogênio total (%N), verifica-se que não há diferença entre os tratamentos com fertilizantes (aquamônia e uréia) e o tratamento controle, para uma mesma profundidade do perfil do solo. O teor de nitrogênio total decresce com a

profundidade sendo que os primeiros 50cm contém 55% do nitrogênio total do perfil considerado para os diferentes tratamentos.

Os valores médios de %NSPF (Tabela 16 e Figura 14) no perfil do solo evidenciam diferentes comportamento no solo, das fontes nitrogenadas: aquamônia e uréia, dentro das condições experimentais, como constatado nos resultados da 1ª amostragem.

Verifica-se que no tratamento aquamônia, a porcentagem do nitrogênio proveniente do fertilizante (NSPF%), foi superior ao tratamento uréia, com diferenças significativas para a camada superior (0-25cm) e para as camadas inferiores (75-100 e 100-125cm).

No tratamento aquamônia ocorreram diferenças significativas entre os primeiros 25cm e as demais profundidades, verificando-se uma maior porcentagem do nitrogênio do fertilizante na primeira camada (0 a 25cm), sendo este fato devido a aplicação do adubo a 20cm de profundidade, aliado provavelmente a grande imobilização do íon amônio por microorganismos heterotróficos do solo. O nitrogênio disponível à soqueira de cana-de-açúcar foi preferencialmente mais absorvido na camada compreendida até a profundidade de 50cm, onde verificou-se a maior presença de raízes (Tabela 10), além de ter sido lixiviado dessa camada às mais profundas devido ao alto índice pluviométrico que se verificou após a fertilização. A menor porcentagem de nitrogênio proveniente do fertilizante foi encontrado na profundidade de 25-50cm, sendo que em seguida verifica-se um aumento progressivo para as profundidades de 50-75, 75-100 e 100-125cm (Tabela 16 e Figura 14).

Para o tratamento uréia também verifica-se uma maior porcentagem de nitrogênio na camada mais superficial. Para as camadas

Tabela 15. Abundância de ^{15}N (átomo%) e nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (%NSPF) em amostras de solo coletadas em 07/05/87, após 5 meses da adubação.

Local de amostragem	Profundidade (cm)	Tratamentos				
		NK - testemunha ^{1/}		NK-aquânion ^{2/}		NK-uréia ^{2/}
		Conc. de ^{15}N (átomo%)	NSPF (%)	Conc. de ^{15}N (átomo%)	Conc. de ^{15}N (átomo%)	NSPF ^{3/} (%)
Sulco	0- 25	0,366	5,09(2,47) a ^{3/}	0,510	0,491	4,06(3,62) a
	25- 50	0,368	2,49(1,81) a	0,437	0,402	1,16(0,38) a
	50- 75	0,366	2,13(0,88) a	0,427	0,422	1,82(2,17)
	75-100	0,368	0,95(0,30)	0,394	0,443	2,49(2,19)
	100-125	0,367	0,57(0,06)	0,383	0,437	2,31(1,74)
Entrelinha	0- 25	0,366	0,24(0,13) b	0,374	0,370	0,10(0,04) b
	25- 50	0,368	0,25(0,12) b	0,374	0,376	0,28(0,18) b
	50- 75	0,366	0,25(0,07) b	0,374	0,399	1,05(0,12)
	75-100	0,368	0,52(0,56) b ^{4/}	0,382	0,449	2,69(1,61) A
	100-125	0,367	0,30(0,26) B	0,376	0,426	1,95(1,65) A

^{1/} As amostras controle representam a concentração isotópica natural de ^{15}N (média de duas repetições)

^{2/} Os valores de átomo% ^{15}N e %NSPF representam a média de 3 repetições, sendo que para o último parâmetro calculou-se o desvio padrão, apresentado entre parênteses.

^{3/} Médias seguidas por letras minúsculas distintas para a mesma profundidade quando comparados os diferentes locais de amostragem para o mesmo tratamento, diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

^{4/} Médias seguidas por letras maiúsculas distintas para a mesma profundidade, mesmo local de amostragem e diferentes tratamentos, diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

Figura 13. Porcentagem do nitrogênio do solo derivado dos fertilizantes (%NSPF): aquamônia (Aq.) e uréia (Ur.), em diferentes profundidades, na entrelinha e sulco de adubação (amostragem de 07/05/87).

entre 25 e 100cm encontraram-se pequenas quantidades de nitrogênio proveniente do fertilizante, elevando-se na camada compreendida de 100 a 125cm. Como os teores encontrados foram baixos, se comparados à aquamônia, a sua variação em profundidade não foi significativa, caracterizando esses resultados maior perda por lixiviação.

Do nitrogênio no solo proveniente do fertilizante, verifica-se que houve diferença na quantidade de nitrogênio residual entre o tratamento aquamônia e uréia; ocorrendo 22,75kg/ha e 13,50kg/ha do total aplicado (100kg/ha) respectivamente. Dos resultados totais de QNSF, para o perfil considerado nos dois tratamentos, o teste t indica uma probabilidade de 95% da diferença entre esses valores diferirem de zero ($95\% < p < 98\%$). Esta significância foi determinada na camada superficial de 25cm, demonstrando maior lixiviação do nitrogênio da uréia e maior imobilização no caso do nitrogênio da aquamônia, sendo porém que nas camadas seguintes existiram apenas uma tendência da aquamônia apresentar-se em maior quantidade se comparada a uréia.

Dentro do tratamento aquamônia encontrou-se 11,70 kg/ha de N do fertilizante nos primeiros 25cm, o que corresponde a 52% do total residual no perfil. Verifica-se também tendência de aumento na quantidade de nitrogênio no solo do fertilizante na camada de 100 a 125cm em relação as profundidades imediatamente superiores. Para a uréia, encontrou-se 5,57 kg/ha de N do fertilizante na camada 0-25cm correspondendo essa quantidade a 41% do total no perfil considerado. Nota-se também para a camada de 100-125cm de profundidade a mesma tendência de aumento do QNSF observado no tratamento aquamônia.

Tabela 16. Teor de N(%), concentração de ^{15}N (átomos%), nitrogênio no solo proveniente do fertilizante (%NSPF) e quantidade de nitrogênio no solo do fertilizante (QNSF) em amostras de solo coletadas em 08/12/87, após a colheita final.

Tratamento	Profundidade (cm)	Teor de N (%)	Concentração de ^{15}N (átomos%)	NSPF (%)	QNSF (kg/ha)
NK-temunha ^{1/}	0-25	0,030	0,368		
	25-50	0,021	0,369		
	50-75	0,016	0,368		
	75-100	0,014	0,368		
	100-125	0,009	0,368		
NK-aquãmonia ^{2/}	0-25	0,029	0,400	1,13(0,21) a ^{3/} A ^{4/}	11,70(2,71) a A
	25-50	0,021	0,376	0,30(0,08) b	2,25(0,78) b
	50-75	0,016	0,380	0,44(0,16) bc	2,59(0,99) b
	75-100	0,014	0,382	0,50(0,14) bc A	2,54(0,60) b
	100-125	0,013	0,390	0,77(0,17) ac A	3,67(0,80) b
				Total	22,75(3,15)
NK-urêia ^{2/}	0-25	0,027	0,385	0,55(0,21) B	5,57(2,94) a B
	25-50	0,021	0,379	0,36(0,03)	2,71(0,44) ab
	50-75	0,016	0,376	0,27(0,02)	1,58(0,23) ab
	75-100	0,014	0,376	0,28(0,07) B	1,40(0,45) b
	100-125	0,013	0,383	0,49(0,09) B	2,24(0,56) b
				Total	13,50(3,07)

^{1/} As amostras controle representam a concentração isotópica natural de ^{15}N (média de duas repetições)

^{2/} Os valores de N%, átomos% ^{15}N , %NSPF e QNSF representam a média de 3 repetições, sendo que para os dois últimos parâmetros calculou-se o desvio padrão, apresentado entre parêntesis.

^{3/} Médias seguidas por letras minúsculas distintas nas colunas verticais para as diferentes profundidades dentro do tratamento, diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

^{4/} Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas verticais para a mesma profundidade entre tratamentos, diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

Figura14. Porcentagem e quantidade do nitrogênio do solo derivado dos fertilizantes (%NSPF e QNSF-kg/ha): aquamônia e uréia, em diferentes profundidades, após a colheita final (amostragem de 08/12/87).

4.4. Destino do nitrogênio da solução do solo

4.4.1. Determinação da densidade de fluxo de água no solo

Os resultados de densidade de fluxo de água no solo foram obtidos através das:

a) Curvas de umidades (θ) em função do tempo (t) para as profundidades de 40, 60, 90 e 110cm, com as respectivas equações de regressão linear como podem ser vistas na Figura 15 e;

b) Equações de condutividade hidráulica abaixo, obtidas através das equações de regressão anteriores para as diferentes profundidades, considerando-se a umidade inicial aquela verificada no tempo de uma hora após a saturação:

- umidade a 40cm $K(\theta) = 14,579 \cdot e^{65,846 \cdot (\theta - 0,277)}$

- umidade a 60cm $K(\theta) = 26,362 \cdot e^{46,561 \cdot (\theta - 0,320)}$

- umidade a 90cm $K(\theta) = 45,835 \cdot e^{36,580 \cdot (\theta - 0,336)}$

- umidade a 110cm $K(\theta) = 59,141 \cdot e^{39,033 \cdot (\theta - 0,309)}$

Dos resultados de fluxo de água (q cm³/cm²-dia) obtidos para os tratamentos uréia e aquamônia em função do tempo nas profundidades 50 e 100cm, juntamente com os dados de pluviometria na área experimental (Tabela 21), elaboraram-se as Figuras 16 e 17, onde se verifica uma

estreita relação entre o fluxo de água nos perfis de solo e a precipitação.

Verificou-se nos dois tratamentos, que o fluxo de água a 100cm foi sempre maior quando comparados com o fluxo a 50cm e também que o solo em questão possui elevada drenagem.

4.4.2. Concentração de nitrogênio mineral na solução do solo e lixiviação do nitrogênio dos fertilizantes.

Os resultados de concentração de nitrogênio mineral (nitrato + amônio), de abundância de ^{15}N e do nitrogênio derivado dos fertilizantes, na solução do solo, em diferentes datas após a adubação, para as posições de abertura do sulco de adubação e na entrelinha, constam das Tabelas 17, 18 e 19. Com os resultados de concentração de nitrogênio mineral total e nitrogênio mineral derivado dos fertilizantes em ppm na solução do solo, que constam das Tabelas 17 e 19, elaboraram-se respectivamente para as posições de amostragens: sulco de adubação e entrelinha, as Figuras 18 e 19.

O nitrogênio mineral arrastado pelo fluxo de água no perfil do solo, na posição de abertura do sulco de adubação (Figura 18), foi na sua maior parte oriundo dos fertilizantes (uréia e aquamônia). Nos dois tratamentos, as maiores concentrações de nitrogênio mineral na solução do solo na profundidade de 0,5m, ocorreram por volta dos 40 dias após a adubação, enquanto que a 1 m de profundidade somente após 60 dias é que foram verificadas as máximas concentrações. Existiu portanto uma diferença de cerca de 20 dias entre os máximos de concentrações nas duas profundidades para os dois tratamentos. Esses resultados estão indicando arraste em profundidade do nitrogênio dos fertilizantes. Para a profundidade de 1m as

concentrações de nitrogênio mineral na solução do solo do tratamento uréia são claramente superiores as do tratamento aquamônia, significando esses resultados sob o ponto de vista qualitativo, uma maior lixiviação do nitrogênio da uréia. Esses resultados vem reforçar os verificados no estudo da distribuição do nitrogênio residual dos fertilizantes no solo (item 4.3.), podendo-se neste ponto afirmar com grande margem de certeza, que o nitrogênio da uréia foi mais facilmente arrastado em profundidade que o da aquamônia à 1m de profundidade, nas condições experimentais.

Na entrelinha (Figura 19 e Tabela 17) as concentrações de nitrogênio mineral total e nitrogênio fertilizantes na solução do solo foram muito inferiores àquelas da posição de abertura do sulco de adubação. Esta observação vem indicar que a maior movimentação do nitrogênio dos fertilizantes ocorreu na vertical. Como já comentado na análise dos resultados de amostragem de solo (item 4.3.), este fato deveu-se a elevada pluviometria durante o período experimental e consequente fluxo de água descendente no perfil do solo (Figuras 16 e 17).

Com os resultados de concentração de nitrogênio mineral total e derivado dos fertilizantes e dos de densidade de fluxo de água no solo, calcularam-se os fluxos de nitrogênio mineral total (nitrato + amônio) e derivado dos fertilizantes no período de 102 dias após a adubação.

Considerando que o nitrogênio mineral total (solo e fertilizante) arrastados até 0.5 e 1m de profundidade em 102 dias, para o local do sulco de adubação (distante 15cm da linha de soqueira) nos dois tratamentos, representam a movimentação no perfil solo do nitrogênio dos fertilizantes e nitrogênio do solo numa faixa do terreno de 20cm de cada lado da linha de soqueira; em 1 ha de cana essa área corresponde a 30% do total. Na área

restante de 1 ha de cana (70%) o arraste de nitrogênio mineral (nitrogênio do fertilizante e nitrogênio do solo) total no perfil do solo, e no período considerado e nas duas profundidades, foram representados pelos resultados obtidos na entrelinha. Levando em conta a ponderação acima proposta elaborou-se a Tabela 20 com as estimativas de fluxo de nitrogênio dos fertilizantes e do solo (kg/ha) a 0,5 e 1 m de profundidade.

Como já fora dito com os resultados de concentração de nitrogênio mineral da solução do solo, os maiores fluxos de nitrogênio dos fertilizantes ocorreram na posição do sulco de adubação, ou seja, numa faixa de 20 cm de cada lado da linha de soqueira. No tratamento NK-uréia a quantidade total de nitrogênio do fertilizante que foi lixiviado até 1 m de profundidade foi de 28kg de N/ha, muito próximo do fluxo de nitrogênio à 50cm, que foi de 33 kg de N/ha, verificando-se um arraste de 85% do nitrogênio do fertilizante que passou pelo perfil a 50cm. Já no tratamento NK-aquamônia o arraste a 1 m de profundidade foi de apenas 7,5kg de N/ha e representou somente 12% do que foi verificado para 0,5m. Algumas análises foram realizadas na solução do solo, a fim de verificar o possível arraste do composto uréia como tal, não se encontrando vestígios das mesmas.

Considerando que o arraste de nitrogênio dos fertilizantes a profundidade de 1m representou perda do nutriente para fora do perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar, pode-se dizer que nas condições experimentais as perdas por lixiviação do nitrogênio da uréia foram 4 vezes maiores que o da aquamônia.

4.5. Destino do nitrogênio dos fertilizantes: aquamônia e uréia, no sistema solo-planta

O destino do nitrogênio dos fertilizantes aquamônia e uréia no sistema solo-planta, nas condições experimentais do trabalho, foram resumidos abaixo:

Destino	Trat. NK-uréia	Trat. NK-aquamônia
1. Extração pela cultura	14,4 kg/ha	18,4 kg/ha
2. Volatilização de NH_3	0,0 kg/ha	0,0 kg/ha
3. Nitrogênio residual no solo	13,5 kg/ha	22,8 kg/ha
4. Lixiviado durante 3 meses	28,2 kg/ha	7,5 kg/ha
5. Outras perdas ^{a/}	43,9 kg/ha	51,3 kg/ha

a/ Obtida por diferença entre a quantidade aplicada (100 kg/ha) e os resultados de recuperação expressos em 1, 2, 3 e 4.

Como outras perdas pode-se considerar: lixiviação do nitrogênio dos fertilizantes abaixo de 1m de profundidade no solo, durante todo o período experimental; desnitrificação e perdas por volatilização foliar.

Tabela 17. Concentração de Nitrogênio mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) em partes por milhão (ppm) nas amostras de solução do solo nos tratamentos NK-urêia e NK-aquamônia, em dois locais de amostragem e em duas profundidades, em função do tempo após a adubação.

Tempo após adubação (dias)	NK-urêia				NK-aquamônia			
	Solco de Adubação		Entrelinha		Solco de Adubação		Entrelinha	
	50cm	100cm	50cm	100cm	50cm	100cm	50cm	100cm
0	6,4	2,3	6,8	3,5	3,6	4,8	4,7	0,3
4	n.d.	1,2	5,9	0,6	n.d.	3,1	17,2	3,3
7	13,3	1,2	5,0	2,2	15,3	3,6	4,8	2,1
11	n.d.	n.d.	13,9	9,4	55,2	3,0	3,6	4,3
14	24,4	32,2	44,3	n.d.	n.d.	5,7	n.d.	n.d.
18	n.d.	16,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	3,2
21	n.d.	2,1	n.d.	9,1	n.d.	4,6	n.d.	9,4
25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,9	n.d.	n.d.
29	91,0	2,8	14,5	3,0	81,7	3,9	5,6	3,4
32	n.d.	4,0	n.d.	n.d.	120,6	4,5	n.d.	13,0
35	87,5	3,7	12,7	4,4	93,5	3,9	10,1	3,9
40	84,4	7,3	9,6	2,4	84,3	5,3	14,0	3,8
44	86,0	15,7	11,7	5,8	65,4	8,4	12,8	8,0
45	53,5	28,2	11,3	4,9	59,2	13,4	17,2	5,4
49	89,0	36,4	11,9	2,6	7,1	14,8	12,1	4,5
53	54,9	56,5	n.d.	2,3	129,9	25,1	16,5	7,2
60	n.d.	n.d.	11,7	8,4	113,7	n.d.	22,4	8,0
64	15,2	67,1	5,4	4,2	40,0	21,3	14,7	6,2
68	10,6	56,3	5,3	4,5	13,2	13,6	35,0	4,3
71	10,3	55,4	7,9	3,2	24,5	18,9	27,0	4,1
78	6,7	58,0	4,8	2,1	31,2	16,3	23,0	2,8
81	4,7	61,5	4,5	2,2	29,8	17,7	21,3	2,8
84	3,6	52,5	2,6	0,9	15,1	15,2	21,5	6,0
88	3,4	50,4	4,2	2,1	17,1	14,8	16,3	3,6
91	3,1	47,4	3,4	1,7	17,2	14,3	12,6	2,5
95	4,1	47,3	3,8	1,5	16,8	18,4	7,5	3,1
98	n.d.	46,3	2,4	1,8	17,6	18,2	10,0	1,2
102	6,7	39,5	5,3	1,3	11,7	26,2	16,6	2,1

Tabela 18. Concentração de ^{15}N (átomos%) no nitrogênio mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) da solução do solo, nos tratamentos NK-urêia e NK-aquamônia, em dois locais de amostragem e em duas profundidades, em função do tempo após a adubação.

Tempo após adubação (dias)	NK-urêia				NK-aquamônia			
	Sulco de Adubação		Entrelinha		Sulco de Adubação		Entrelinha	
	50cm	100cm	50cm	100cm	50cm	100cm	50cm	100cm
0	0,441	0,423	0,399	n.d.	0,391	0,435	0,378	0,544
4	n.d.	0,577	0,399	0,638	n.d.	1,029	0,457	0,368
7	1,997	0,437	0,406	0,369	2,488	0,852	0,527	0,381
11	n.d.	n.d.	0,392	n.d.	2,486	0,861	0,419	0,673
14	2,211	0,453	n.d.	n.d.	n.d.	1,044	n.d.	n.d.
18	n.d.	0,394	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,380
21	n.d.	0,411	n.d.	0,379	n.d.	0,922	n.d.	0,386
25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,824	n.d.	n.d.
29	2,836	0,510	0,642	0,373	2,448	0,643	0,528	0,380
32	n.d.	0,481	n.d.	n.d.	2,528	1,258	n.d.	0,443
35	2,782	0,768	0,803	0,391	2,591	1,113	0,843	0,427
40	2,812	1,456	0,442	0,408	2,426	1,336	0,901	0,372
42	2,778	2,118	0,424	0,390	2,444	1,675	1,074	0,431
46	2,726	2,530	0,540	0,485	2,365	2,205	1,042	0,612
49	2,735	2,668	0,837	0,505	1,611	2,110	0,972	0,400
53	2,425	2,627	n.d.	0,622	2,324	2,422	0,576	0,476
60	n.d.	n.d.	0,468	0,514	2,300	n.d.	0,784	0,426
63	2,214	2,688	0,486	0,633	2,161	2,108	0,573	0,425
68	2,165	2,715	0,498	1,265	2,082	2,269	0,609	0,486
71	2,019	2,786	0,610	0,608	2,137	2,192	0,586	0,451
78	1,670	2,707	0,501	0,488	2,077	2,102	0,568	0,436
81	1,330	2,667	0,476	0,485	2,070	2,147	0,588	0,438
84	1,785	2,768	0,553	0,630	1,952	2,295	0,607	0,391
88	1,694	2,752	0,690	0,579	2,062	2,359	0,660	0,457
91	1,599	2,718	0,549	0,606	2,044	2,310	0,664	0,436
95	1,559	2,726	0,776	0,646	2,134	2,374	0,604	0,543
98	n.d.	2,711	0,783	0,706	1,804	2,408	0,725	0,547
102	1,226	2,599	0,729	0,541	0,448	2,005	0,490	0,449

Tabela 19. Concentração de nitrogênio mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) em partes por milhão (ppm) proveniente do fertilizante nas amostras de solução do solo nos tratamentos NK-uréia e NK-aquânôia, em dois locais de amostragem e em duas profundidades, em função do tempo após a adubação.

Tempo após adubação (dias)	NK-uréia				NK-aquânôia			
	Sulco de Adubação		Entrelinha		Sulco de Adubação		Entrelinha	
	50cm	100cm	50cm	100cm	50cm	100cm	50cm	100cm
0	0,16	0,04	0,07	n.d.	0,03	0,12	0,02	0,02
4	n.d.	0,08	0,06	0,05	n.d.	0,73	0,56	0,00
7	7,12	0,03	0,07	0,00	11,5	0,62	0,27	0,01
11	n.d.	n.d.	0,12	n.d.	41,6	0,53	0,07	0,47
14	14,8	0,92	n.d.	n.d.	n.d.	1,37	n.d.	n.d.
18	n.d.	0,15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,02
21	n.d.	0,03	n.d.	0,04	n.d.	0,91	n.d.	0,07
25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,80	n.d.	n.d.
29	73,8	0,13	1,31	0,01	60,4	0,38	0,32	0,02
32	n.d.	0,15	n.d.	n.d.	92,6	1,43	n.d.	0,36
35	69,4	0,49	1,82	0,04	73,9	1,03	1,71	0,08
40	67,8	2,61	0,24	0,03	61,7	1,83	2,66	0,01
42	68,1	9,03	0,22	0,05	48,3	3,91	3,22	0,18
46	41,4	20,0	0,65	0,19	42,0	8,75	4,13	0,47
49	69,2	27,5	1,84	0,12	3,1	9,17	4,11	0,06
53	37,1	41,9	n.d.	0,19	90,4	18,3	1,23	0,30
60	n.d.	n.d.	0,39	0,41	78,1	n.d.	3,33	0,17
63	9,64	51,1	0,21	0,37	25,5	13,2	1,08	0,13
68	6,26	43,4	0,23	1,33	8,05	9,19	3,18	0,18
71	5,91	44,0	0,63	0,25	15,4	12,3	2,14	0,13
78	2,87	44,6	0,21	0,08	19,0	10,1	1,65	0,09
81	1,49	46,4	0,16	0,09	18,0	11,2	1,68	0,07
84	1,68	41,4	0,16	0,08	8,51	10,4	1,84	0,05
88	1,48	39,5	0,45	0,15	10,3	10,5	1,70	0,12
91	1,25	36,6	0,20	0,13	10,2	9,88	1,33	0,06
95	1,61	36,6	0,51	0,14	10,5	13,1	0,63	0,19
98	n.d.	35,6	0,33	0,20	8,99	13,2	1,28	0,12
102	1,89	29,0	0,64	0,07	0,34	15,3	0,73	0,06

Tabela 20. Estimativa de lixiviação do nitrogênio mineral ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) dos fertilizantes e do nitrogênio nativo do solo, para duas profundidades (50 e 100cm), nos tratamentos NK-uréia e NK-aquamônia, após 102 dias da adubação nitrogenada.

Profundidade (cm)	NK-uréia			NK-aquamônia		
	Sulco de adubação ^{a/}	Entrelinha ^{b/}	Total	Sulco de adubação ^{a/}	Entrelinha ^{b/}	Total
50	N-fertilizante	31,8	0,9	32,7	58,1	5,5
	N-solo	12,8	33,0	45,8	23,8	37,0
	N-total	44,6	33,9	78,5	81,9	42,5
100	N-fertilizante	27,9	0,3	28,2	7,1	0,4
	N-solo	19,0	10,3	29,3	7,7	18,3
	N-total	46,9	10,6	57,5	14,8	18,7
						33,5

^{a/} Representa 30% da área de 1ha de plantio de cana com espaçamento de 1,40m.

^{b/} Representa 70% da área de 1ha de plantio de cana com espaçamento de 1,40m.

Tabela 21. Precipitação e temperatura média mensal (dezembro de 1986 a outubro de 1987) do local.

Mês/Ano	Precipitação mensal (mm de H ₂ O)	Temperatura (°C)		
		Maxima ^{a/}	Mínima ^{a/}	Média
dezembro/1986	304	31,8±2,0	19,6±1,2	25,7
janeiro/1987	336	33,6±4,2	19,9±1,5	26,8
fevereiro/1987	193	32,3±2,3	19,8±1,2	26,1
março/1987	50	32,3±3,0	19,4±3,3	25,9
abril/1987	26	31,6±3,6	17,9±1,9	24,8
maio/1987	197	26,1±5,0	14,1±2,7	20,1
júnho/1987	92	26,2±3,6	10,4±3,3	18,3
julho/1987	23	29,4±3,6	11,5±1,6	20,4
agosto/1987	13	27,8±6,2	10,6±3,9	19,2
setembro/1987	59	28,8±5,6	13,1±2,2	21,0
outubro/1987	88	32,5±5,4	16,5±2,0	24,5

a/ média e desvio padrão (m±s) dos valores diários.

Figura 15. Umidade do solo (θ) em função do tempo (t) para as profundidades de 40, 60, 90 e 110cm obtidas no campo no período de 20 dias após a saturação do solo.

Figura 16. Precipitação pluviométrica e densidade de fluxo de água no solo (q) em duas profundidades (50 e 100cm) no tratamento NK-aquamônia durante 102 dias após a adubação.

Figura 17. Precipitação pluviométrica e densidade de fluxo de água no solo (q) em duas profundidades (50 e 100cm) no tratamento NK-uréia durante 102 dias após a adubação.

Tratamento NK-uréia

Tratamento NK-âmonia

Figura 18. Concentração (ppm) de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) na solução do solo proveniente dos fertilizantes (NF) e do N nativo do solo (NS), em função do tempo e em duas profundidades, para o local do sulco de adubação.

Tratamento NK-uréia

Tratamento NK-açúcar

Figura 19 Concentração (ppm) de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) na solução do solo proveniente dos fertilizantes (NF) e do N nativo do solo (NS), em função do tempo e em duas profundidades na entrelinha.

5. CONCLUSÕES

Da análise dos resultados apresentados, pode-se concluir que:

- A produção de massa verde total, massa seca total e nitrogênio total na soqueira de cana-de-açúcar de 3ª soca, demonstraram que o tratamento aquamônia apresentou sempre uma maior produção quando comparado ao tratamento uréia e testemunha.
- Não houve diferenças significativas entre as fontes aquamônia e uréia, para as quantidades de nitrogênio absorvidas dos fertilizantes. Dos 100kg de N/ha aplicados no solo, 18,4 e 14,4kg de N/ha foram absorvidos pelas plantas dos tratamentos aquamônia e uréia, respectivamente, sendo que 25 e 21% do nitrogênio extraído foram encontrados nos rizomas e raízes (parte subterrânea) e o restante na parte aérea.
- Sob condições de alta pluviosidade aliada à incorporação dos fertilizantes no solo a quantidade total de N-NH_3 volatilizado do solo em 47 dias após a adubação foi da ordem de 0,15kg/ha e a dos fertilizantes aquamônia e uréia foi de 3g/ha, resultando em valores inexpressivos em relação ao balanço total.

- A aquamônia apresentou maior efeito residual no solo que a uréia após 5 e 12 meses da adubação. Após 12 meses da adubação o nitrogênio residual dos fertilizantes no solo, considerada a profundidade de 1,25m foi de 22,8 e 13,5kg de N/ha da aquamônia e uréia respectivamente.
- As maiores quantidades de nitrogênio residual dos fertilizantes, nas duas épocas de amostragem, foram sempre encontradas na camada superficial do solo (0 a 25cm).
- No intervalo de tempo de 102 dias após a adubação, o nitrogênio mineral arrastado em profundidade no solo a 15cm da linha de cana (posição de abertura do sulco de adubação), foi na sua maior parte oriundo dos fertilizantes aquamônia e uréia, sendo essas concentrações 10 vezes superiores às verificadas a 70cm da linha de cana (entrelinha).
- Para as determinações efetuadas a 15cm da linha de cana, existiu uma defasagem de cerca de 20 dias entre os máximos de concentrações de nitrogênio mineral a 0,5 e 1m de profundidade, sendo esses máximos verificados aos 40 e 60 dias respectivamente.
- No intervalo de tempo de 102 dias após a adubação a quantidade de nitrogênio da uréia lixiviado a 1m de profundidade foi aproximadamente a mesma verificada a 0,5m (28,2 e 32,7kg de N/ha respectivamente). Para o nitrogênio da aquamônia o arraste a 1m de profundidade representou somente 12% da quantidade lixiviada a 0,5m (7,5 e 63,6kg de N/ha respectivamente).

- Considerando que o arraste do nitrogênio dos fertilizantes à profundidade de 1m representa perda do nutriente para fora do volume de solo explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar, as perdas por lixiviação de nitrogênio da uréia foram 4 vezes maiores que o nitrogênio da aquamônia, nas condições experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO SILVA, C. Movimento e perdas por lixiviação de nitrogênio $\text{CO}(\text{}^{15}\text{NH}_2)_2$ em um Alfisol cultivado com milho (*Zea mays L.*) Piracicaba, 1982. 59p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP)
- AZEREDO, D.F. & MANHÃES, M.S. Adubação orgânica. In: ORLANDO Fº, J., coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 211-25. (Coleção Planalsucar, 2).
- BACCHI, O. O. S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO Fº J., coord. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil. Piracicaba, I.A.A./PLANALSUCAR, 1983. p. 25-40. (Coleção Planalsucar, 2).
- BARBIERI, J. L. & RODRIGUES, J.C.S. Resultados analíticos de solos: amostragem, determinação, interpretação, relatórios por computador e banco de dados. In: SEMINARIO DE TECNOLOGIA AGRONDMICA III. Piracicaba-SP. Anais, COPERSUCAR, novembro de 1986, p.245-274.

BARTOLOMEW, W.V.; NELSON L. B.; WERKMAN C. H. The use of nitrogen isotope ^{15}N in field studies with oats. Agron. J., Madison, 42:100-103, 1950.

BARTOLOMEW, W.V. ^{15}N in research on the availability and crop use of nitrogen. In: IAEA. Nitrogen-15 in soil-plant studies. Vienna, 1971. p.1-20.

BARTOLOMEW, W.V. El nitrogeno y la materia organica de los suelos. In: DROSDOFF, M. et alii, ed. Suelos de las regiones tropicales húmedas. Buenos Aires, Ed. Marymar, 1975. p. 81-107.

BREMNER; J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. et alii ed. Methods of soils analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. cap. 83, p.1149-78.

BURR, G.O. & TAKAHASHI, D.T. Absorption and distribution of nutrients in sugarcane. Part I. Nitrogen. The Hawaiian Planters' Record, Honolulu, 55(1):3-10, 1955.

CALVACHE, A.M.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Utilização do nitrogênio fertilizante por dois híbridos de milho. Campinas. Fundação Cargill, 1982.

CARNAUBA, B.A.A.; SANTOS, C.D.; VICTORIA, R.L.; COSTA, A.C.S. Efeito da vinhaça na dinâmica do sulfato de amônia- ^{15}N aplicado em um oxisol

(LVA). In: SEMINAR ON THE USE OF NUCLEAR TECHNIQUES IN STUDIES OF SOIL FERTILITY AND FERTILIZERS, Piracicaba, 1983. Abstracts. Piracicaba, OEA/CIEN/USP/CENA/CNEN, 1983.

CARNAUBA, B.A.A. Eficiência de utilização e efeito residual da uréia- ^{15}N em cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em condições de campo. Piracicaba, 1989. 193p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

CHAN, Y. & WENG, T. Use of ^{15}N to study the efficacy of nitrogen for sugarcane. I. Nitrogen recovery on spring planting cane. Taiwan Sugar, Taipei, 30(5):161-4, Sept/Oct., 1983.

CHEONG, Y.W.Y.; NG KEE KWONG, K.F.; CAVALOT, P.C. Comparative study of ammonium and nitrate fertilizers in two soils of Mauritius cropped with sugarcane. In: RESEARCH COORDINATION MEETING: SOIL NITROGEN AS FERTILIZER OR POLLUTANT, Piracicaba, 1978. Proceedings and Report. Vienna, IAEA, 1980. p. 351-67. (Panel proceedings series).

CHO, C. M.; PROKSCH, G. ; CALDWELL, A.C. The effect of placement on the utilization of nitrogen by maize as determined by ^{15}N -labelled ammonium sulphate. In: ISOTOPES IN PLANT NUTRITION AND PHYSIOLOGY, Vienna, 1967. p. 47-53. Proceedings and Report. Vienna, IAEA, 1967.

CLEMENTS, H.F. Sugarcane crop logging and crop control; principles and

practices. Honolulu, University Press of Hawaii, 1980. 520p.

CORBINI, J.L. Aplicação de fertilizantes líquidos na cultura de cana-de-açúcar. STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba-SP, 2(2):52-57, Nov./Dez. 1983.

DÖBEREINER, J.; DAY, J.M.; DART, P.J. Fixação do N na rizosfera de *Paspalum notatum* e da cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 8:153-7, 1973.

ESPIRONELO, A.; CAMARGO, A.P.; NAGAI, V.; LEPSCH, I.F. Efeitos de nitrogênio e fósforo como complementação de vinhaça em soca de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TECNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2, Rio de Janeiro, 1981. Anais, Rio de Janeiro, STAB, 1981. pag. 128-39.

FURTADO, N.F. Sistema de unidades dos erros. In: SEARS F. W. Física, Rio de Janeiro, Livro Técnico cap.2, 1967. p.61-103.

GLORIA, N.A.; FONTANARI, N.; ALONSO, O.; HENRIQUE, J.L.P.; GERALDI Fº, L.; ALBUQUERQUE, F.C. Complementação nitrogenada de soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3ª ed. e Conversão da ACTALAC. V. São Paulo. 1984. Anais da STAB, São Paulo, 1984. p. 74-7.

HELLIOTT, L.F., McCALLA, T.M.; MIELKE, L.N. ; TRAVIS, T.A. Ammonium,

nitrate and total nitrogen in the soil water of feedlot and field soil profiles. Appl. Microbiol., Maryland, 28: 810-813, 1972.

I.A.E.A. International Atomic Energy Agency. Tracer manual on crops and soils. Vienna, 1976. 277p. (Technical Report Series nº121).

IVANKO, S. Recent progress in the use of ^{15}N in research on nitrogen balance studies in soil-plant relationships. In: SYMPOSIUM ON THE USE OF ISOTOPES AND RADIATION IN RESEARCH ON SOIL-PLANT RELATIONSHIPS INCLUDING FORESTRY, Vienna, 1971. Proceedings, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1972. p. 483-497.

JANSSON, S. L. & PERSSON, J. Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: STEVENSON, F. J. (ed.). NITROGEN IN AGRICULTURE SOILS. Madison, Wisconsin USA, American Society of Agronomy, Inc.. 1982. p. 229-252.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo, Ceres, 1985. 492p.

LARA C., W. A. R. Calibração de um método para estimar perdas por volatilização de N-NH_3 de fertilizantes nitrogenados aplicados no solo. Piracicaba, 1987a. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

LARA C., W. A. R., VICTORIA, R.L. ; TRIVELIN, P.C.O. Determinação da

eficiência de absorção de N-NH_3 volatilizado do solo em dois absorvedores semi-abertos estáticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, XXI. Campinas - S.P., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, julho de 1987, p. 105-106 (resumo nº 105), 1987b.

LARA C., W.A.R., TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B. ; PICCOLO, M.C. Volatilização de amônia da uréia- ^{15}N e aquamônia- ^{15}N aplicadas na cultura da cana-de-açúcar em condições de campo. Stab - Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 6(1) : 8, 1987c.

LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 40-45, 1978.

LIBARDI, P.L.; REICHARDT K.; NIELSEN D.R.; BIGGAR J.W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 44:3-7, 1980.

LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K.; CERVellini, A. Nitrogen cycling in a ^{15}N -fertilized bean (*Phaseolus vulgaris* L.) crop. Plant and Soil. The Hague, Boston, London, 67:193-208, 1982.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Impresso na gráfica do CENA/USP, Piracicaba, 1984. 232p.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo, São Paulo, Ceres, 1976. p.203-252.

MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Adubos e Adubação 3a. ed., São Paulo, Ceres, 1981. p. 31-95.

MEIRELLES, N.M.F., LIBARDI, P.L. ; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 4: 83-88, 1980.

MORELLI, J. L., NELLI, E.L.; DEMATTE, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. Stab - Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 6 (2): 24-31, 1987.

NEPTUNE, A.M.L. Efeito de diferentes épocas e modos de aplicação do N na produção de milho, na quantidade de proteína, na eficiência do fertilizante e na diagnose foliar, utilizando o sulfato de amônio ^{15}N . Anais da ESALQ, 34:515-539, 1977.

NEPTUNE, A.M.L. & MURADKA, T. Aplicação de uréia- ^{15}N em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar carioca. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 2:51-55, 1978.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO, E. JR. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76 em

função da idade em solos do estado de São Paulo. Boletim Técnico PLANALSUCAR, Piracicaba, 2:1-128, 1980.

PATWARY, S.U. & RAICOVICH, Z. Movement and chemical distribution of isotopic nitrogen down the soil profile. Plant and Soil 557, p. 471-474, 1980.

PENNA, M.J. & FIGUEIREDO, A.A.M. Aquamônia x uréia em soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. In: SEMINARIO DE TECNOLOGIA AGRONOMICA, 2. Piracicaba. Anais, São Paulo. COPERSUCAR, 1984. p. 180-195.

PINNA, J.C. & VALDIVIA, S.V. Nitrogen volatilization from urea applied as a top dressing or buried in calcareous sugarcane soils. In: CONGRESSO OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGARCANE TECHNOLOGISTS. 16, São Paulo, 1977. Proceedings. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978. p.1455-61.

REICHARDT, K., LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L. ; G.P. VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 17-20, 1979.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; URQUIAGA C., S.S. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGROCHEMICALS: FATE IN FOOD AND THE ENVIROMENTAL USING ISOTOPE TECHNIQUES, Rome 1982.

Proceedings, Vienna, IAEA 1982. p.177-90.

RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 10:37-43, 1986.

RUSCHEL, A.P.; MATSUI, E.; ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. Closed system nitrogen balance studies in sugarcane utilizing ^{15}N -ammonium sulphate. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGARCANE TECHNOLOGISTS 16. São Paulo. Proceedings. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978. p. 1539-47.

RUSCHEL, A.P. & VOSE, P.B. Nitrogen cycling in sugarcane. Plant and Soil, The Hague, Boston, London 67(1-3):139-146, 1982.

RUSSEL, E.W. Soil condition and plant growth. 10th ed., London, Longman, 1977. 849p.

SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. II. Deslocamento vertical e horizontal de $\text{NO}_3\text{-N}$ e $\text{NH}_4\text{-N}$ no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 19(9):1103-08, Set. 1984.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em

cana-de-açúcar. I. Eficiência na utilização de uréia (^{15}N) em aplicação única e parcelada. Pesquisa. Agropecuária. Brasileira. Brasília, 19(8):943-949, Ago. 1984.

SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in the tropics. New York, John Wiley, 1976. p. 184-222.

SERRA, G.E. Aplicação de vinhaça complementada com nitrogênio e fósforo na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). Piracicaba, 1979. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

SILVA, L.C.F.; MARAFON, J.J.; BELTRAME, J.A.; ARAGÃO, J.A.; ORLANDO FILHO, J. - Adubação fluída em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Brasil Açucareiro vol. 106, nº 3, p. 27-32, 1988.

SILVEIRA, J.A.G. Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) cultivada em condições de campo. Piracicaba, 1985. 152p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

TAKAHASHI, D. T. ^{15}N - Nitrogen field studies with sugarcane. The Hawaiian Planters' Record, Honolulu, 57(2):178-222, 1964.

TAKAHASHI, D.T. Effect of amount and timing of the fate of fertilizer nitrogen in lysimeter studies with ^{15}N . The Hawaiian Planters' Record.

Honolulu, 57(4):292-309, 1967.

TAKAHASHI, D.T. Fate of ammonium and nitrate fertilizer in lysimeter studies with ^{15}N . The Hawaiian Planters' Record, Honolulu, 58(1):1-11, 1968.

TAKAHASHI, D.T. Fate of unrecovered fertilizer nitrogen in lysimeter studies with ^{15}N . The Hawaiian Planters' Record, Honolulu, 58(7):95-101, 1970.

TRIVELIN P.C.O., MATSUI, E.; SALATI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, CENA, 1973. 41p. Boletim Técnico, nº 002.

TRIVELIN P.C.O., RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar do nitrogênio dos adubos: uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N) incorporados ao solo em área fertilizada com vinhaça. In: SEMINARIO DE TECNOLOGIA AGRONOMICA, III. Piracicaba S.P. 1986. Anais, COPERSUCAR, novembro de 1986. p. 287-301.

TRIVELIN P.C.O., RODRIGUES, J.C.S. ; VICTORIA, R.L. Aproveitamento pela soqueira de cana-de-açúcar (2ª soca) do nitrogênio residual dos adubos: uréia (^{15}N) e aquamônia (^{15}N), aplicados no cultivo após o 1º corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIAS DO SOLO, XXI Campinas, 1987. Anais. Campinas, S.P., julho de 1987a. p.104-105 (nº

104).

TRIVELIN, P.C.O., VICTORIA, R.L.; LARA C., W.A.R.; KORNDORFER, G.H. ;
PALHARES, A.L. Aproveitamento do nitrogênio dos adubos:
aquamônia (^{15}N) e ureeia (^{15}N), pela soqueira da cana-de-açúcar, de
início de safra, cultivada em área com aplicação de vinhaça.
Piracicaba, FEALQ/CENA/COPERSUCAR, 1987b 45p. (Relatório de
Prestação de Serviços de Pesquisas Tecnológicas).

URQUIAGA C., S.S., - Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta
na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) cultivar carioca.
Piracicaba, 1982. 154p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz"/USP)

URQUIAGA C., S.S., LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; MORAES, S.O. ;
VICTORIA, R.L. Lixiviação do nitrogênio proveniente do solo e do
fertilizante $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ durante o ciclo de uma cultura de feijão.
Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 21(1):25-31, Jan. 1986.

VALDIVIA V., S. - Nitrogen gains and losses in sugarcane (*Saccharum spp*)
agro-ecosystems on the coast of Peru. Plant and Soil, The Hague,
Boston, London, 67(1-3):147-156, 1982.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; COUTINHO, E.L.M. - Uso eficiente de
fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPOSIO

BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA,
Brasileira, 1984. Anais. Brasília, EMBRAPA, 1984.