

**EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E EFEITO RESIDUAL DA URÉIA -  $^{15}\text{N}$  EM  
CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp), EM CONDIÇÕES DE CAMPO.**

**BEATRIZ APARECIDA AMARAL CARNAÚBA**  
Engenheira-Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. REYNALDO LUIZ VICTORIA

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

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Fevereiro - 1989

Ao meu companheiro *TARCIZO JÚNIOR*,  
Aos meus queridos filhos *DANIEL E FERNANDO*,  
que fazem dos meus sonhos realidade...

D E D I C O

Aos meus pais queridos,

*A N T Ô N I O   E   A D A I R,*

que me mostraram em todos os momentos,

com sua coragem e determinação,

como agir diante da Vida,

e

Aos meus queridos sogros e também pais,

*T A R C I Z O   E   L Y G I A,*

que se fizeram presentes em todas as

horas difíceis, ajudando sempre,

pedindo nada...

MINHA PROFUNDA GRATIDÃO E HOMENAGEM

### AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao professor Dr. *Eneas Salati*, a minha introdução no mundo da pesquisa, e ao professor Dr. *Reynaldo Luiz Victoria*, a orientação necessária a viver nesse mundo.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e Centro de Energia Nuclear na Agricultura, em especial à Seção de Isótopos Estáveis e Hidrologia, a oportunidade de cursar o Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear, a bolsa de estudos oferecida durante o curso.

Aos professores doutores Srs. Paulo C. O. Trivelin, José Paulo Stupiello e Valdomiro C. Bittencourt, as preciosas sugestões.

Ao técnico de laboratório, e grande amigo, Geraldo de Arruda Júnior, a colaboração na coleta de amostras, análises químicas e isotópicas.

À amiga Paula Pinheiro Padovese, o constante auxílio durante a fase experimental.

A todos os amigos da Seção de Hidrologia e Isótopos Estáveis do CENA, na pessoa do Sr. José Aurélio Bonassi, o companheirismo.

À Seção de Radioquímica e Química Analítica do CENA, na pessoa do Sr. Dr. Francisco Krug, o auxílio nas análises de nitrogênio.

À profesora Dr<sup>ª</sup>. Cristina Nogueira, o auxílio nas análises e interpretações estatísticas.

Aos amigos Adriana C. Biagioni Lopes, Marcelo Zacharias Moreira, Miguel A. Baldessin e Carlos Reys Vukomanovic, a ajuda no manuseio dos computadores.

As bibliotecárias Sílvia M. Zinsly, Liamar D. Antonioli, Lidionete P. Bragion e, em especial, à Cristina Ferreira a ajuda nas pesquisas e citações bibliográficas.

Qualquer atividade humana envolve a participação de incontáveis pessoas, e este trabalho não foi uma exceção à regra. Dada a impossibilidade de se citarem todos os nomes dos que me auxiliaram, manifesto aqui o meu profundo reconhecimento àquelas pessoas que, na retaguarda, trabalham a fim de que eu e tantos outros realizemos nossos objetivos.

A autora.

## A TERRA

A terra se separa da terra, forçada e contrariada.

E a terra anda sobre a terra com orgulho e presunção.

E a terra constrói com terra palácios e fortalezas e templos.

E a terra inventa, com a terra, lendas e enciclopédias e códigos.

Depois, a terra se enfada com as realizações da terra e passa a tecer, com vibrações da terra, sombras e ilusões e sonhos .

Depois, o sono da terra vence as pálpebras da terra, e ela dorme profunda e eternamente.

Por fim, a terra dirige-se à terra, dizendo: "Sou o útero e o túmulo, e permanecerei útero e túmulo até que as estrelas se apaguem e os sóis virem pó.

*Gibran Khalil Gibran.*

## SUMÁRIO

|  | Pagina |
|--|--------|
| LISTA DE FIGURAS .....   | xi     |
| LISTA DE TABELAS .....   | xv     |
| RESUMO .....   | xvi    |
| SUMMARY .....  | xviii  |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 1      |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA .....   | 4      |
| 2.1. Importância do nitrogênio .....   | 4      |
| 2.2. O nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera ..                                      | 5      |
| 2.2.1. Fontes de N .....   | 5      |
| 2.2.2. Entradas de N ao sistema solo-planta ....   | 6      |
| 2.2.2.1. Fixação biológica .....   | 6      |
| 2.2.2.2. Fixação industrial .....  | 10     |
| 2.2.2.3. Outras entradas de N .....  | 11     |
| 2.2.3. Destino do N no sistema com cana-de-açú-<br>car .....                               | 11     |
| 2.2.4. Algumas considerações sobre o ciclo do N<br>no ecossistema com cana-de-açúcar ..... | 17     |
| 2.2.5. Formas disponíveis de N à cana-de-açúcar.   | 20     |
| 2.3. Importância do N à cana-de-açúcar .....   | 22     |
| 2.3.1. Algumas considerações sobre a planta ....   | 23     |



|  | Página    |
|--|-----------|
| 2.3.2. Mecanismos fisiológicos de absorção e<br>utilização do N .....  | 24        |
| 2.3.3. Sintomas de deficiência e excesso de N ..   | 33        |
| 2.4. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar e produ-<br>tividade .....                                       | 34        |
| 2.4.1. Aspectos gerais .....   | 35        |
| 2.4.2. Alguns possíveis esclarecimentos sobre a<br>resposta da cana-planta à adubação nitro-<br>genada ..... | 39        |
| 2.4.3. Uso de $^{15}\text{N}$ para avaliação da recuperação<br>do N aplicado via fertilizante .....          | 44        |
| 2.5. Amostragem da planta .....  | 49        |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>52</b> |
| 3.1. Local .....   | 52        |
| 3.2. Solo .....  | 52        |
| 3.3. Variedade da cana-de-açúcar e origem das mudas .  | 53        |
| 3.4. Plano experimental .....  | 55        |
| 3.4.1. Preparo do solo e instalação da cultura .   | 57        |
| 3.4.2. Adubação N-P-K .....  | 59        |
| 3.4.2.1. Cana-planta .....   | 59        |
| 3.4.2.2. Cana-soca .....   | 60        |
| 3.4.3. Enriquecimento e origem da uréia- $^{15}\text{N}$ ....  | 60        |
| 3.4.4. Amostragem .....  | 62        |
| 3.4.4.1. Época de amostragem .....   | 62        |
| 3.4.4.2. Coleta de material para análise   | 62        |
| 3.4.5. Análises e determinações .....  | 65        |

|   | Página    |
|---|-----------|
| 3.4.5.1. Massa verde, umidade e <u>massa</u><br>seca .....  | 65        |
| 3.4.5.2. Preparo das amostras para aná-<br>lise de N-total e concentração<br>em átomos (%) de $^{15}\text{N}$ ..... | 67        |
| 3.4.5.3. Teor de nitrogênio total .....   | 68        |
| 3.4.5.4. Concentração em átomos % $^{15}\text{N}$ ..  | 69        |
| 3.4.5.5. Nitrogênio derivado do fertili-<br>zante .....   | 70        |
| 3.4.5.6. Recuperação ou eficiência de<br>utilização do fertilizante mar-<br>cado .....                              | 72        |
| 3.4.5.7. Quantidade de nitrogênio na<br>planta derivada do fertilizante   | 73        |
| 3.4.5.8. Nitrogênio extraído pela parte<br>aérea da cultura .....   | 73        |
| 3.4.6. Outras informações .....   | 74        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>76</b> |
| 4.1. Algumas informações .....  | 76        |
| 4.2. Produção de massa .....  | 76        |
| 4.3. Nitrogênio total (%) .....   | 79        |
| 4.3.1. Cana-planta e soqueira .....   | 79        |
| 4.4. Concentração em átomos % $^{15}\text{N}$ e nitrogênio deri-<br>vado do fertilizante .....                      | 88        |
| 4.4.1. Cana-planta .....  | 88        |
| 4.4.2. Cana-soca .....  | 97        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.5. Nitrogênio total extraído pela cultura .....                                       | 109        |
| 4.6. Recuperação ou eficiência de utilização do fertilizante marcado (EUF) .....        | 110        |
| 4.6.1. Cana-planta .....  | 110        |
| 4.6.2. Cana-soca .....  | 112        |
| 4.7. Quantidade de nitrogênio na planta derivada do fertilizante (QNDF) .....           | 115        |
| 4.7.1. Cana-planta e cana-soca .....  | 115        |
| 4.8. Efeito residual do $^{15}\text{N}$ -uréia aplicado à cana-planta na soqueira ..... | 118        |
| 4.9. Efeito global da aplicação de $^{15}\text{N}$ .....                                | 118        |
| 4.10. Considerações finais .....  | 127        |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>  | <b>130</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>133</b> |
| <b>APÊNDICE .....</b>   | <b>170</b> |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura   | Página |
|--|--------|
| 1. Ciclo do nitrogênio no ecossistema com cana-de-açúcar .....   | 21     |
| 2. Esquema do plano experimental para a cana-planta (safra 82/83) .....  | 56     |
| 3. Esquema do plano experimental para a cana-soca (safra 83/84) .....  | 58     |
| 4. Acúmulo de massa seca (g) na parte aérea durante o ciclo da cana-soca, var. NA 56-79 ....   | 78     |
| 5. Teor de N total (%) na folha +1, em função da idade, em cana-planta (var. NA 56-79) .....   | 80     |
| 6. Teor de N total (%) na folha +1, em função da idade, em cana-soca (var. Na 56-79) .....   | 81     |
| 7. Variação no teor de N total (%) na parte aérea (folhas + colmo) da cana-soca, em função da idade (var. NA 56-79) .....  | 83     |
| 8. Teor de N (%) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das linhas de P-1 e P-2 (parcelas com $^{15}\text{N}$ ) de cana-planta, aos 280 d.a.p. ....   | 85     |
| 9. Teor de N (%) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das linhas de P-1 e P-2; P-3 e P-4 (parcelas com uréia- $^{15}\text{N}$ ) por ocasião da colheita da cana-soca, aos 391 d.a.p. .... | 86     |

| Figura  | Página |
|---|--------|
| 10. Variação na concentração em át. % $^{15}\text{N}$ na folha +1, em função da idade da cana-planta .....  | 89     |
| 11. Variação no percentual de N derivado do fertilizante (NDF), na folha +1, em função da idade, em cana-planta que recebeu $^{15}\text{N}$ -uréia .....  | 90     |
| 12. Concentração em át. % $^{15}\text{N}$ nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das 3 linhas das parcelas que receberam $^{15}\text{N}$ -uréia, por ocasião da colheita da cana-planta, aos 280 d.a.p. .... | 93     |
| 13. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF %) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das linhas das parcelas que receberam $^{15}\text{N}$ , por ocasião da colheita da cana-planta, aos 280 d.a.p. ....   | 94     |
| 14. Variação no teor em át.% $^{15}\text{N}$ na folha +1, em cana-soca, em função da idade .....  | 98     |
| 15. Variação no teor em át.% $^{15}\text{N}$ na parte aérea da cana-soca, em função da idade .....  | 99     |
| 16. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF%) na folha +1, em cana-soca, em função da idade ...  | 100    |
| 17. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF%) na parte aérea da cana-soca, em função da idade .  | 101    |
| 18. Concentração em át. % $^{15}\text{N}$ nas folhas, colmo e parte aérea da cana-soca, por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c. ....  | 105    |

| Figura  | Página |
|---|--------|
| 19. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF%) nas folhas, colmo e parte aérea da cana-soca, por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c. ....   | 106    |
| 20. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante $^{15}\text{N}$ -uréia (EUF) da parte aérea da cana-planta, por ocasião da colheita aos 280 d.a.p. ....                                 | 111    |
| 21. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante $^{15}\text{N}$ -uréia (EUF) da parte aérea da cana-soca, por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c. ....                                  | 113    |
| 22. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) em relação ao N absorvido de outras fontes, na parte aérea da cana-planta, aos 280 d.a.p., em Kg/ha e % ....  | 116    |
| 23. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) em relação ao N absorvido de outras fontes, na parte aérea da cana-soca, aos 391 d.a.c., em Kg/ha e % ....  | 117    |
| 24. Eficiência de utilização ou recuperação do $^{15}\text{N}$ (EUF%) na cana-planta (efeito atual) e soca (efeito residual), na parte aérea da cana-de-açúcar var. (NA 56-79), aos 391 d.a.c. .... | 119    |
| 25. Contribuição do $^{15}\text{N}$ -residual da cana-planta (% e Kg/ha) no total de N contido na parte aérea da soca, aos 391 d.a.c. ....  | 120    |

| Figura  | Página |
|---|--------|
| 26. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) e de outras fontes removido pela parte aérea da cana-de-açúcar em dois ciclos consecutivos, cana-planta (efeito atual) e soca (efeito residual). Dados expressos em Kg/h e % .....              | 122    |
| 27. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante marcado (EUF%), em dois ciclos da cana-de-açúcar, cana-planta e soca (efeito atual) e efeito residual na soca .....   | 123    |
| 28. Quantidade de nitrogênio na planta derivada do fertilizante (QNDF) em Kg/ha, ao final de dois ciclos da cana-de-açúcar, cana-planta e soca, aos 391 d.a.c. ....   | 124    |
| 29. Recuperação global na parte aérea do fertilizante $^{15}\text{N}$ -uréia aplicado à cana-planta e soca (100 e 50 Kg de N/ha, respectivamente), var. NA 56-79, em termos percentuais, por ocasião da colheita da soca, aos 391 d.a.c. .... | 125    |
| 30. Contribuição global do nitrogênio do fertilizante marcado no total de N extraído pela parte aérea da cana-de-açúcar, por ocasião da colheita da soca (391 d.a.c.) .....   | 126    |

## LISTA DE TABELAS

| Tabela  | Página |
|---|--------|
| 1. Quantidade de N removida pela cana-de-açúcar em algumas regiões canavieiras .....  | 10     |
| 2. Quantidade de N extraída por tonelada de massa verde de cana-de-açúcar .....   | 19     |
| 3. Resposta da cana-planta à adubação-N, em termos de produção de massa, obtida por diversos autores em diferentes condições de trabalho ..                 | 36     |
| 4. Resposta da cana-soca à adubação-N, em termos de produção de massa, obtida por diversos autores em diferentes condições de trabalho ..                   | 37     |
| 5. Recomendação de adubação nitrogenada para cana-planta e soqueira .....   | 38     |
| 6. Resultados das análises de algumas características físicas do solos em estudo .....  | 54     |
| 7. Resultados da análise química do solo em estudo .....  | 54     |
| 8. Cronograma das atividades realizadas e eventos ocorridos durante dois ciclos da cultura da cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca) .....                | 61     |
| 9. Relação da metodologia de amostragem .....   | 66     |
| 10. Produção de massa verde e massa seca (t/ha) da parte aérea, sem queimar, da cana-planta e cana-soca, aos 280 d.a.p. e 391 d.a.c., respectivamente ..... | 79     |



EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO E EFEITO RESIDUAL DA URÉIA -  $^{15}\text{N}$   
EM CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp), EM CONDIÇÕES DE CAMPO.

Autor: BEATRIZ APARECIDA AMARAL CARNAÚBA

Orientador: PROF. DR. REYNALDO LUIZ VICTORIA

RESUMO

Aplicou-se uréia enriquecida com  $^{15}\text{N}$  em cana-planta e soqueira da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) var. NA 56-79, em solo Terra Roxa Estruturada, em Piracicaba, SP., a fim de se avaliar o aproveitamento do nitrogênio do fertilizante nos dois ciclos da cultura e o efeito residual na soqueira.

A área experimental correspondeu a um talhão de 980 m<sup>2</sup>. No ciclo da cana-planta delimitaram-se ao acaso dentro desta área, duas parcelas (F1 e F2) de 5,00 m por 4,20 m cada uma, que receberam uréia -  $^{15}\text{N}$  (2,63 át. %  $^{15}\text{N}$ ) a uma dose equivalente a 100 Kg de N/ha (50 Kg N/ha no plantio e 50% Kg N/ha, 160 dias após o plantio). O restante do talhão recebeu fertilizante comercial e foi considerado o tratamento testemunha (P0). Desta forma foi possível

determinar-se a eficiência de utilização do fertilizante neste ciclo.

No ciclo seguinte, (cana-soca), duas novas parcelas (P3 e P4) foram delimitadas no talhão, a fim de que recebessem uréia marcada (4,73 át. %  $^{15}\text{N}$ ) a uma dosagem equivalente a 50 Kg de N/ha e todo o restante da área experimental, incluindo-se P1 e P2, recebeu fertilizante comercial. Assim sendo, foi possível determinar-se a eficiência de utilização do fertilizante para a soqueira, através das informações de P3 e P4, e ainda o efeito residual do fertilizante aplicado ao ciclo anterior, através de P1 e P2.

Os resultados obtidos mostraram valores de eficiência de utilização do fertilizante (EUF) de 44 e 40% para cana-planta e soca, respectivamente. O efeito residual do N aplicado à cana-planta, na parte aérea da soqueira foi de 13%, totalizando uma recuperação do fertilizante, na parte aérea, de 57%, ao final do segundo ciclo.

Apesar dos valores de EUF(%) obtidos terem sido relativamente elevados, a participação do N do fertilizante, no total de N contido na parte aérea da cultura foi bem menor, cerca de 26 e 12% para, respectivamente, cana-planta e soqueira. O efeito residual contribuiu com menos de 8% do N total contido na parte aérea da soqueira.

FERTILIZER USE EFFICIENCY AND RESIDUAL EFFECT OF THE UREA-  
<sup>15</sup>N APPLIED TO SUGARCANE (*Saccharum* spp) UNDER FIELD  
CONDITONS

Author: BEATRIZ APARECIDA AMARAL CARNAÚBA

Adviser: PROF. DR. REYNALDO LUIZ VICTORIA

SUMMARY

<sup>15</sup>N enriched urea was applied to a sugarcane (*Saccharum* spp) var. NA 56-79 crop under field conditions in Terra Roxa Estruturada soil at Piracicaba, SP., in order to evaluate fertilizer use efficiency in both plant and ratoon crop and residual effect on the ratoon crop.

A 980 m<sup>2</sup> total experimental area was used. For the first crop (plant crop), two sub-plots (5.00 m x 4,20 m) were delimited (P1 and P2), randomly located in the overall area, urea-<sup>15</sup>N (2,63 at.% <sup>15</sup>N) at the rate of 100 Kg N/ha (50 Kg/ha at planting and 50 Kg/ha 160 days after planting) was applied. The rest of the experimental area was used as a control (P0) receiving commercial non labelled fertilizer. Fertilizer use efficiency for the plant crop was determined in this experiment.

For the second crop (ratoon crop), two additional plots (P3 and P4) were established, and labelled urea (4.73 at.%  $^{15}\text{N}$ ) at the rate of 50 Kg N/ha applied. The remaining of the urea, including P1 and P2 plots received commercial fertilizer. Fertilizer use efficiency for the ratoon crop and residual effect of the plant crop application were determined.

The results showed a fertilizer use efficiency (EUF) of 44 and 40% for the plant crop and ratoon crop respectively. The residual effect of the first application was 13%, which gave an overall efficiency of 57% over two cropping seasons.

Although EUF (%) was relatively high, the contribution of fertilizer N to total plant N was only 26 and 11% for plant crop and ratoon crop, respectively. Residual fertilizer contributed with less than 8% of total plant N for the ratoon crop.

## 1. INTRODUÇÃO

Em quase todas as regiões do mundo, o fertilizante nitrogenado é o mais utilizado, especialmente nos países desenvolvidos, onde as taxas de aplicação chegam a ser 6,5 vezes maiores que as empregadas nos países subdesenvolvidos. (REICHARDT et alii, 1982).

A despeito de bem conhecido o papel fundamental desempenhado pelo N no metabolismo das plantas, a resposta da cana-de-açúcar à aplicação de fertilizante nitrogenado ainda não está completamente elucidada, principalmente para o ciclo da cana-planta. Segundo diversos autores (MALAVOLTA et alii, 1963; AZEREDO & BOLSANELLO, 1979; BITTENCOURT et alii, 1986; ROSSIELLO, 1987), os resultados experimentais no Brasil têm se caracterizado por pequena ou nenhuma resposta deste ciclo à adubação nitrogenada.

Para as soqueiras, entretanto, na maioria das vezes conseguem-se aumentos significativos na produção quando o N é empregado. (DU TOIT, 1960; STANFORD, 1963; PENNA & FIGUEIREDO, 1984).

O elevado custo dos fertilizantes nitrogenados, aliado à crescente necessidade de sua utilização para assegurar uma alta produtividade das culturas, principalmente no caso da cana-de-açúcar, fizeram com que inúmeros pesquisadores se dedicassem ainda mais aos estudos sobre os mecanismos de utilização do nutriente pela cultura.

A possibilidade de se determinar a eficiência e o efeito residual de uma adubação nitrogenada, sobre parâmetros como produção de massa verde e seca, extração de N pela cultura, etc., tem sido estudada mediante o emprego de fertilizante marcado com  $^{15}\text{N}$ . O uso de fertilizantes nitrogenados marcados torna possível medir de forma direta e precisa a absorção do N proveniente do fertilizante aplicado, tanto atual, como residual, num ciclo subsequente. (BUJAN et alii, 1982).

Tendo em vista um maior conhecimento sobre o aproveitamento e destino do nitrogênio proveniente do fertilizante, através do emprego da uréia- $^{15}\text{N}$ , são os seguintes os objetivos deste trabalho:

- determinar a eficiência de utilização do fertilizante, em termos percentuais, para a cana-planta e soqueira;
- determinar o efeito residual (%), na cana-soca, do N aplicado à cana-planta;
- determinar a quantidade de N na planta, em termos absolutos, proveniente do fertilizante;

- quantificar a participação do nitrogênio derivado do fertilizante, no total de N removido pela cultura.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Importância do nitrogênio

O nitrogênio é um nutriente fundamental para todos os seres vivos. Sendo constituinte obrigatório de proteínas e ácidos nucleicos, obviamente participa direta ou indiretamente de inúmeros processos bioquímicos.

A combinação do elemento nitrogênio com carboidratos nos seres vivos, em última instância, resulta em proteínas, as quais, juntamente com a água formam o protoplasma, a parte viva da célula, responsável pela manutenção do complexo protéico específico dos organismos. (CLEMENTS, 1960b; ALEXANDER, 1961). Em outras palavras, equivale a dizer que o nitrogênio é responsável pela manutenção desse complexo; a base para a matéria protéica nos tecidos vivos. (HUMBERT, 1968).

Para as plantas em particular, o nitrogênio é encontrado em altas concentrações, quando comparado aos outros elementos minerais. Quando a sua assimilação tem lugar, os aminoácidos são produzidos e combinados de forma



a darem origem às proteínas, nas quais 18% são representados pelo nitrogênio. (EPSTEIN, 1975). É indispensável ainda, à síntese de clorofila, uma vez que faz parte dessa molécula. (SILVEIRA, 1980).

Em condições de carência, portanto, a planta exibirá uma diminuição na síntese de clorofila, de aminoácidos essenciais, e também da energia necessária à produção de carboidratos e esqueletos carbônicos, com prejuízo ao desenvolvimento vegetal. (MALAVOLTA & HAAG, 1964; ALEXANDER, 1973; EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA, 1976; SILVEIRA, 1980; MALAVOLTA, 1981). Com abundância de carboidratos e compostos nitrogenados, o desenvolvimento vegetal é geralmente rápido. (HUMBERT, 1968).

Com tudo isto, pode-se considerar o nitrogênio como sendo o nutriente de maior e mais rápido efeito nos vegetais (HALAIS, 1960), sendo sua exigência manifestada por um longo período do ciclo de desenvolvimento vegetativo das plantas.

## **2.2. O nitrogênio no sistema solo-planta-atmosfera**

### **2.2.1. Fontes de N**

O grande reservatório de nitrogênio para a biosfera é o elemento gasoso  $N_2$ , que constitui aproximadamente 78% do volume da atmosfera (EPSTEIN, 1975). No entanto, apesar dessa elevada abundância, é surpreendente

que, não raramente, se encontrem regiões onde nem a intensidade luminosa, nem a água sejam limitantes ao desenvolvimento vegetal, mas a disponibilidade de formas de N no solo adequadas a este processo, se apresente como fator limitante à conquista de altas produtividades pelas culturas (BRAY, 1983).

Esta aparente anormalidade é explicável pelo fato do dinitrogênio ( $N_2$ ) da atmosfera ser quimicamente inerte, e a sua utilização pelas plantas estar na dependência obrigatória da conversão do mesmo a estados mais oxidados (nitrato ou nitrito) ou reduzidos (amônio), pois a forma inorgânica é praticamente a única assimilável pelas plantas. Por outro lado, o nitrogênio encontrado no solo ou adicionado pelos resíduos de culturas está sempre na forma orgânica e portanto, também amplamente inviável (ALEXANDER, 1961), muito embora a participação de microrganismos capazes de mineralizar o N organicamente combinado possa reverter esse quadro.

É portanto, a partir deste reservatório de nitrogênio gasoso, a atmosfera, que se deve restaurar o nitrogênio do solo, em forma disponível para a absorção pelas plantas (EPSTEIN, 1975).

## **2.2.2. Entradas de N ao sistema solo-planta**

### **2.2.2.1. Fixação biológica**

Alguns microrganismos do solo têm a capacidade de realizar a fixação biológica deste elemento, utilizando-se da temperatura ambiente, da pressão ao redor de uma atmosfera e da enzima nitrogenase como catalisador. Em ecossistemas naturais, a fixação biológica do  $N_2$ , em conjunto com 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 a associação leguminosas com bactérias do gênero *Rhizobium*.

A fixação em gramíneas ocorre de forma associativa, e apesar de menos conhecida, reveste-se de grande importância, uma vez que a economia em fertilizantes nitrogenados poderia chegar a proporções semelhantes ou superiores às das leguminosas (VITTI et alii, 1984). Sob condições de solo de clima tropical e subtropical, geralmente ácidos, a fixação biológica do  $N_2$  representa 17-40% do N total da planta, segundo REICHARDT et alii (1982).

DÖBEREINER (1959) demonstrou a possibilidade de haver fixação do  $N_2$ , de importância econômica em cana-de-açúcar, ao observar a influência dessa cultura no desenvolvimento de bactérias fixadoras de  $N_2$ . Mais tarde, DÖBEREINER et alii (1972); DÖBEREINER et alii (1973) registraram a existência de uma abundante população de bactérias fixadoras de vida livre nos canaviais, principalmente do gênero, *Beijerinckia*, que aumentava notadamente nas proximidades das

touceiras. Os mesmos autores estimaram valores de fixação do  $N_2$  da ordem de 50 Kg N/ha/ano, para suas condições de trabalho.

Da mesma forma, RUSCHEL (1975) em seus experimentos com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, evidenciou a presença de um sistema fixador de nitrogênio em torno das raízes e no solo da rizosfera da planta, capaz de fixar, segundo estimativas grosseiras, 6,2 Kg de N/ha/ano na parte aérea e 79,5 kg de N/ha/ano, no solo da rizosfera. Em trabalhos posteriores, utilizando  $^{15}N$ , RUSCHEL et alii (1978a) estimaram a fixação como sendo 25-30% do N total absorvido pela cana-de-açúcar e mais recentemente, RUSCHEL & VOSE (1982) forneceram valores de fixação do  $N_2$  da ordem de 17% do N absorvido pela planta, ou 16,6 Kg de N/ha para uma colheita de 70 t de colmos/ha. A rotação com leguminosas e/ou plantio intercalar, segundo estes últimos pesquisadores, poderia elevar a fixação biológica do  $N_2$  até 25 e 35 kg de N/ha, no caso de se usar feijão ou soja, respectivamente.

URQUIAGA et alii (1987) contabilizaram a contribuição da fixação biológica do nitrogênio para a cana-de-açúcar como sendo 37 a 56% do total de N acumulado pela planta, equivalente a 33-163 Kg de N/ha/ano, afirmando ainda ser possível, num solo pobre em N disponível, alcançarem-se níveis de produtividade equivalentes a 175-230 t de colmos/ha, sem o uso de adubo nitrogenado.

Parece claro que a capacidade de fixação biológica do nitrogênio pode ser influenciada por fatores gené-

ticos (RUSCHEL & RUSCHEL, 1978; URQUIAGA et alii, 1987), pois experimentos com diferentes variedades de cana-de-açúcar, têm mostrado que sempre há umas mais aptas que outras a desempenhar este processo. Também a irrigação parece influenciar a fixação do  $N_2$ , segundo relatam RUSCHEL et alii (1978b), pois nos períodos mais quentes e secos do ano, a aplicação de água concorreu para o aumento da atividade da nitrogenase (metodologia empregada na investigação da fixação biológica do  $N_2$ ), nas raízes da cana-de-açúcar.

Ao que se sabe, a energia fornecida pelos toletes de cana no plantio permite o desenvolvimento de microrganismo fixador de nitrogênio na rizosfera, fornecendo um suprimento extra do nutriente, que adicionado ao solo, parece permitir o desenvolvimento adequado da cana-planta. Segundo RUSCHEL et alii (1978c) a população de bactérias fixadoras de  $N_2$  associadas à rizosfera da cana-de-açúcar é composta de dois grupos, as aeróbias do tipo esporulada, que se encontram em maior número, e as anaeróbias, que apesar da menor população, promovem maior atividade da nitrogenase ou fixação.

A cana-de-açúcar, na maioria das vezes, não responde à adubação nitrogenada na cana-planta, apesar do mesmo não ocorrer com as socas. A presença de microrganismos fixadores na rizosfera da cana-de-açúcar é uma indicação de que a fixação deve desempenhar um papel importante na auto-suficiência em  $N$ , por parte desta cultura. O fato da cana-de-açúcar ser cultivada, em certas regiões do país, há

muitos anos, embora com baixas produtividades, mas sem apresentar decréscimos na produção e sem nunca ter recebido adubação nitrogenada, certamente reforça esta idéia.

#### 2.2.2.2. Fixação industrial

A fixação industrial no  $N_2$  atmosférico para a manufatura de fertilizantes é um outro meio, cada vez mais importante de reposição do N aos solos.

Devido à alta solubilidade e instabilidade química dos compostos nitrogenados minerais, o N não figura como constituinte de rochas terrestres, exceto em certas regiões áridas do Chile, Bolívia, Peru, Índia, Irã e Egito (VITTI et alii, 1984). Assim, a maioria dos adubos nitrogenados são produzidos a partir do  $N_2$  do ar, haja visto que a atmosfera apresenta um reservatório praticamente inesgotável de cerca de  $10^{15}$  t de N. Para isto, o processo industrial baseia-se no rompimento da molécula de  $N_2$  e posterior síntese de amônia, sob altas pressões e temperatura, e na presença de catalisadores apropriados.

Segundo os mesmos autores, o mercado brasileiro oferece, principalmente, uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrocálcio, DAP e MAP como fontes de N, sendo que a uréia e o fosfato de amônio respondem por quase 70% de toda a produção nacional de fertilizantes nitrogenados. KIEHL (1983) afirma haver uma tendência, não só no Brasil, mas em muitos outros países, da uréia vir a ser uma

das principais fontes de N para as culturas, devido às suas vantagens de caráter industrial, econômico e agrônômico.

#### **2.2.2.3. Outras entradas de N**

Também importantes como fontes de N, se mostram os fertilizantes orgânicos e adubos verdes (RUSCHEL & VOSE, 1982; AZEREDO & MANHÃES, 1983; KIEHL, 1985). Alguns autores consideram, ainda que com importância bem menor, a adição de nitrogênio proveniente dos raios de descargas elétricas na atmosfera, que resultam na formação de vários óxidos de nitrogênio (EPSTEIN, 1975; REICHARDT et alii, 1982), e a promovida pelas chuvas e poeira, estas últimas estimadas em cerca de 4-8 Kg N/ha/ano, segundo Sanchez<sup>1</sup>, citado por PADOVESE (1988).

#### **2.2.3. Destino do N no sistema com cana-de-açúcar**

Os destinos do N no agrossistema com cana-de-açúcar serão comentados posteriormente, mas sucintamente, as perdas ou saídas de N do agrossistema com cana-de-açúcar podem ser resumidamente enquadrados nas categorias:

- lixiviação
- volatilização da amônia
- denitrificação

<sup>1</sup>- SANCHEZ, P.A. Properties and management of soils in Tropics. New York, John Willey, 1976. p. 184-222.

- "run-off" ou deflúvio superficial;

E os outros destinos do N, que não se constituem perdas, são os seguintes:

- permanência no solo de parte do N aplicado
- imobilização por microrganismos ou pelas argilas do solo
- extração pela cultura.

Segundo relatos de WOOD (1974), a aplicação do total ou de grande parte do  $^{15}\text{N}$ , por ocasião do plantio da cana-de-açúcar, em condições de campo, mesmo em solos de textura pesada, foi responsável por perdas por lixiviação. O autor não descarta a possibilidade de ter havido volatilização e denitrificação em seu experimento e acredita que a aplicação do fertilizante-N, algumas semanas após o plantio é capaz de reduzir as perdas por lixiviação, uma vez que o sistema radicular já apresenta algum desenvolvimento.

Em seus trabalhos com cana-de-açúcar cultivada em lisímetros, TAKAHASHI (1968) não contabilizou perdas de N no material lixiviado, mesmo a despeito de ter havido chuvas pesadas durante o transcorrer do experimento. Contudo o mesmo não ocorreu em outras pesquisas desenvolvidas pelo mesmo autor (TAKAHASHI, 1969; 1970a; 1970b; 1970c), quando algumas perdas por lixiviação ou volatilização foram observadas.

VALDIVIA (1982) encontrou perda de 33 Kg/ha por lixiviação do N, em cultura de cana-de-açúcar irrigada,



na costa desértica do Peru. Segundo levantamento feito por REICHARDT et alii (1982), para as culturas desenvolvidas nas regiões de clima tropical, as perdas de nitrogênio por lixiviação não constituem problema, se o fertilizante for aplicado a níveis normais, da ordem de 90 Kg N/ha, o que concorda com os dados de PADDOVESE (1988), em ensaios de campo, sobre o movimento e perdas de N em Terra Roxa Estruturada, com cana-de-açúcar.

CHEONG et alii (1980) nas Ilhas Maurício, investigando o destino do nitrato e do amônio marcados com  $^{15}\text{N}$  em solo em cana-de-açúcar, constataram, como era de se esperar, movimento mais pronunciado do fertilizante nítrico em relação ao amoniacal, sendo que a lixiviação favoreceu este mecanismo. Entretanto, o aumento do teor de argila e da CTC do solo agiram favoravelmente no sentido de dificultarem as perdas.

Monitorando-se o deslocamento vertical e lateral da  $^{15}\text{N}$ -uréia aplicada em experimento com cana-de-açúcar, em solo Podzólico-Vermelho-Amarelo, textura arenosa, SALCEDO & SAMPAIO (1984) notaram que as perdas por lixiviação do nitrato foram maiores, ao redor de 21 Kg N/ha, quando a aplicação do adubo foi feita de uma só vez, sendo que o parcelamento reduziu essas perdas a níveis de 14 Kg de N/ha.

TRIVELIN et alii (1988) também trabalhando com material marcado com  $^{15}\text{N}$ , uréia e aquamônia, encontraram perdas totais de 72,1 e 58,8 Kg N/ha que incluíam 7,0 e

35,0 Kg de N/ha como perdas por lixiviação, respectivamente, para os fertilizantes.

Também as perdas de N na forma de gases são extremamente variáveis, podendo atingir 30% do fertilizante nitrogenado (REICHARDT et alii, 1982). Fatores como doses e modo de aplicação de N, temperatura, pH e umidade do solo, se não forem adequados, podem favorecer grandemente a volatilização, principalmente da uréia, segundo alerta KIEHL (1983).

PARISH (1967) credits à volatilização da amônia, dentre outros, como um dos fatores responsáveis pela baixa eficiência de utilização do N, medida pelo emprego de fertilizantes marcados.

PINNA & VALDIVIA (1978) obtiveram valores elevados de perdas por volatilização da uréia, ao redor de 25-50%, quatro dias após a aplicação, e maior que 50%, uma semana depois, em solo calcário cultivado com cana-de-açúcar. Afirmam os pesquisadores que quando a aplicação em cobertura foi realizada sob condições de alta temperatura, a volatilização foi muito maior, atingindo 70%. A volatilização da uréia em solos calcários ocorreu inclusive quando estes apresentavam alta CTC.

Objetivando quantificarem-se as perdas de N através da uréia aplicada via foliar, TRIVELIN et alii (1985) utilizaram a técnica da diluição isotópica de  $^{15}\text{N}$ , em trabalhos com cana-de-açúcar, e a ocorrência de chuvas uma

hora após a aplicação de fertilizante levou a perdas de cerca de 50% do mesmo.

Em condições de campo cultivado com cana-de-açúcar e tratado com vinhaça, LARA CABEZAS et alii (1987) encontraram perdas de 3,2 e 1,8% do N incorporado via uréia e aquamônia, respectivamente, aos 60 dias da aplicação. Neste caso, embora não tenham sido observadas diferenças significativas nas estimativas de perdas por volatilização entre as duas fontes, a uréia mostrou uma tendência constante, mais favorável à perda por volatilização do  $N-NH_3$  do que a amônia.

TRIVELIN et alii (1988) também encontraram valores muito baixos de perdas de N por volatilização, que ficaram ao redor de 0,15 Kg/ha de  $N-NH_3$ , e uma vez que o nitrogênio volatilizado derivado do fertilizante foi de 2% do total, esta perda correspondeu a 3 g/ha de N (derivado do fertilizante), o que praticamente nada representou no balanço final do N do fertilizante.

PARISH (1967) afirma que se o fertilizante-N, aplicado ao solo, não for convertido a N orgânico, a nitrificação ocorre a taxas governadas pela umidade e a menos que o nitrato seja absorvido pela planta, as perdas por lixiviação do nitrato devem ocorrer, principalmente sob condições de chuvas pesadas. KIEHL et alii (1981) confirmaram isto, mostrando que a nitrificação do amônio, aplicado via sulfato de amônio, e subsequente desaparecimento foram maiores nos períodos chuvosos, em quatro solos do Estado de

São Paulo, em ensaios de campo com cana-de-açúcar, sendo que a forma  $\text{NH}_4$  representou a maior parte do N residual no solo.

Segundo informações de REICHARDT et alii (1982) deflúvio superficial ou "run-off" não se mostram como o maior mecanismo de perdas para os solos de clima tropical.

A permanência no solo de parte significativa do N aplicado via fertilizante pode explicar parcialmente a elevada percentagem do fertilizante- $^{15}\text{N}$  não recuperada pela parte aérea da cana-de-açúcar (TRIVELIN et alii, 1986b; TRIVELIN et alii, 1987a). Isto foi confirmado em estudos posteriores (TRIVELIN et alii, 1988) que mostraram que 13,5 e 22,8 Kg N/ha permaneceram como N residual no solo, quando respectivamente, uréia e aquamônia (ambos marcadas com  $^{15}\text{N}$ ) foram aplicadas em dosagens equivalentes a 100 Kg N/ha.

Quanto à imobilização do N mineral, ALMEIDA (1983); ALMEIDA et alii (1982), em pesquisa desenvolvida em laboratório com sulfato de amônio marcado com  $^{15}\text{N}$  e aplicado em complementação à vinhaça, em colunas de solo Latossolo Vermelho Escuro, encontraram valores ao redor de 40% de imobilização do N aplicado e cerca de 10-32% deste N não foi recuperado, indicando possível ocorrência de processos de denitrificação. Em experimento semelhante, CARNAÚBA et alii (1983) perceberam que a imobilização no solo tratado com vinhaça foi mais acentuada do que no não tratado, no início do experimento, e também aqui, ficou evidenciada a possibilidade de ter havido mecanismos que levaram a perdas de N para a atmosfera.

O trabalho conduzido por NG KEE KWONG et alii (1987) mostrou que a imobilização do nitrogênio disponível no solo ocasionada pelo emprego de palhas (5t/ha) sobre a superfície do mesmo, prejudicou a absorção do N do solo pela cana-de-açúcar, na ausência de fertilizante nitrogenado, em condições de campo, em solo Acrisol Húmico.

Quanto ao N extraído ou exportado pela cultura de cana-de-açúcar, as tabelas 1 e 2 apresentam, compiladamente, algumas informações a respeito, retiradas da literatura.

Dada a variabilidade dos dados mostrados por estas tabelas, é de se supor que a absorção do N pela cana-de-açúcar seja influenciada por condições ambientais, climáticas e edafológicas (ORLANDO FILHO et alii, 1980), pelo manejo da cultura e do solo, além de fatores genéticos (SINGH, 1978d; HILTON & MCKENZIE, 1980), que podem determinar a exigência em N pela cana-de-açúcar.

#### **2.2.4. Algumas considerações sobre o ciclo do N no ecossistema com cana-de-açúcar**

Fazendo-se um balanço do N no ecossistema com cana-de-açúcar VALDIVIA (1982) estimou que, para as condições desérticas da costa peruana, 24 Kg de N/ha são provenientes da água de irrigação, 139 e 300 Kg de N/ha entram no sistema via decomposição de raízes e fertilização, respectivamente, não considerando a fixação associativa do

Tabela 1. Quantidade de N removida pela cana-de-açúcar em algumas regiões canavieiras. (Compilado de diversos autores).

| Quantidade de N removida (kg) | Produção (t/ha) |            | Parte(s) da planta    | Ciclo da cultura | Local         | Fonte                      |
|-------------------------------|-----------------|------------|-----------------------|------------------|---------------|----------------------------|
|                               | M.V. (**)       | M.S. (***) |                       |                  |               |                            |
| 70-80                         | 67              | -          | folhas + pontas       | -                | -             | GOLDEN (1960)              |
| 126-165                       | -               | -          | parte aérea           | -                | Formosa       | JACOB & UEXKULL (1961)     |
| 34-40                         | 50              | -          | colmos                | -                | -             | BARNES (1964)              |
| 149,6                         | -               | -          | parte aérea           | cana-planta      | África do Sul | BISHOP (1965)              |
| 110,7                         | -               | -          | parte aérea           | cana-planta      | Filipinas     | CRUZ & PUYADAN (1970)      |
| 75,2                          | -               | -          | colmos                | cana-planta      | Filipinas     | CRUZ & PUYADAN (1970)      |
| 132                           | 100             | -          | colmos                | -                | Brasil        | MALAVOLTA et alii (1967)   |
| 181                           | -               | -          | parte aérea           | soqueira         | Rodésia       | LONG (1972)                |
| 100                           | -               | -          | colmos                | soqueira         | Rodésia       | LONG (1972)                |
| 60,3-81,6                     | -               | 12,9-16,4  | colmos                | cana-planta      | Brasil        | ORLANDO FILHO (1978)       |
| 59,0-93,8                     | -               | 9,8-12,4   | folhas                | cana-planta      | Brasil        | ORLANDO FILHO (1978)       |
| 76,1-89,4                     | -               | 25,0-34,4  | colmos                | soqueira         | Brasil        | ORLANDO FILHO (1978)       |
| 61,1-76,8                     | -               | 10,2-12,3  | folhas                | soqueira         | Brasil        | ORLANDO FILHO (1978)       |
| 108,3                         | 78,6            | -          | colmos                | cana-planta      | Índia         | SINGH (1978b)              |
| 132,1                         | 77,6            | -          | colmos                | soqueira         | Índia         | SINGH (1978b)              |
| 154                           | 100             | -          | parte aérea           | cana-planta      | Brasil        | AZEREDO et alii (1981)     |
| 131                           | 100             | -          | parte aérea           | soqueira         | Brasil        | AZEREDO et alii (1981)     |
| 255-276                       | -               | -          | parte aérea           | cana-planta      | Brasil        | LIMA JUNIOR (1982)         |
| 180                           | -               | -          | parte aérea           | cana-planta      | Brasil        | SAMPAIO et alii (1984)     |
| 75                            | -               | -          | folhas do chão        | cana-planta      | Brasil        | SAMPAIO et alii (1984)     |
| 128-291                       | -               | -          | parte aérea           | cana-planta      | Brasil        | BITTENCOURT et alii (1986) |
| 80                            | 108-117         | -          | palhas + folhas secas | soqueira         | Brasil        | TRIVELIN et alii (1985a)   |
| 120                           | 108-117         | -          | colmos                | soqueira         | Brasil        | TRIVELIN et alii (1985a)   |

(\*\*) e (\*\*\*) significam massa verde e seca, respectivamente.

Tabela 2. Quantidade de N extraída por tonelada de massa verde de cana-de açúcar. (Compilado de diversos autores).

| N removido (Kg/t M.V. (**)) |             | Ciclo da    |                | Fonte                         |  |
|-----------------------------|-------------|-------------|----------------|-------------------------------|--|
| colmos                      | parte aérea | Cultura     | Local          |                               |  |
| 0,9                         | -           | cana-planta | Havaí          | VAN DILLEWIJN (1952)          |  |
| 1,12                        | -           | soqueira    | Havaí          | VAN DILLEWIJN (1952)          |  |
| 1,32                        | -           | cana-planta | Brasil         | CATANI et alii (1959)         |  |
| 0,41-0,81                   | 1,18-1,67   | -           | Louisiana, EUA | GOLDEN (1960)                 |  |
| 0,68-0,80                   | -           | -           | -              | BARNES (1964)                 |  |
| 2,24                        | -           | -           | -              | GEUS (1967)                   |  |
| -                           | 1,05        | -           | Malásia        | YOON (1972)                   |  |
| 1,00                        | -           | -           | Flórida, EUA   | ANDREIS (1975)                |  |
| 0,72                        | -           | -           | -              | FAUCONNIER & BASSEREAU (1975) |  |
| 0,90                        | -           | cana-planta | Nicarágua      | CHUI & SAMUELS (1981)         |  |
| 1,11                        | -           | soqueira    | Nicarágua      | CHUI & SAMUELS (1981)         |  |
| 1,25-2,62                   | -           | cana-planta | Brasil         | RITTENCOURT et alii (1986)    |  |

(\*\*) significa massa verde.

$N_2$  como fonte de N à cultura. Como saídas, o autor contabiliza 235 kg de N/ha como o exportado pela cultura, dos quais, 147-172 kg de N/ha seguem para à indústria, 63-74 Kg de N/ha saem do sistema através de perdas por queima da cana-de-açúcar e 33 kg de N/ha por lixiviação. Assim, o balanço mostra-se favorável a perdas, que o autor acredita serem minimizadas graças à existência de raízes finas, que permanecem no solo após a colheita, o que adicionaria certa quantidade de N orgânico mineralizável ao solo.

A inclusão do N proveniente da fixação biológica ao ecossistema com cana-de-açúcar é feita por RUSCHEL & VOSE (1982), também mostrando que o N está constantemente sendo perdido e repostado por processos naturais, conforme se mostra na Figura 1.

O ciclo do N em cana-de-açúcar é complexo. São necessárias mais informações experimentais para assumir-se valores, mais próximos dos reais, de ganhos e perdas de N, além do desenvolvimento de novas práticas culturais que visem à economia de nitrogênio pela cultura.

#### **2.2.5. Formas disponíveis de N à cana-de-açúcar**

Em condições de campo, em solos com boas condições de aeração, o  $NO_3^-$  é a forma predominante na solução do solo (SILVEIRA, 1985), o produto final da atividade microbiana cuja matéria-prima é qualquer forma de N, que não se encontre completamente oxidada (CLEMENTS, 1960a). Em



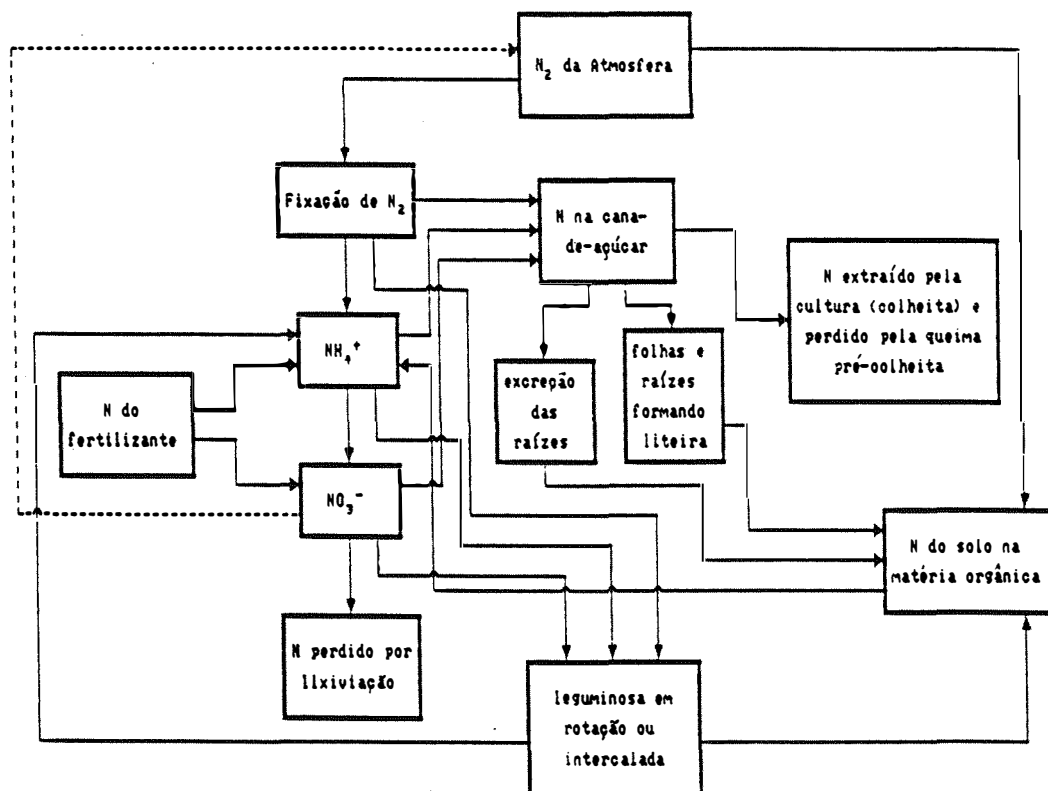


Figura 1. Ciclo do nitrogênio no ecossistema com cana-de-açúcar (extraído de RUSCHEL & VOSE, 1982).

geral, e muito resumidamente, a forma de N mais absorvida pelas plantas é portanto, o nitrato, muito embora os fertilizantes possam conter, além do nitrato, amônio, amida (uréia) ou resíduos vegetais ou animais.

Além do nitrato, o íon  $\text{NH}_4^+$ , segundo CLEMENTS (1960a), é também absorvido pela planta, havendo evidências que seja até mais rapidamente assimilado que o  $\text{NO}_3^-$ . Entretanto, as chances do  $\text{NH}_4^+$  permanecer nesta forma no solo são bastante remotas, uma vez que estão sempre presentes nos solos populações de microrganismos envolvidas com os processos de nitrificação e ainda há a possibilidade de perdas por volatilização (PINNA & VALDIVIA, 1978; REICHARDT et alii, 1982; VALDIVIA, 1982; KIEHL, 1983).

Há ainda a forma gasosa  $\text{N}_2$ , que é absorvida indiretamente, através da fixação biológica (DÜBEREINER, 1959; RUSCHEL, 1975; URQUIAGA et alii, 1987).

### **2.3. Importância do N à cana-de-açúcar**

O nitrogênio constitui uma fração de apenas 1% da matéria seca total na cana-de-açúcar madura, e ainda assim, sua importância é tão grande quanto à do carbono, hidrogênio e oxigênio, que juntos perfazem 90% da matéria seca. (VAN DILLEWIJN, 1952).

### 2.3.1. Algumas considerações sobre a planta

A cana-de-açúcar é uma gramínea tropical de metabolismo do tipo  $C_4$ , que se caracteriza por apresentar altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização do nitrogênio e da energia solar, ou alta produtividade biológica (altamente eficiente na produção de matéria seca), o que a torna uma das mais eficientes e produtivas de todas as culturas (SILVEIRA, 1980; CROCCOMO & SILVEIRA, 1983; SILVEIRA, 1985), especialmente quando comparada às do tipo  $C_3$ . Ao que parece, deve haver uma compartimentalização espacial para os processos, no caso das plantas  $C_4$ , com a redução do  $NO_3^-$  ocorrendo em um local e a assimilação em outro, não havendo deste modo, competição pelo poder redutor e ATP (SILVEIRA, 1980).

O crescimento da cana-de-açúcar é caracterizado por acúmulo de matéria seca perfeitamente ajustado à forma sigmóide típica de crescimento determinado, independentemente de fator varietal (MACHADO et alii, 1982). Este acúmulo, pode ser separado em três fases, segundo informações de MAGALHÃES (1983):

- fase inicial de crescimento lento
- fase de crescimento rápido
- fase final de crescimento ou maturação.

### 2.3.2. Mecanismos fisiológicos de absorção e utilização do N

Apesar de bem conhecido o papel chave que o nitrogênio desempenha no metabolismo vegetal, neste sistema de produção altamente eficiente, conhecido como "Fonte-Reservatório", a participação dos nutrientes minerais não está bem esclarecida. Entretanto, sabe-se que o nitrogênio, está comprometido em termos quantitativos, direta ou indiretamente, com os processos pertinentes a este sistema. (CROCOMO & SILVEIRA, 1983).

Como já se comentou, a assimilação de nitrogênio está estreitamente relacionada com o metabolismo de carboidratos (VAN DILLEWIJN, 1952; HUMBERT, 1968; EPSTEIN, 1975; CROCOMO et alii, 1981) e, dentro de certos limites, há uma correlação positiva entre níveis de nitrogênio e intensidade da fotossíntese, na maioria das plantas, e níveis de nitrogênio e concentração de açúcares, principalmente naquelas que armazenam carboidratos, como é o caso da cana-de-açúcar (HARTT, 1970; CROCOMO et alii, 1981).

HARTT & BURR (1967), utilizando  $^{14}\text{CO}_2$  em cana-de-açúcar em solução nutritiva, notaram que um decréscimo na concentração de N correspondia à uma redução na assimilação de  $^{14}\text{CO}_2$ , e que certamente havia uma correlação entre a taxa de absorção de  $\text{CO}_2$ , o suprimento de N e a percentagem de N nas folhas. Na Índia, SINGH (1974), trabalhando com cana-de-açúcar sob condições de deficiência

de N, observou uma diminuição no teor de carboidratos, de clorofila e na assimilação de CO<sub>2</sub>.

O transporte de N para a planta e dentro dela é de suma importância à sua sobrevivência e crescimento, e no caso da cana-de-açúcar, as formas de N absorvidas pela raiz podem ser usadas pelas próprias células radiculares para sintetizarem compostos orgânicos (CLEMENTS, 1960a; ALEJO & CROCCOMO, 1981), ou podem ser diretamente transportadas, por fluxo de massa, das raízes à parte aérea, onde ocorre a sua assimilação (VAN DILLEWIJN, 1952; HUMBERT, 1968; SILVA & CASAGRANDE, 1983).

Na planta, o N pode ser dividido em três grandes frações: o N inorgânico (absorvido sob a forma de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ou N<sub>2</sub>) que é incorporado na forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> em esqueletos carbônicos provenientes primariamente da fotossíntese; o N-NH<sub>2</sub> solúvel (aminoácidos, amidas e aminas) que é a fração mais variável em função dos distúrbios nutricionais e o N-protéico, que praticamente não varia, somente em condições extremas (SILVEIRA, 1980). Tudo isto se inicia quando o nitrato é absorvido pelas raízes e pode, aí mesmo entrar em contacto com o sistema enzimático redutor, mais conhecido como reductase do nitrato, que em presença de carboidratos e sob respiração normal é reduzido à nitrito e finalmente a amidas e aminas (CLEMENTS, 1960a), ou ainda poderá ser armazenado nos vacúolos ou transportado diretamente para a parte aérea, onde novamente poderá ser armazenado ou assimilado até formas orgânicas (SILVEIRA, 1985).

BURR & TAKAHASHI (1955) foram os pioneiros no emprego da técnica de diluição isotópica do  $^{15}\text{N}$  em experimentos sobre absorção, translocação e utilização do N em cana-de-açúcar. Nestas pesquisas, os autores perceberam, ao contrário do que esperavam, que a absorção do  $^{15}\text{N}$  foi mais rápida nas folhas que já eram bastante ricas em N, mas que apesar de não serem as mais jovens, encontravam-se no máximo estágio de atividade, e seu conteúdo em N era o resultado e não a causa desta atividade. Os mesmos pesquisadores concluíram que o fluxo de N é dirigido aos locais de demanda metabólica e não aos déficits nutricionais, como uma análise menos acurada levaria a interpretar.

Em outros estudos com  $^{15}\text{N}$ , TAKAHASHI (1960), levantou a possibilidade da síntese de proteínas ocorrer nos tecidos foliares, meristemas e raízes e os excessos de N muito provavelmente seriam armazenados nas juntas basais na forma de amônio, aminoácidos e peptídeos, que estariam disponíveis à planta, quando e onde fossem necessários. Assim sendo, a condição da planta, deficiente ou não determinaria a eficiência de absorção do "novo N".

De fato, HUMBERT (1968) cita os tecidos meristemáticos como os de maior concentração em N (lâminas foliares em crescimento), ficando a região de alongação (ponteiros) e folhas novas em segundo lugar.

Segundo SILVEIRA & CROCOMO (1981), é provável que a maior parte do nitrato absorvido seja transportada até os colmos e aí armazenada, mas somente nas fases jovens da

planta de cana-de-açúcar. Para SILVEIRA (1985), possivelmente o nitrato acumulado vá ser posteriormente mobilizado para outros sítios de redução, possivelmente as folhas. O mesmo autor reforça esta hipótese pelo fato de que aumentos na área foliar, teor de proteínas nas folhas, concentração e atividade de enzimas, respiração mitocondrial e taxa de assimilação do  $\text{CO}_2$  estão relacionados a altos níveis de N. E ainda, os tecidos meristemáticos apresentam um metabolismo de proteínas bastante ativo e atuam como sítios, nos quais, ocorre predominantemente a síntese de ácidos nucleicos e proteínas, a partir de fotossíntese, para o que o N parece desempenhar um papel de controlador da taxa de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar.

Ainda sobre o estudo das interrelações entre assimilação de N e crescimento, na década de 30, a variação no teor de N durante o ciclo de 14 meses da cana-de-açúcar, foi alvo de interesse de AYRES (1936), que percebeu declínio do teor, com base na matéria seca, em função da idade, para colmos e folhas. A absorção de N pela parte aérea, ao longo dos 14 meses, se mostrou crescente, muito embora o percentual de N para as folhas novas tenham mostrado tendência inversa (JONES & HUMBERT, 1960; SRIVASTAVA, 1970; SINGH, 1978a).

Também segundo SILVEIRA (1985) a correlação entre a absorção de N e a atividade da reductase do nitrato é mais intensa nos estádios iniciais de crescimento, decrescendo bruscamente com a idade. Sabe-se também que a

atividade fotossintética comporta-se do mesmo modo (ALEXANDER, 1973) e isto parece estar relacionado com a concentração de N-total na planta (HARTT & BURR, 1967; ALEXANDER, 1973).

Então pode-se dizer que há uma correlação entre a atividade da reductase do nitrato (redução do  $\text{NO}_3^-$ ) e atividade fotossintética. Ocorre que o processo de redução do nitrato consome bastante energia, que é gerada pela degradação de açúcares produzidos na fotossíntese, esclarecendo portanto, a estreita correlação entre redução do  $\text{NO}_3^-$  e a redução fotossintética do  $\text{CO}_2$ . (SILVEIRA, 1980).

Em ensaios de campo ROSARIO & SOOKSATHAN (1978) notaram que o aumento no nível de fertilidade do solo, levou a uma maior taxa de atividade da reductase do nitrato exibida pela planta, 2 meses após a aplicação do N, sendo que esta taxa se mostrou decrescente com a idade da cultura. No mesmo trabalho os autores perceberam a existência de correlações positivas entre a atividade da enzima com produção de cana e de açúcar por área e negativa com produção de açúcar por tonelada de colmos.

Este fato é concordante com os de outros trabalhos que afirmam que elevados níveis de N no solo (SILVEIRA, 1985) ou em solução nutritiva (SILVEIRA, 1980), provocam aumentos nas taxas de absorção de N e conseqüentemente na atividade da reductase do nitrato.

Para as plantas de cana-de-açúcar a exigência em N inicia-se já nas primeiras semanas de crescimento e,



nesta época, parecem absorver mais do que necessitam. Os trabalhos de TRIVELIN et alii (1986a) indicam que por volta do 5<sup>o</sup>-6<sup>o</sup> meses de desenvolvimento da cana-soca, praticamente todo o N derivado do fertilizante tinha sido consumido (90% do total aplicado), para SAMPAIO et alii (1984) isto ocorreu aos 3 meses após a aplicação da <sup>15</sup>N-uréia e para LIMA JUNIOR (1982), 72% do N consumido pela cultura tinham sido absorvidos dentro dos 6 primeiros meses.

Essa "alimentação de luxo" seria benéfica, pois o N parcialmente acumulado serviria para posterior utilização na fase de desenvolvimento vigoroso da planta, diminuindo então a concentração de N nos tecidos, pelo efeito de diluição. (MALAVOLTA & HAAG, 1964; KIEHL, 1982).

Segundo HUMBERT (1968), no início (dentro dos primeiros 90 dias de desenvolvimento) não há um paralelismo entre absorção de nitrogênio e produção de massa seca, pois neste período, a absorção ocorrendo em excesso e antes do máximo da produção de massa seca (SINGH, 1978c), faz com que a planta se mostre insuficiente para acumular metade da massa, que exibiria ao final de seu ciclo.

Até 8 semanas, as plantas jovens de cana-de-açúcar cultivadas em solução nutritiva, apresentaram um aumento progressivo da concentração de N na parte aérea, provavelmente no colmo e concentrações praticamente constantes nas raízes. (ALEJO, 1980).

Em condições de campo VAN DILLEWIJN (1952) relata que o suprimento excessivo de fertilizante nitrogena-

do promoveu uma rápida absorção de N durante os primeiros meses, atingindo um máximo, aos 10 meses aproximadamente, a partir de que a quantidade de N na planta permaneceu constante e a produção de massa dobrou no período.

JÁ as observações feitas por CATANI et alii (1959) levaram-os a concluir que a quantidade de N absorvida no início de desenvolvimento é muito pequena, aumentando sensivelmente apenas a partir do 8º ou 9º mês de idade. Seus dados mostraram que 54% do N acumulado durante o ciclo da cultura foram assimilados entre o 9º e 12º meses.

Este assunto foi bem abordado por SILVEIRA (1980), em pesquisas com a variedade NA 56-79, quando confirmou a possibilidade da planta absorver e acumular N em resposta ao aumento de sua concentração. Explicou o autor que os valores máximos da taxa de absorção de N e da atividade da reductase do nitrato, antecedem, no tempo, os valores máximos de taxa de assimilação líquida e de crescimento da cultura esclarecendo, em parte, o decréscimo exponencial na percentagem de N observado na parte aérea da cana-de-açúcar, através do efeito da diluição causado pelo crescimento acelerado citado por HUMBERT (1968).

Assim sendo, as partes mais novas da planta retiram o N dos internódios maduros e estes, juntamente com as folhas adultas, à medida que envelhecem, liberam parte de seu N, que é translocado para os tecidos mais jovens. (VAN DILLEWIJN, 1952).

O acúmulo de N propiciado pela "alimentação de luxo" embora benéfico, como se disse anteriormente, por permitir a utilização deste N na época de desenvolvimento vigoroso (MALAVOLTA & HAAG, 1964), pode mostrar-se, no entanto, como um fator desfavorável, uma vez que as plantas contendo elevados teores de N têm a sua eficiência de utilização do nutriente diminuída. (TAKAHASHI, 1967b; SILVEIRA, 1985; ROSSIELLO, 1987). Além disso pode acarretar prejuízo à cultura, devido à grande diminuição nas concentrações de açúcares redutores e açúcares solúveis totais do colmo e bainha. (SILVEIRA, 1985).

Segundo SINGH (1978a) foi na fase de perfilhamento que ocorreu a máxima liberação do N acumulado nas lâminas foliares para as diferentes partes da planta, o que levou-o a concluir que o parcelamento do fertilizante é desnecessário, recomendando-se a sua aplicação no plantio ou durante o estágio inicial da cana-de-açúcar.

Dados que reforçam esta afirmação são fornecidos pelo mesmo pesquisador (SINGH, 1978b), que demonstram que a máxima absorção de N pela cultura ocorre até o período de perfilhamento, seguido pelos períodos de alongação e maturação. Prova parcial disto foi fornecida pela retirada de 100% dos perfilhos, o que reduziu significativamente a absorção de N em todas as partes da planta (SINGH, 1983).

Como já se comentou em parágrafos anteriores, o N, além de estar envolvido com a produção de massa, interfere também na concentração e migração de açúcares das fo-

lhas ao colmo, sendo que na falta de N, as plantas apresentam baixa concentração de sacarose e açúcares redutores no colmo e ainda, um acúmulo de sacarose nas folhas, devido à diminuição de translocação (HARTT, 1970) e um aumento na relação folha/colmo e também alta relação parte aérea/raiz, em termos de massa seca. (SILVEIRA, 1985).

As formas de nitrogênio,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  (nitrato, amoniacal e amínico) parecem influir no crescimento, teor de açúcares e de N na planta de cana-de-açúcar, segundo informações de ALEJO (1980) ; CROCCMO et alii (1981). Estes pesquisadores demonstraram que o nitrato foi capaz de promover maior crescimento da cana-de-açúcar do que a uréia e o amônio; a uréia produziu efeito deletério sobre as raízes, mas favoreceu o crescimento da parte aérea até valores semelhantes aos do nitrato, enquanto que o amônio inibiu o crescimento geral da planta, sendo que a mesma apresentou o maior teor em N total e proteína nas raízes.

Uma das importâncias creditadas ao N é devida à sua possível atuação no estabelecimento do sistema fixador do  $\text{N}_2$  em cana-de-açúcar. RUSCHEL et alii (1975), em trabalhos para avaliar a atividade da nitrogenase nesta cultura, notaram que a maior fixação, na planta como um todo, foi encontrada justamente na que apresentava maior teor de N na planta toda.

Além disto, segundo SILVA & CASAGRANDE (1983), o nitrogênio interfere na umidade da planta, pois

parece favorecer a absorção de cálcio, que é um elemento tipicamente plasmolítico, que participa da formação da parede celular, facilitando a absorção de água, residindo aí a explicação da correlação positiva existente entre absorção de nitrogênio e umidade da cana-de-açúcar.

### 2.3.3. Sintomas de deficiência e excesso de N

Os sintomas associados à deficiência de nitrogênio foram descritos por VAN DILLEWIJN (1952); MALAVOLTA & HAAG (1964); HUMBERT (1968); SILVEIRA (1980); MALAVOLTA (1982a), dentre outros, que resumidamente, são os seguintes:

- coloração verde-avermelhada que apresentam primeiro as folhas mais velhas, progredindo para a planta toda, com posterior clorose (amarelecimento);
- os colmos tornam-se finos;
- a elongação diminui;
- as raízes atingem comprimentos maiores, mas seu diâmetro é diminuído em relação às que receberam suprimento adequado de N;
- o crescimento é reduzido ou até paralizado;
- o perfilhamento é reduzido;
- decréscimo no teor de umidade da planta, com conseqüente diminuição na quantidade de caldo;
- aumento no teor de fibra;
- aumento no teor de cinzas;

- decréscimo na concentração de sacarose e açúcares redutores totais no colmo e acúmulo de sacarose nas folhas;

- alta relação folha/colmo.

O N utilizado em excesso apresenta implicações desfavoráveis, algumas delas, citadas a seguir:

- acúmulo de N no colmo (CROCOMO et alii, 1981);

- diminuição da concentração de sacarose (DAS, 1936; ALEXANDER, 1964; GEUS, 1967), açúcares redutores e produção de açúcares totais (CROCOMO et alii, 1981), com conseqüente queda no rendimento em açúcar (VAN DILLEWIJN, 1952);

- populações de colmos mais densas, com o aumento do número de perfilhos, mas com alta incidência de mortalidade de colmos (HUMBERT, 1968);

- piora na qualidade do caldo (HUMBERT, 1968; SILVA, 1983);

- atraso na maturação (SAMUELS & ALERS-ALERS, 1964; HUMBERT, 1968; FRITZ, 1974; LAKSHMIKANTHAN, 1974; MARINHO et alii, 1975; AZEREDO et alii, 1979; SALATA, 1982).

#### **2.4. Adubação nitrogenada em cana-de-açúcar e produtividade**

### 2.4.1. Aspectos gerais

Analisando-se através da literatura (Tabelas 3 e 4), as respostas da cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada, em termos de produtividade (massa/ha), nota-se que são bastante adversas, para a cana-planta e relativamente homogêneas para as soqueiras. (BORDEN, 1948; SAMUELS, 1956; ESPIRONELO et alii, 1981a).

WOOD (1968a) relata que cerca de 2000 experimentos levados a efeito entre 1900 a 1955, em vários países da Comunidade Britânica, mostraram que a resposta à aplicação de fertilizante N, variou consideravelmente de um país para outro, sendo que as respostas para a primeira soca eram normalmente muito maiores que as mostradas pela cana-planta.

A cana-planta, segundo VAN DILLEWIJN (1952), é mais eficiente no uso de nitrogênio que as soqueiras. A relação entre tonelagem de cana-de-açúcar produzida e quantidade de N retirada para tal, é dada por CHUI & SAMUELS (1981) como sendo ao redor de 1,15 para a cana-planta e 0,93, para as soqueiras.

A síntese de alguns dados sobre a resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, obtidos da literatura é dada pelas Tabelas 3 e 4, para cana-planta e soqueiras, respectivamente. Ainda, a Tabela 5, apresenta sucintamente alguns dados sobre as recomendações de adubação nitrogenada

Tabela 3. Resposta da cana-planta à adubação-N, em termos de produção de massa, obtida por diversos autores, em diferentes condições de trabalho. (Compilado).

| Fonte                         | Resposta |
|-------------------------------|----------|
| ALVAREZ et alii, (1957)       | + '1'    |
| ARAÚJO et alii, (1957)        | ● '2'    |
| ALVAREZ et alii, (1958)       | +        |
| ALVAREZ et alii, (1960)       | 0        |
| ARRUDA, (1960)                | +        |
| TOLEDO & NOVAES, (1962)       | +        |
| ALVAREZ et alii, (1963)       | +        |
| MALAVOLTA et alii, (1963)     | 0        |
| TAKAHASHI, (1967b)            | +        |
| ESPIRONELO et alii, (1977)    | +        |
| ORLANDO FILHO et alii, (1977) | 0        |
| MANHÃES et alii, (1978)       | ●        |
| AZEREDO & BOLSANELLO, (1979)  | 0        |
| AZERERDO et alii, (1979)      | 0        |
| BRINHOLI et alii, (1980b)     | +        |
| ESPIRONELO et alii, (1980)    | +        |
| BRINHOLI et alii, (1981)      | 0        |
| CHUI & SAMUELS, (1981)        | +        |
| ESPIRONELO et alii, (1981b)   | +        |
| FAGANELLO, (1981)             | 0        |
| LIMA JÚNIOR, (1982)           | 0        |
| SALATA, (1982)                | 0        |
| FARIA et alii, (1983)         | +        |
| SILVA et alii, (1983)         | +        |
| SOBRAL & LIRA, (1983)         | 0        |
| SAMPAIO et alii, (1984)       | 0        |
| AZEREDO et alii, (1986)       | 0        |
| BITTENCOURT et alii, (1986)   | 0        |
| ROSSIELLO, (1987)             | +        |

'1' e '2' representam maior percentagem de respostas positivas e nulas, respectivamente, encontradas pelos autores.



Tabela 4. Resposta da cana-soca à adubação-N, em termos de produção de massa, obtida de diversos autores, em diferentes condições de trabalho. (Compilado).

| Fonte                                   | Resposta         |
|---|------------------|
| DU TOIT, (1960)                         | + <sup>(1)</sup> |
| STANFORD, (1963)                        | +                |
| ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR, (1979) | +                |
| AZEREDO et alii, (1980)                 | +                |
| BRINHOLI et alii, (1980a)               | +                |
| BRINHOLI et alii, (1981)                | 0 <sup>(2)</sup> |
| CHUI & SAMUELS, (1981)                  | +                |
| SILVA et alii, (1981)                   | +                |
| LIMA JÚNIOR, (1982)                     | +                |
| MARINHO et alii, (1982)                 | +                |
| GLÓRIA et alii, (1984)                  | 0                |
| PENNA & FIGUEIREDO, (1984)              | +                |
| SOBRAL & LIRA, (1984)                   | +                |
| OBATOLU & ENZMANN, (1985)               | +                |
| SAMPAIO et alii, (1984)                 | 0                |

<sup>(1)</sup> e <sup>(2)</sup> representam maior percentagem de respostas positivas e nulas, respectivamente, encontradas pelos autores.

Tabela 5. Recomendação de adubação nitrogenada para cana-planta e soqueira. (Compilado de diversos autores).

| Fonte                                   | Recomendação<br>(kgN/ha) | Ciclo             | Outras informações<br>(tipo de solo e/ou local) |
|---|--------------------------|-------------------|---|
| MALAVOLTA et alii, (1967)               | 45-60                    | cp <sup>(1)</sup> | SP.   |
| ESPIRONELO & OLIVEIRA (1972)            | 40-50                    | cp                | SP.   |
| ORLANDO FILHO, (1975)                   | 25 e 60                  | cp                | argilosos e arenosos, respectivamente           |
| ORLANDO FILHO, (1977)                   | 80 e 120                 | cp                | arenosos e argilosos, respectivamente           |
| RECOMENDAÇÕES DE ....COPERSUCAR (1977)  | 60                       | cp                | SP.   |
| AZEREDO et alii, (1981)                 | 30                       | cp                | latossolos ou de textura leve; RJ, ES e MG.     |
| ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JUNIOR, (1981) | 50-120                   | cp                | SP.   |
| ZAMBELLO JUNIOR & ORLANDO FILHO, (1981) | 60                       | cp                | arenosos ou argilosos; Região Centro-Sul        |
| SALATA, (1982)                          | 80                       | cp                | SP.   |
| FARIA et alii, (1983)                   | 213                      | cp                | vertissole                                      |
| SOBRAL & LIRA, (1983)                   | 50-110                   | cp                | NE  |
| AZEREDO et alii, (1986)                 | até 120                  | cp                | cambissolos                                     |
| ROSSIELLO, (1987)                       | 120-140                  | cp                | cambissolos                                     |
| .....                                   |                          |                   |   |
| ORLANDO FILHO, (1975)                   | 30                       | s <sup>(2)</sup>  | arenosos ou argilosos                           |
| ORLANDO FILHO, (1977)                   | 30                       | s                 | arenosos ou argilosos                           |
| ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JUNIOR (1981)  | 30                       | s                 | arenosos ou argilosos                           |
| ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JUNIOR, (1979) | 40                       | s                 | SP.   |
| AZEREDO et alii, (1981)                 | 80                       | s                 | RJ, ES e MG.                                    |
| ZAMBELLO JUNIOR & ORLANDO FILHO, (1981) | 167                      | s                 | TE  |
| ZAMBELLO JUNIOR & ORLANDO FILHO, (1981) | 60                       | s                 | arenosos ou argilosos; Região Centro-Sul        |
| SOBRAL & LIRA, (1983)                   | 100-170                  | s                 | NE  |
| PENNA & FIGUEIREDO, (1984)              | 80                       | s                 | -   |
| RODRIGUES et alii, (1984)               | 90-100                   | s                 | -   |
| .....                                   |                          |                   |   |
| GEUS, (1967)                            | 56-400                   | cp, s             | -   |
| VALDIVIA, (1982)                        | 300                      | cp, s             | -   |

(1) cp, significa cana-planta.

(2) s, significa soqueira.

para a cana-de-açúcar, que, sendo baseadas nesta resposta, também se mostram bastante heterogêneas.

#### 2.4.2. Alguns possíveis esclarecimentos sobre a resposta da cana-planta à adubação nitrogenada

Muito embora, muitos autores tenham afirmado que o nitrogênio ocupe lugar de destaque na fertilização da cana-de-açúcar, dada à sua importância no metabolismo da cultura, os mecanismos de resposta ao nutriente, principalmente para a cana-planta, não estão ainda suficientemente elucidados.

Inúmeros fatores parecem contribuir para a inconstância das reações à adubação-N no caso da cana-planta. A presença de microrganismos fixadores na rizosfera da cana-de-açúcar, como já se escreveu anteriormente, é uma indicação que a fixação deve desempenhar um importante papel na auto-suficiência em N, por parte desta cultura. (DÖBEREINER et alii, 1973; RUSCHEL & VOSE, 1982; TRIVELIN et alii, 1986a; URQUIAGA et alii, 1987).

Além desse fator, outros como a forma do N (SAMUELS et alii, 1952), a inexistência de nitrogênio em dosagens e colocação corretas (TANIMOTO & BURR, 1960; HUMBERT, 1968; MALAVOLTA, 1977), as perdas por lixiviação e volatilização, a seleção de variedades sob o ponto de vista de baixa exigência nutricional, também poderiam contribuir para isto. WOOD (1968b) acrescenta que as variações

climáticas que ocorrem de um ano para outro, entre uma localidade e outra, e o fato da cana-planta e soqueiras estarem sob diferentes condições sazonais e regimes de irrigação, são também importantes nesta influencição.

Já ZAMBELLO et alii (1983) acreditam estarem relacionadas a este efeito, as características físicas, químicas e morfológicas do solo (textura, conteúdo em argila, CTC, etc.). Sendo assim, a classificação numérica e a classificação americana de solos poderiam ajudar no estudo desta reação. Os resultados da pesquisa dos autores, em 26 tratamentos no campo, correlacionando a reação da cana-planta ao N às propriedades físicas e químicas do perfil do solo ou a fatores genéticos e morfológicos, levaram-os a concluir que a estimativa de produção da cana-de-açúcar está diretamente correlacionada à CTC do perfil. Segundo KIEHL et alii (1981), o tipo de solo pode influir no período de permanência do N na camada arável do solo.

PEREIRA et alii (1985), muito embora tenham trabalhado com soqueiras, conseguiram perceber que os solos que apresentavam teores de argila superiores a 35%, nem sempre reagiam favoravelmente à adubação nitrogenada, em complementação à aplicação de vinhaça, sendo que, quando havia resposta positiva, o nível da mesma se mostrava variável. Em trabalhos semelhantes, GLÓRIA et alii (1984) notaram que efeitos mais favoráveis à complementação nitrogenada em soqueiras, ocorreram em solos com teor de argila superior a 50%. DU TOIT (1960), afirmava o oposto, ou seja, a

resposta ao N em solos leves eram geralmente altas, principalmente para a cana-planta.

Ainda sobre o mesmo assunto, AZEREDO et alii (1986) não conseguiram correlacionar resposta da cana-planta ao N e textura do solo, o que leva a crer não ser o teor de argila, um bom parâmetro a ser utilizado na recomendação da adubação nitrogenada, em cana-de-açúcar.

Talvez, segundo SALCEDO & SAMPAIO (1984), parte da explicação da baixa resposta da cana-planta à adubação nitrogenada resida na quantidade de nitrogênio na forma nítrica, que encontraram presente no solo em profundidade, no início de desenvolvimento da cana-planta, que em seus experimentos com  $^{15}\text{N}$ , foi ao redor de 50 Kg N/ha. Este N poderia ter sido acumulado durante o período de repouso entre a colheita do ciclo anterior e o replantio. Dessa forma a rebrota (cana-soca) encontraria o solo totalmente empobrecido até 100 cm de profundidade, aumentando assim as possibilidades de resposta à fertilização nitrogenada neste ciclo.

Esta hipótese é reforçada pelas informações de HUMBERT (1968), que sugere a influência da diferença de vigor dos sistemas radiculares da cana-planta e das soqueiras, muito menos vigorosos neste último caso, portanto menos aptos a absorverem o N em profundidade, tornando a adição de N às socas, essencial à manutenção de altas produtividades.

Para alguns autores (SAMUELS, 1956; CHUí & SAMUELS, 1981; ZAMBELLO JÚNIOR & ORLANDO FILHO, 1981; LIMA

JUNIOR, 1982; BITTENCOURT et alii, 1986), a maior eficiência de utilização do N pela cana-planta, ou menor resposta à adubação nitrogenada é explicada por ter a mesma, à sua disposição, uma maior reserva de N no solo. Com a reforma do canavial, as operações de preparo do solo aumentariam a aeração do mesmo, facilitando a mineralização da matéria orgânica incorporada tal como raízes e outros restos da cultura, propiciando assim, a introdução de N adicional ao solo.

No caso das soqueiras, ZAMBELLO JUNIOR & ORLANDO FILHO (1981) afirmam que a atividade microbiana seria dificultada pela menor aeração do solo, devido à compactação e também pelas baixas condições de temperatura e umidade (características da Região Centro-Sul do País). A decomposição desta matéria orgânica (restos da cultura e raízes) de alta relação C/N, junto com o período de grande exigência em N pela cultura, fariam com que qualquer adição de N ao processo fosse acompanhada por uma rápida resposta, em termos de crescimento, pela soqueira.

SCHNÜRER & ROSSWALL (1987), embora trabalhando com cevada, mostraram que o N nativo da biomassa do solo era resistente à mineralização e absorção pela planta, mas NG KEE KWONG et alii (1987) investigando a contribuição do  $^{15}\text{N}$ -N, contido nos restos de cultura, à nutrição da cana-de-açúcar em condições de campo e em vasos, perceberam que esta era muito pequena para explicar a não resposta ao N. Os dados obtidos dos vasos mostraram que, em dois solos, esta

contribuição foi de menos de 10% do N removido pela cana-de-açúcar e menos de 15%, aos dezoito meses da cultura, em condições de campo. Citam os autores, que na ausência de fertilizante nitrogenado, a adição dos restos de cultura à superfície (5t/ha) depreciou a absorção de N do solo pela cana-de-açúcar, pela imobilização do N disponível no solo. Argumentam ainda que a adição desta matéria orgânica seria valiosa por melhorar as condições físicas e a habilidade do solo em reter nutrientes (cátions).

A resposta da cana-de-açúcar à aplicação de fertilizante nitrogenado, segundo SILVEIRA (1985), 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 em termos de eficiência do uso do N. Ocorre que as bases fisiológicas para as respostas ao nitrogênio aplicado como fertilizante ainda não são totalmente conhecidas.

HILTON & MCKENZIE (1980), em seus 105 experimentos com doses de N variando de 0-700 Kg/ha, não conseguiram medir as diferenças de produtividade em função do N aplicado para os experimentos individuais, pois estas diferenças eram menores que a variabilidade do próprio experimento. Os autores acreditam que, também aqui, os resultados foram provavelmente influenciados por fatores genéticos e ambientais.

BITTENCOURT et alii (1986) baseados em seus trabalhos com  $^{15}\text{N}$ , que apresentaram eficiências baixíssimas

de utilização do fertilizante-N, afirmam que a cana-de-açúcar pode ter condições de receber N de "outras fontes", que não do fertilizante, e que este pode ser submetido a processos que o tornam indisponível à cana-de-açúcar. Estas "outras fontes", também citadas por LIMA JÚNIOR (1982), seriam o N residual no solo e a fixação assimiótica do nitrogênio, que em conjunto com outros mecanismos, formariam um "reservatório" suficiente para suprir todas as necessidades da cultura e isto parece ser evidenciado com mais freqüência em solos LR, PVls e TE, que vem sendo cultivados com cana-de-açúcar há muitos anos. (BITTENCOURT et alii, 1986).

Ainda segundo estes últimos autores, as soqueiras apresentam respostas positivas à fertilização nitrogenada, pois esse processo de formação de reservatório de N exigira certo tempo e, provavelmente, não seria suficiente para suprir totalmente as necessidades das soqueiras.

#### **2.4.3. Uso de $^{15}\text{N}$ para avaliação da recuperação do N aplicado via fertilizante**

A eficiência de utilização do N(%) obtida através do aumento do N extraído na matéria seca em relação à testemunha (medido pelo método de Kjeldahl), por unidade de nitrogênio aplicado como fertilizante é uma técnica disponível. (ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR 1981).



Os pioneiros na utilização de  $^{15}\text{N}$  em pesquisas com cana-de-açúcar, a fim de se estudarem os mecanismos de utilização do N por esta cultura, foram BURR & TAKAHASHI (1955).

Em seus trabalhos, TAKAHASHI (1964; 1967b; 1968) tem insistido que a utilização do  $^{15}\text{N}$  como traçador, em pesquisas dessa natureza, é de valor indiscutível, constituindo-se na única maneira que permite separar de forma direta e precisa (BUJAN et alii, 1982), quanto do nitrogênio na planta ou parte dela, é proveniente do fertilizante e quanto é proveniente do solo.

Segundo experimentos relatados por HAUCK (1971), de uma forma bem ampla, as culturas conseguem recuperar de 50 a 75% do N aplicado via fertilizante. De uma forma mais detalhada, o mesmo autor (HAUCK, 1973) fornece dados de diferentes condições experimentais, indicando que 30-70 % do N aplicado são recuperados no primeiro ano, 10-40% permanecem como N remanescente no solo, 5-10% são removidos por lixiviação e 10-30% são presumíveis como perdas.

Aplicando-se  $^{15}\text{N}$ -uréia em feijoeiro, NEPTUNE & MURAKA (1978) obtiveram 11,24 - 35,7% de eficiência de utilização do  $^{15}\text{N}$  e LIBARDI et alii (1982), 44,3% para três ciclos da mesma cultura, sendo 38,5% no primeiro ciclo, 4,6 e 1,2% no segundo e terceiro ciclos, respectivamente, ambos representando efeitos residuais da aplicação no primeiro ciclo.

Em capim gordura, URQUIAGA et alii (1982) constataram eficiências de utilização da ordem de 69,5% do  $^{15}\text{N}$ -uréia (apesar deste representar apenas 1,4% do total de N absorvido pela cultura) e OLSON & SWALLOW (1984) notaram que apenas 27 a 33% do  $^{15}\text{N}$  aplicado via sulfato de amônio, tinham sido recuperados pela cultura de trigo, depois de cinco anos da aplicação.

Embora PARISH (1967) tenha estimado que a cana-de-açúcar apresente uma eficiência de utilização do fertilizante nitrogenado, ao redor de 50%, uma série de experimentos levados a efeito por TAKAHASHI (1964; 1967a; 1967b; 1968; 1969; 1970a; 1970c) demonstraram que para a cana-planta, esta eficiência pode variar de aproximadamente, 21 a 40,6%; para a soca, de 11,6 a 27,3% e como efeito residual do N aplicado à cana-planta nas sucessivas socas, os valores situam-se entre 2,86 a 7,10 (2,86 a 7,10; 0,86 a 2,11 e 0,43 a 1,84 para, respectivamente, 1ª, 2ª e 3ª socas). Esta amplitude de variação dos resultados é explicada pelo pesquisador como sendo decorrente da variabilidade climática dos locais dos experimentos, mais especificamente o regime hídrico, além dos efeitos produzidos por formas de N, doses e métodos de aplicação do fertilizante, dentre outros.

WOOD (1974) encontrou valores de recuperação do  $^{15}\text{N}$ -sulfato de amônio aplicado no plantio da cana-de-açúcar em condições de campo, bastante concordantes com os 30% de eficiência de utilização do  $^{15}\text{N}$  obtidos por LIMA JÚNIOR

(1982), no período de colheita da cana-planta, aos 14 meses. Este último autor estimou em menos de 2% a utilização do N residual do fertilizante.

Para CHAN & WENG (1983) em canaviais de Formosa, as recuperações do N proveniente do sulfato de amônio marcado variaram de 7,3 a 45,8% para a cana-planta, dependendo da dose e do parcelamento e principalmente, da variedade empregada, sendo que o  $^{15}\text{N}$  absorvido representava, aproximadamente, 15% do total de N retirado pela cultura.

No Estado de São Paulo, TRIVELIN et alii (1986a) encontraram um alto valor de eficiência de utilização do  $^{15}\text{N}$  do fertilizante, para a soqueira de final de safra, 38%, e outro bastante menor, (TRIVELIN et alii 1987b), 13,7%, para as soqueiras de início de safra. Demonstrou-se assim, a importância do regime de chuvas (bastante freqüentes no Estado de São Paulo, nas épocas de final de safra), e portanto da umidade do solo, na utilização do N do fertilizante.

Dando continuidade às pesquisas iniciadas em 1986, TRIVELIN et alii (1987a) avaliaram o efeito residual do  $^{15}\text{N}$  aplicado à 2ª soca, na soca subsequente (3ª), cujo valor foi de aproximadamente, 3%, perfazendo uma eficiência acumulada de 41% para os dois ciclos da cana-de-açúcar (2ª e 3ª socas).

Em experimentos de campo, em regiões canavieiras do Nordeste brasileiro, SAMPAIO et alii (1984), contabilizaram a eficiência de utilização do fertilizante

(EUF)  $^{15}\text{N}$ -uréia para a cana-planta, como sendo de 39%, representando com isto, menos de 10% do total retirado pela cultura.

SAMPAIO & SALCEDO (1987), obtiveram uma eficiência de utilização do fertilizante marcado de 39-47% para a cana-planta e primeira soca e 27-32% para a segunda e terceira socas, totalizando uma eficiência acumulada de 66 a 79% para os quatro ciclos da cultura.

De todos os trabalhos consultados, somente os de BITTENCOURT et alii (1986) mostraram praticamente nenhuma recuperação do  $^{15}\text{N}$  pela cana-planta (0,2 a 2,68%), em condições de campo, a despeito de terem trabalhado com diferentes variedades e tratamentos. Como já foi discutido em capítulo anterior, os pesquisadores atribuem estes resultados à possibilidade de existirem outras fontes de N, além do fertilizante, suficientes para suprirem as necessidades do nutriente pela cultura no referido ciclo.

Como se pode através destas informações, mesmo em circunstâncias diferentes de clima, solo, etc., o N aplicado a um ciclo pode estar parcialmente disponível aos ciclos subseqüentes. Esta informação muito dificilmente teria sido obtida sem o emprego do  $^{15}\text{N}$ , o que leva a crer que o caminho iniciado por BURR & TAKAHASHI (1955), ao utilizarem pela primeira vez o  $^{15}\text{N}$  em experimentos com cana-de-açúcar, continua aberto à comunidade científica envolvida no estudo da nutrição e adubação da cana-de-açúcar. É possível que a partir desta preciosa ferramenta de trabalho,

o  $^{15}\text{N}$ , se possam esclarecer melhor os mecanismos de resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada.

## 2.5. Amostragem da planta

Por mais surpreendente que possa parecer, a amostragem da cana-de-açúcar, visando a avaliação de seu estado nutricional para fins de recomendação de adubação ou mesmo no âmbito da pesquisa, ainda esbarra na incerteza sobre qual seria o tecido a ser amostrado, mais adequado a estes objetivos.

É sabido que não há um tecido universalmente aceito como órgão amostrador para a cana-de-açúcar, o que pode até parecer vantajoso. Sem dúvida, é bastante difícil de se supor que um único tecido possa espelhar sozinho o estado nutricional da planta para todos os nutrientes. (CLEMENTS & GHOTB, 1969).

Apesar da lâmina foliar ser um tecido bastante utilizado para amostragem, percebe-se que não há um consenso sobre qual seria, taxonomicamente falando, a folha mais adequada a este fim. A folha +1 ou "Top Visible Dewlap" (TVP), segundo o sistema de classificação de Kuijper, citado por CLEMENTS & GHOTB (1969); BACCHI (1985), é a mais utilizada nas diversas regiões canavieiras do mundo (ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR, 1983). Contudo, GALLO et alii (1962); MALAVOLTA (1982b), sugerem a folha +3, como a mais indicada, para as condições de Brasil.

A diagnose foliar tem sido aceita para se determinar a necessidade de fertilizante, entretanto nota-se uma certa confusão no emprego desta terminologia, uma vez que a mesma pode englobar outras partes da planta, como colmos e ponteiros, além das folhas como o termo dá a entender. (SAMUELS, 1960).

Muitos métodos de diagnose foliar têm sido propostos por vários pesquisadores. Um dos pioneiros e mais conhecidos foi fornecido por CLEMENTS (1957; 1960a; 1960b), chamado de "crop-logging" e que é empregado mais especificamente na determinação da necessidade de adubação N, P, K, dentre outros nutrientes. Este método prevê a coleta de amostras da parte aérea da planta no campo, representativas da área em estudo, a cada 35 dias, desde os 3 meses após o plantio até a época da colheita. O terço médio das folhas +1, +2, +3 e +4 segundo o sistema de Kuijper (ou 3ª, 4ª, 5ª e 6ª para o sistema de CLEMENTS, 1960a), sem nervura principal são indicados para a análise de nitrogênio. A recomendação da fertilização é feita após a correção dos dados obtidos para umidade, idade da cultura, temperatura e posterior comparação com valores padrões ou índices.

Além deste, segundo SAMUELS (1960); ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR (1983), há muitos métodos de diagnose foliar, que não caberiam ser aqui discutidos.

Recomendações sobre onde coletar amostras de folhas e quantas coletar em um canavial foram dadas por

SAMUELS (1968); SAMUELS (1977); SAMUELS et alii (1955) que, de uma forma geral, seguem a lógica da metodologia de amostragem adotada para a maioria das culturas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local

A pesquisa foi levada a efeito no campo experimental do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo. O experimento compreendeu um área de 50 metros de comprimento, por 19,6 metros de largura, formando-se um talhão de 980 metros quadrados.

#### 3.2. Solo

O solo foi classificado como Terra Roxa Estruturada, pela Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (BRASIL, 1960). Para o sistema americano de classificação (E.U.A., 1975), trata-se de um Alfisol, mais especificamente, um Paleudalf óxico.



Os resultados das análises químicas e físicas do solo, encontram-se nas Tabelas 6 e 7.

Para as análises físicas, empregou-se o método da pipeta e dispersante Calgon.

A metodologia usada nas análises químicas, em resumo, foi a seguinte:

- pH em água, na relação 1:2,25 e para o pH em KCl, solução normal de KCl;

- carbono orgânico, pelo método de Walkley e Black, descrito por JACKSON (1976);

- fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio e alumínio + hidrogênio, pela metodologia descrita em EMBRAPA (1969).

### **3.3. Variedade da cana-de-açúcar e origem das mudas**

Utilizou-se a variedade NA 56-79 de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), cedida pela Estação Experimental Central-Sul do Instituto do Açúcar e do Alcool/Planalsucar, Araras (S.P.).

O emprego desta variedade foi sugerido por ser a mesma na época do experimento, bastante representativa em termos de área cultivada, no Estado de São Paulo e ainda, por tratar-se de uma variedade que apresenta características agroindustriais altamente desejáveis por um longo período da safra, de acordo com informações

Tabela 6. Resultados das análises de algumas características físicas do solo em estudo.

| Profundidade (cm) | Análise Mecânica (mm) (%) * |                   |                 |                        | classe textural |
|-------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
|                   | areia (2-0,05)              | limo (0,05-0,002) | argila (<0,002) | disp. H <sub>2</sub> O |                 |
| 0-30              | 29,8                        | 26,2              | 44,0            | 27,6                   | argila          |
| 30-60             | 20,6                        | 19,8              | 59,6            | 5,6                    | argila          |
| 60-90             | 21,7                        | 20,0              | 58,4            | 2,4                    | argila          |
| 90-120            | 23,8                        | 22,4              | 53,8            | 2,0                    | argila          |

\* Laboratório do Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP.

Tabela 7. Resultados da análise química do solo em estudo. \*

| Prof. (cm) | pH               |      | C (Org.) (%) | N (Total) | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> |                  | K <sup>+</sup> |                  | Na <sup>+</sup>  |                  | meq/100g T.F.S.A. ** |         | V(%) *** |
|------------|------------------|------|--------------|-----------|-------------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|---------|----------|
|            | H <sub>2</sub> O | KCL  |              |           | Ca <sup>2+</sup>              | Mg <sup>2+</sup> | H <sup>+</sup> | Al <sup>3+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup>     | CTC *** |          |
| 0-30       | 5,70             | 4,90 | 0,73         | 0,11      | 0,13                          | 0,47             | 0,04           | 4,10             | 0,92             | 6,40             | 11,93                | 46,39   |          |
| 30-60      | 6,00             | 5,30 | 0,57         | 0,08      | 0,06                          | 0,31             | 0,02           | 3,48             | 0,99             | 4,40             | 9,20                 | 52,17   |          |
| 60-90      | 6,00             | 5,40 | 0,46         | 0,06      | 0,06                          | 0,31             | 0,03           | 3,74             | 0,88             | 3,90             | 8,86                 | 55,98   |          |
| 90-120     | 6,10             | 5,50 | 0,40         | 0,05      | 0,04                          | 0,28             | 0,02           | 2,96             | 0,80             | 4,00             | 8,06                 | 50,37   |          |

\* Análises realizadas no Laboratório do Depto. de Solos, Geologia e Fertilizantes (ESALQ/USP).

\*\* Terra fina seca ao ar.

\*\*\* Capacidade de troca catiônica.

\*\*\*\* Índice de saturação de bases.

obtidas de STUPIELLO<sup>2</sup>.

### 3.4. Plano experimental

Como se pretendeu avaliar a eficiência de utilização do fertilizante uréia -  $^{15}\text{N}$  no primeiro (cana-planta) e segundo (cana-soca) ciclos da cultura, além de seu efeito residual neste último, houve-se por bem alterar o plano experimental de um ano para outro.

No primeiro ano, duas parcelas (P-1 e P-2), constituídas de três linhas de cana-de-açúcar cada uma, cujo comprimento de cada linha era de cinco metros, foram delimitadas, a fim de receberem o nitrogênio marcado via uréia enriquecida com  $^{15}\text{N}$ . O restante do talhão recebeu nitrogênio via uréia comercial ( $^{14}\text{N}$ ) em igual dosagem à das parcelas P-1 e P-2, e ficou denominado de P-0.

Além do nitrogênio, toda a área experimental recebeu adubação fosfatada e potássica.

A visualização do planejamento experimental adotado para o ciclo da cana-planta é apresentada na Figura 2.

Para o segundo ano da cultura (cana-soca), duas novas parcelas, P-3 e P-4, com dimensões iguais às de P-1 e P-2 foram estabelecidas, a fim de que recebessem

<sup>2</sup>- STUPIELLO, J.P. (ESALQ/USP. Departamento de Tecnologia Rural, Piracicaba). Comunicação Pessoal, 1982.

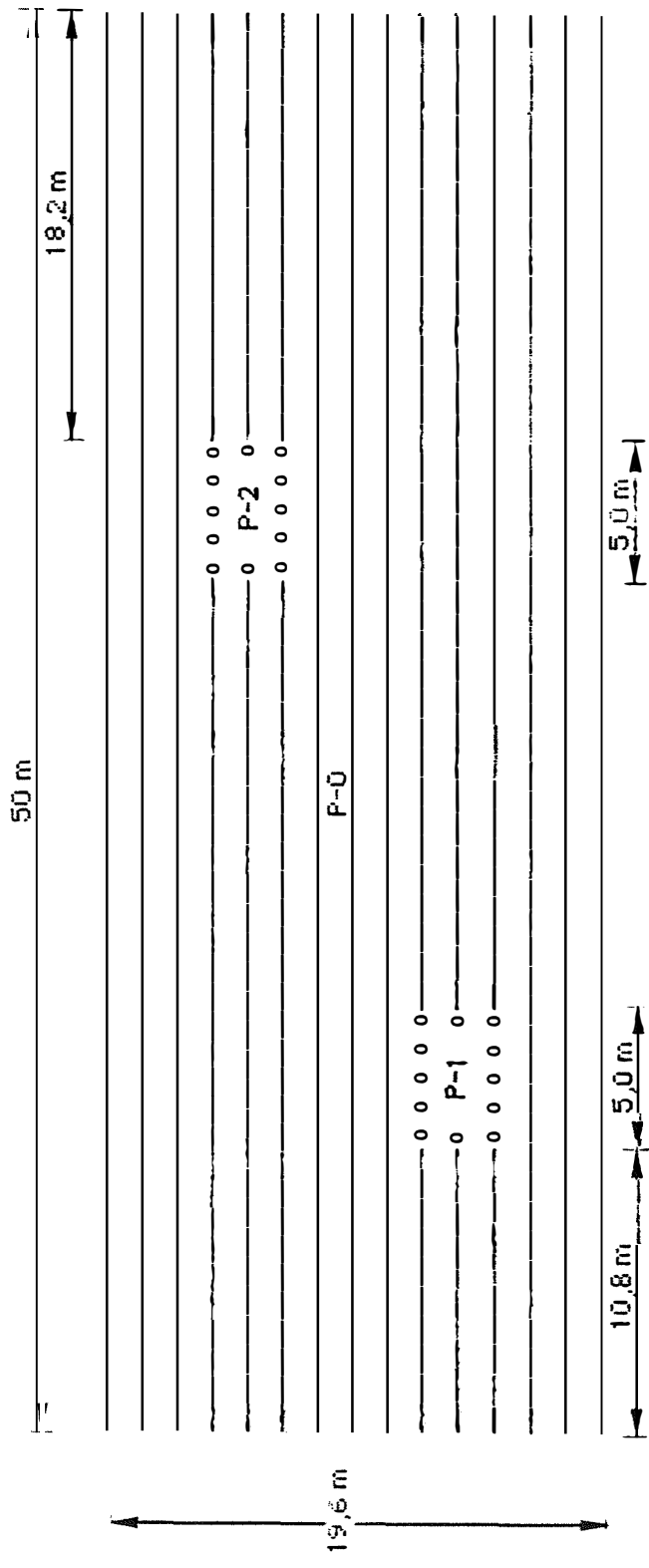


Figura 2. Esquema do plano experimental para a cana-planta (safra 82/83).  
 P-0 (—) - parcela com linhas adubadas com N-uréia.  
 P-1, P-2 (o o o) - parcelas com linhas adubadas com <sup>15</sup>N-uréia.

$^{15}\text{N}$ -uréia (além de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  comercial) o que permitiu a obtenção de informações sobre o aproveitamento do referido nutriente neste ciclo da cana-de-açúcar.

As parcelas P-1, P-2 e P-0 (linhas não marcadas), receberam adubação N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $\text{K}_2\text{O}$  (comerciais), em taxas de aplicação iguais às de P-3 e P-4.

O estudo dos dados de  $^{15}\text{N}$  das parcelas P-1 e P-2, P-3 e P-4 foi necessário para fornecer informações sobre o efeito residual e efeito atual, respectivamente, da uréia- $^{15}\text{N}$  na soca.

A localização das duas novas parcelas (P-3 e P-4), bem como a visualização do novo planejamento experimental são apresentadas na Figura 3.

#### 3.4.1. Preparo do solo e instalação da cultura

O preparo do solo constou de aração e gradagens convencionais, seguidas de sulcamento do terreno, com concomitante adubação de plantio da cana-de-açúcar, em 16/9/82. O espaçamento utilizado foi de 1,40 metros entre linhas, gerando-se com isto um total de 15 linhas de cana-de-açúcar plantadas.

O sistema de plantio adotado foi o de cana dupla, pé cruzado com ponta, e posterior corte das canas em toletes, com pelo menos duas gemas por tolete, com o auxílio de facção apropriado.

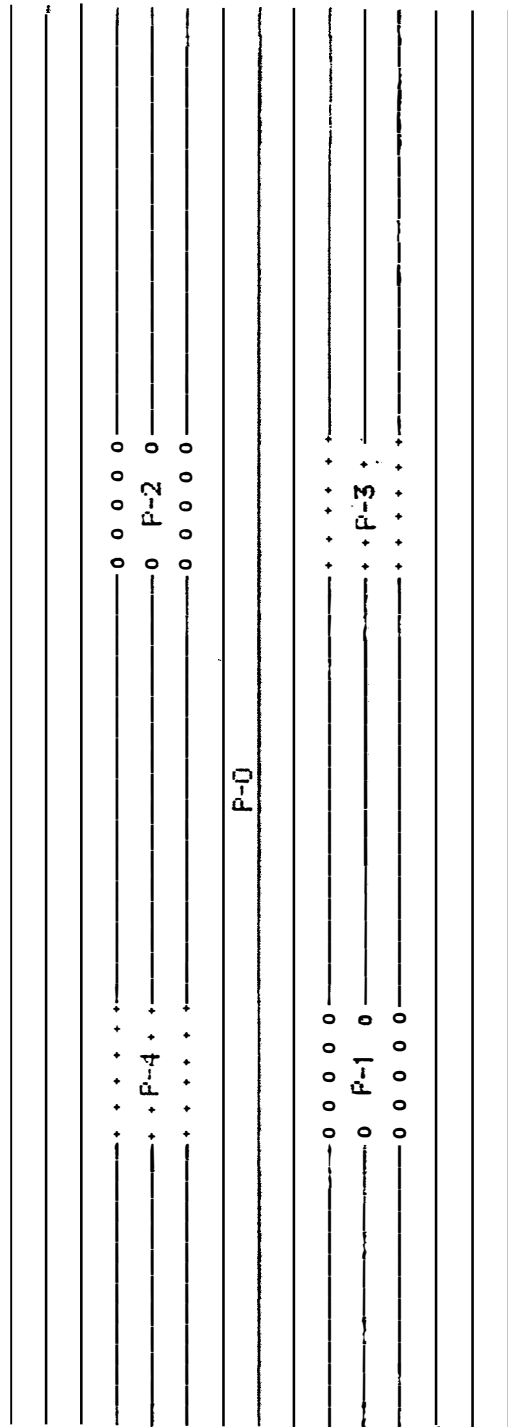


Figura 3. Esquema do plano experimental para a cana-soca (safrã 83/84).  
 P-0 (—) - parcela novamente adubada com N-urêa.  
 P-1, P-2 (o o o) - parcelas anteriormente adubadas com <sup>15</sup>N-urêa na cana-plantã, receberam N-urêa na soca (efeito residual).  
 P-3, P-4 (+++++) - parcelas com N-urêa na cana-plantã, receberam <sup>15</sup>N-urêa na cana-soca (efeito atual).

### 3.4.2. Adubação N-P-K

#### 3.4.2.1. Cana-planta

A adubação para a cana-planta constou de doses equivalentes a 100 Kg de N/ha, 125 Kg de  $P_2O_5$ /ha e 100 Kg de  $K_2O$ /ha, cujas fontes foram uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente.

Todos os fertilizantes, com exceção do nitrogenado, foram totalmente aplicados (incorporados) no sulco de plantio.

Quanto ao nitrogênio, aplicaram-se 50% da dose por ocasião do plantio e os restantes 50%, incorporados em cobertura, 160 dias após o plantio (d.a.p.). Saliente-se aqui que, às parcelas P-1 e P-2, couberam mesma dosagem e parcelamento do N, muito embora este fosse proveniente do fertilizante uréia -  $^{15}N$  e a sua distribuição haver sido, necessariamente, executada manualmente e a incorporação através do uso de enxada (dada a pequena quantidade de adubo a se aplicar).

Faz-se necessária uma breve explicação a respeito do atraso da adubação nitrogenada em cobertura. Decidiu-se por isto pois, a precipitação pluviométrica nos meses do outubro de 1982 a janeiro de 1983, mostrou-se bastante elevada, quando comparada à dos anos anteriores, o que poderia promover uma lavagem do N adicionado ao solo, (MALAVOLTA 1977; KIEHL, 1982).

### 3.4.2.2. Cana-soca

A adubação da cana-soca ocorreu conjuntamente ao seu cultivo, aos 67 e 68 dias após a colheita (d.a.c.) da cana-planta. As fontes de nutrientes N-P-K foram as mesmas que se utilizaram no ciclo anterior, mas em dosagens equivalentes a 50 Kg de N/ha, 45 Kg de  $P_2O_5$ /ha e 90 Kg de  $K_2O$ /ha.

As parcelas P-3 e P-4 receberam N via uréia- $^{15}N$  cuja distribuição foi manual, enquanto que para a parcela P-0 (não marcada) e demais fertilizantes, a aplicação foi feita mecanicamente.

O cronograma das atividades realizadas e eventos ocorridos nos dois ciclos, cana-planta e cana-soca, está na Tabela 8.

### 3.4.3. Enriquecimento e origem da uréia - $^{15}N$

A uréia utilizada no ciclo da cana-planta era enriquecida com 2,63 (+ ou - 0,009) átomos %  $^{15}N$  e a da cana-soca com 4,73(+ ou - 0,06) átomos %  $^{15}N$ . Ambas as determinações foram realizadas pela Seção de Isótopos Estáveis e Hidrologia do CENA/USP, por espectrometria de massa, em aparelho ATLAS-VARIANT, modelo CH-4, de acordo com a técnica de RITTENBERG (1946), modificada (IAEA, 1976).



**Tabela 8. Cronograma das atividades realizadas e eventos ocorridos durante dois ciclos da cultura de cana-de-açúcar (cana-planta e cana-soca).**

| DATA     | d.a.p.        | ADUBAÇÃO |    | PLANTIO | AMOSTRAGEM PLANTA | COLHEITA | OUTROS |
|----------|---------------|----------|----|---------|-------------------|----------|--------|
|          |               | N        | PK |         |                   |          |        |
| 16/09/82 | 0             | +        | +  | +       | -                 | -        |        |
| 22/12/82 | 97            | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 25/01/82 | 131           | -        | -  | -       | -                 | -        | *      |
| 22/02/83 | 159           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 23/02/83 | 160           | +        | -  | -       | -                 | -        |        |
| 30/03/83 | 195           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 04/05/83 | 230           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 12/05/83 | 238           | -        | -  | -       | -                 | -        | **     |
| 13/05/83 | 239           | -        | -  | -       | -                 | -        | **     |
| 28/05/83 | 254           | -        | -  | -       | -                 | -        | ***    |
| 22/06/83 | 279           | -        | -  | -       | -                 | +        |        |
| 23/06/83 | 280           | -        | -  | -       | +                 | +        |        |
| 24/06/83 | 281           | -        | -  | -       | -                 | +        |        |
|          |               |          |    |         |                   |          |        |
|          | <b>d.a.c.</b> |          |    |         |                   |          |        |
|          |               |          |    |         |                   |          |        |
| 22/08/83 | 59            | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 30/08/83 | 67            | +        | +  | -       | -                 | -        |        |
| 31/08/83 | 68            | +        | +  | -       | -                 | -        |        |
| 25/09/83 | 93            | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 25/10/83 | 123           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 24/11/83 | 153           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 20/12/83 | 179           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 23/01/84 | 213           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 24/02/84 | 245           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 22/03/84 | 272           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 25/04/84 | 306           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 24/05/84 | 335           | -        | -  | -       | +                 | -        |        |
| 19/07/84 | 391           | -        | -  | -       | +                 | +        |        |

+ ou - significam operação realizada ou não, respectivamente.

\* Ocorrência de chuvas de granizo - folhas da planta rasgadas, no sentido do comprimento.

\*\* Incidência de ventos fortes - acamamento parcial da cultura.

\*\*\* Ocorrência de chuvas de granizo e ventos muito fortes - acamamento total da cultura.

d.a.p. dias após o plantio.

d.a.c. dias após a colheita da cana-planta.

A International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena, Áustria, encarregou-se do fornecimento do fertilizante enriquecido ao CENA.

#### **3.4.4. Amostragem**

##### **3.4.4.1. Época de amostragem**

As épocas de amostragens para o ciclo da cana-planta foram aos 97, 159, 195, 230 e 280 dias após o plantio (d.a.p.). Para a cana-soca as coletas ocorreram aos 59, 93, 123, 153, 179, 213, 245, 272, 306, 335 e 391 dias após a colheita da cana-planta (d.a.c.).

Em ambos os casos, a última coleta correspondeu à época de colheita do ciclo.

##### **3.4.4.2. Coleta de material para análise**

O levantamento de dados sobre os níveis de nitrogênio na planta foi feito através da análise química e espectrométrica do N ( $^{15}\text{N}$ ) no tecido vegetal. Para isto, por necessidade e/ou conveniência das circunstâncias, utilizaram-se perfilhos (somente parte aérea), parte aérea subdivida em colmo e folhas (todas, inclusive o cartucho), e também o terço médio da folha +1 ("Top Visible Dewlap" ou primeira lígula visível), com nervura principal, sistema de

Kuijper, apresentado por VAN DILLEWIJN (1952) e por BACCHI (1985), como órgãos amostradores.

A literatura apresenta de forma bastante discutível, qual seria a parte da planta mais adequada à amostragem da cana-de-açúcar (HALAIS, 1960; CLEMENTS, 1960a; CLEMENTS, 1960b; GALLO et alii, 1962; SAMUELS, 1968; CLEMENTS & GHOTB, 1969), quando se visa ao conhecimento de sua necessidade nutricional e conseqüente recomendação de adubação. Como no trabalho a que se propôs desenvolver, o enfoque maior é dirigido ao destino do nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar, através da utilização do traçador  $^{15}\text{N}$ , praticamente todos os tecidos da planta podem prestar-se à amostragem. (TRIVELIN<sup>3</sup>).

No caso particular da folha +1 ou T.V.F. (Top Visible Dewlap), a opção por esta e não pela folha +3, preconizada por GALLO et alii (1962); ORLANDO FILHO & ZAMBELLO JÚNIOR (1983) fundamentou-se no fato de que, para efeito de análises de concentração em átomos %  $^{15}\text{N}$  em cana-de-açúcar, experimentos de campo não têm apresentado diferenças significativas entre as folhas +1, +2 e +3, como demonstram alguns resultados. (TRIVELIN<sup>3</sup>).

Outro cuidado que se tomou quanto à amostragem, referiu-se ao número adequado de amostras por

<sup>3</sup>- TRIVELIN, P.C.O. (ESALQ/USP, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba). Comunicação pessoal, 1988.

área, a ser coletado. Segundo MALAVOLTA (1982b); ORLANDO FILHO e ZAMBELLO JÚNIOR, (1983), duas folhas são suficientes para representar um hectare, enquanto que para SAMUELS et alii (1955), uma folha por hectare basta, desde que o solo não apresente variações apreciáveis, a variedade de cana-de-açúcar seja a mesma e a vegetação uniforme.

Quanto ao local de coleta de amostras, adotaram-se três procedimentos :

- Na parcela P-0 (fora das parcelas que receberam  $^{15}N$ ), coletou-se material ao acaso, em qualquer ponto do talhão, resguardando-se um metro de bordadura , tanto em relação às parcelas marcadas, quanto à área limite do experimento;

- Para as parcelas que receberam fertilizante marcado ( P-1, P-2, P-3 e P-4), excetuando-se as amostragens feitas concomitantemente aos períodos de colheita, retiraram-se amostras somente da linha central, e dentro dos três metros internos à linha, desprezando-se com isto, um metro de bordadura de cada lado.

- Para as parcelas marcadas, nas amostragens feitas por ocasião das colheitas (1º e 2º ciclos), retirou-se material de cada uma das três linhas, dentro dos três metros internos à cada linha, desprezando-se novamente um metro de bordadura de cada lado, a fim de se verificar se havia diferenças no enriquecimento da planta, de uma linha para outra.

Uma relação mais detalhada das amostragens realizadas, tecido amostrado, quantidade, local, ciclo da cultura e época da coleta consta da Tabela 9.

### **3.4.5. Análises e determinações**

#### **3.4.5.1. Massa verde, umidade e massa seca**

A produção de massa por hectare, só foi obtida nos finais de cada ciclo, por ocasião das colheitas. Neste caso toda parte aérea da cana-de-açúcar (colmos + folhas) produzida no talhão experimental (sem queimar) era pesada, fornecendo valores de massa verde (M.V.), em quilogramas por 980 m<sup>2</sup> (área do experimento), a partir de que se estimava a produção de massa fresca por hectare. Além disso, amostravam-se, ao acaso, três canas de cada parcela, separavam-se colmos e folhas (todas, inclusive o cartucho), e pesava-se cada uma das partes. Feito isto, as partes eram moídas em desintegrador do tipo forrageira e daí homogeneizadas individualmente, quando então retirava-se uma subamostra de cada parte. Estas subamostras eram pesadas e postas a secar em estufa a 60° C, e então pesadas novamente, o que permitia a obtenção de valores de umidade percentual (U), a estimativa de produção de massa seca por hectare, (M.S.), para colmos e folhas e também para a planta toda, conforme mostra a eq. (1), e a relação entre massa seca de folhas/massa seca de colmos ( $MS_f/MS_c$ ). Esta relação foi

Tabela 9. Relação da metodologia de amostragem.

| DATA     | d.a.p. | P PARTE (S)<br>AMOSTRADA (S) | QUANTIDADE<br>POR PARCELA | LOCAL (PARCELAS)        | LINHA   | CICLO DA CULTURA |
|----------|--------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------|------------------|
| 22/12/82 | 97     | folha +1 (terço médio)       | 2                         | P-0, P-1; P-2           | CENTRAL | CANA-PLANTA      |
| 22/02/83 | 159    | folha +1 (terço médio)       | 2                         | P-0, P-1; P-2           | CENTRAL | CANA-PLANTA      |
| 30/03/83 | 195    | folha +1 (terço médio)       | 2                         | P-0, P-1; P-2           | CENTRAL | CANA-PLANTA      |
| 04/05/83 | 230    | folha +1 (terço médio)       | 2                         | P-0, P-1; P-2           | CENTRAL | CANA-PLANTA      |
| 23/06/83 | 280    | folhas; colmo *              | 3**                       | P-1; P-2                | 1, 2, 3 | CANA-PLANTA***   |
|          | d.a.e. |                              |                           |                         |         |                  |
| 22/08/83 | 59     | perfilho                     | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 25/09/83 | 93     | perfilho                     | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 25/10/83 | 123    | perfilho                     | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 24/11/83 | 153    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 20/12/83 | 179    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 23/01/84 | 213    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 24/02/84 | 245    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 22/03/84 | 272    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 25/04/84 | 306    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 24/05/84 | 335    | folha +1; parte aérea        | 1                         | P-0; P-1; P-2; P-3; P-4 | CENTRAL | SOCA             |
| 19/07/84 | 391    | folhas; colmo *              | 3**                       | P-1; P-2; P-3; P-4      | 1, 2, 3 | SOCA ***         |

\* Todas as folhas e o colmo de uma planta amostrada.

\*\* Cada uma destas amostras correspondia a uma linha das parcelas marcadas com 15-N.

\*\*\* Colheita do referido ciclo da cultura.

d.a.p. Dias após plantio.

d.a.e. Dias após colheita do 1º ciclo.

muito útil à estimativa de todos os parâmetros avaliados no experimento, relativos à parte aérea, para as coletas de finais de ciclo (280 d.a.p. e 391 d.a.c.).

$$M.S. = M.V. [ 1 - (U/100) ] \quad (t/ha) \quad (1)$$

O acúmulo de massa seca foi avaliado apenas durante o ciclo da cana-soca e somente para a massa correspondente à das canas amostradas. A este material era dado o mesmo tratamento que o reservado às amostras de final de ciclo, só que neste caso, uma só planta era amostrada por parcela, e pesada inteira (parte aérea).

#### 3.4.5.2. Preparo das amostras para análise de N-total e concentração em átomos % $^{15}\text{N}$

Quando as amostras compunham-se de planta inteira, separavam-se as folhas e o colmo e fazia-se uma pré-moagem de cada uma das partes em desintegrador tipo forrageira. Após a homogeneização das partes desintegradas, tiravam-se duas subamostras, uma de folhas e outra de colmo, e ambas eram postas a secar em estufa à 60° C, até peso constante.

Já no caso de analisar-se folha +1 e perfilhos, o material era diretamente posto a secar em estufa à 60°, até peso constante.

A partir daí, para qualquer tipo de amostra, o passo seguinte consistia da moagem do material seco, em moíno mecânico tipo Willey. Do material moído retiravam-se novas subamostras destinadas à análise do teor de N (%) e concentração em átomos % de  $^{15}\text{N}$ .

### 3.4.5.3. Teor de nitrogênio total

Determinou-se a percentagem de N-total na massa seca, pelo método semi-micro-Kjeldahl, de acordo com a técnica descrita por BREMNER (1965a), na Seção de Isótopos Estáveis e Hidrologia, CENA/USP, e também no digerido por espectrofotometria pelo método do endofenol azul, em sistema de fluxo contínuo sedimentado por bolhas de ar, conforme JORGENSEN (1977), em sistema auto-analisador Technicon-AA II, na Seção de Radioquímica e Química Analítica (CENA/USP), para simples comprovação dos resultados obtidos.

Para as amostras coletadas aos 280 d.a.p. (colheita da cana-planta) e 391 d.a.c. (colheita da cana-soca), o material amostrado consistia de folhas e colmos. Portanto, o teor de nitrogênio (%) obtido por análise era referente à cada uma das partes, ou seja, percentual de nitrogênio na massa seca das folhas ( $N_f$ ) e dos colmos ( $N_c$ ). Na parte aérea ( $N_{pa}$ ), os teores foram obtidos indiretamente, graças ao conhecimento da relação  $MS_f/MS_c$ , que permitiu calcular a média ponderada entre os teores de N do colmo e das folhas. A eq. (2) expõe melhor este raciocínio:



$$N_{p\text{a}} = [(N_f \cdot MS_f) + (N_e \cdot MS_e)] / (MS_f + MS_e) \quad (2)$$

#### 3.4.5.4. Concentração em átomos % de $^{15}\text{N}$

Para a determinação da composição isotópica ( $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ ), todas as formas de nitrogênio da amostra devem ser convertidas a gás ( $\text{N}_2$ ), pois esta é a forma preferencialmente analisada por espectrometria de massa, e esta conversão pode ser feita por via úmida ou via seca, segundo as técnicas de Rittenberg e Dumas, respectivamente, ambas relatadas por TRIVELIN et alii (1973). A metodologia de Rittenberg foi empregada às amostras que haviam sofrido digestão para análise de N-total e no caso de se precisarem de mais repetições, empregava-se a metodologia de Dumas, a partir da combustão direta da matéria seca da amostra. Em espectrômetro de massa Atlas-Variant, modelo CH-4, determinou-se a composição isotópica do  $\text{N}_2$ , de acordo com a metodologia de BREMNER (1965b), na Seção de Isótopos Estáveis e Hidrologia do CENA/USP.

Através da eq. (3) calculou-se a percentagem de átomos de  $^{15}\text{N}$  na amostra:

$$\text{átomos \% } ^{15}\text{N} = [\text{át. } ^{15}\text{N} / (\text{át. } ^{14}\text{N} + \text{át. } ^{15}\text{N})] \cdot 100 \quad (3)$$

### 3.4.5.5. Nitrogênio derivado de fertilizante

A percentagem de nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) foi calculada pela eq. (4):

$$NDF = [(\text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{exc. planta}}) / (\text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{exc. fert.}})] \cdot 100 \quad (4)$$

onde,

-  $\text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{exc. planta}}$  = átomos %  $^{15}\text{N}$  em excesso na planta

-  $\text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{exc. meio}}$  = átomos %  $^{15}\text{N}$  em excesso no meio

A eq. (4) pode ainda ser escrita da seguinte forma, eq. (5):

$$NDF = \frac{(\text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{planta}} - \text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{meio}}) \cdot 100}{(\text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{fert.}} - \text{át.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{meio}})} \quad (5)$$

onde,

-  $\text{at.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{planta}}$  = concentração em at. %  $^{15}\text{N}$  na planta ou parte dela,

-  $\text{at.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{fert.}}$  = concentração em at. %  $^{15}\text{N}$  no fertilizante,

-  $\text{at.}\% \text{ } ^{15}\text{N}_{\text{meio}}$  = corresponde à abundância natural, considerada através da determinação da concentração isotópica em  $^{15}\text{N}$ , encontrada

em amostras de plantas coletadas da parcela P-0 (sem  $^{15}\text{N}$ ).

Dois valores de abundância natural, um para o ciclo da cana-planta e outro para o da cana-soca foram obtidos através de análise da concentração em átomos  $\%^{15}\text{N}$ , em amostras de cana-de-açúcar colhidas da parcela sem  $^{15}\text{N}$  (P-0), durante todo o decorrer do experimento. Da média aritmética dos valores obtidos resultaram 0,365 e 0,373 átomos  $\%^{15}\text{N}$  de abundância natural (Apêndices 11 e 16), para a cana-planta e cana-soca, respectivamente.

Explica-se o pequeno aumento da abundância natural no segundo ano, pelo fato de ser praticamente impossível não haver uma contaminação, por menor que seja, da área na qual se emprega material enriquecido.

Sabendo-se que o enriquecimento do fertilizante uréia -  $^{15}\text{N}$  usado no primeiro ano era de 3,63 at.  $\%^{15}\text{N}$  e no segundo, 4,73 at.  $\%^{15}\text{N}$ , e que a abundância natural, como mostrou-se anteriormente, sofreu uma ligeira alteração de um ano para outro, a eq. (5) teve de ser adaptada à cada circunstância. Assim através da eq. (6), calculou-se o  $\text{NDF}_{cp}(\%)$  para a cana-planta;

$$\text{NDF}_{cp} \% = [(\text{át.}\%^{15}\text{N}_{\text{planta}} - 0,365) / (3,63 - 0,365)] \cdot 100 \quad (6)$$

e da eq. (7), o  $\text{NDF}_{cs}(\%)$  para a cana-soca;

$$\text{NDF}_{\text{can}} \% = [(\text{át. \% } ^{15}\text{N}_{\text{planta}} - 0,373) / (4,73 - 0,373)] \cdot 100 \quad (7)$$

e, ainda, a partir da eq. (8), o  $\text{NDF}_{\text{res}}(\%)$ , referente ao efeito residual do  $^{15}\text{N}$  aplicado à cana-planta, na soca:

$$\text{NDF}_{\text{res}} \% = [(\text{át. \% } ^{15}\text{N}_{\text{planta}} - 0,373) / (3,63 - 0,373)] \cdot 100 \quad (8)$$

#### 3.4.5.6. Recuperação ou eficiência de utilização do fertilizante marcado

Uma estimativa da recuperação do fertilizante marcado ou eficiência de utilização do fertilizante, em termos percentuais (EUF), depende diretamente dos valores de produção de massa-seca, conseqüentemente, dados desta natureza só se obtiveram nas épocas de colheita.

O cálculo da recuperação ou eficiência de utilização percentual (EUF), baseou-se na eq. (9):

$$\text{EUF} = \{[(\text{N}/100) \cdot \text{M.S.} \cdot (\text{NDF}/100)] / \text{N}_{\text{aplic.}}\} \cdot 100 \quad (9)$$

onde,

N = nitrogênio total na planta (%)

M.S. = produção de massa seca (Kg/ha)

NDF = nitrogênio na planta, derivado do fertilizante (%)

$N_{aplic.}$  = nitrogênio aplicado via fertilizante marcado, (Kg/ha)

#### 3.4.5.7. Quantidade de nitrogênio na planta derivado do fertilizante (QNDF)

A estimativa da quantidade de nitrogênio na planta, derivada do fertilizante (QNDF), também depende dos valores de produção de massa seca e por esta razão, só foi obtida nas épocas de colheita. O seu cálculo baseou-se na eq. (10):

$$QNDF = (EUF \cdot N_{aplic.})/100 \quad \text{eq. (10)}$$

#### 3.4.5.8. Nitrogênio extraído pela parte aérea da cultura

O nitrogênio extraído pela cultura ( $N_{ext.}$ ) foi obtido apenas nos finais de cada ciclo (aos 280 d.a.p. e 391 d.a.c.), para a parte aérea total, ou em separado (folhas e colmos). Multiplicando-se o valor do teor médio de nitrogênio percentual obtido na massa seca pela produção de cana-de-açúcar, em termos de massa seca, por hectare, obtém-se esta estimativa, como demonstra a eq. (11):

$$N_{ext.} = (N \cdot M.S.)/100 \quad (11)$$

onde,

$N_{ext.}$  = nitrogênio extraído pela cultura na parte aérea (Kg/ha)

$N$  = nitrogênio total na parte aérea, ou nas folhas, ou nos colmos, valor médio entre as amostras (%)

$M.S.$  = produção de massa seca de colmos, folhas ou ambos (kg/ha).

#### 3.4.6. Outras informações

Os valores de concentração em átomos % de  $^{15}N$ ; nitrogênio percentual na planta derivado do fertilizante (NDF), recuperação do fertilizante em termos percentuais (EUF) e a quantidade de nitrogênio derivada do fertilizante (QNDF) na parte aérea, para as amostras coletadas aos 280 d.a.p. (colheita da cana-planta) e 391 d.a.c. (colheita da cana-soca), foram estimados através de idêntico raciocínio adotado para o nitrogênio total (%), citado no item 3.4.5.3., ou seja, indiretamente, usando-se a relação  $MS_f/MS_c$ .

Para o levantamento dos dados sobre o nitrogênio extraído pela cultura, tanto para a parte aérea, como para as partes em separado, a utilização da relação  $MS_f/MS_c$  também se fez necessária. Analisando-se a eq. (11), vê-se que no primeiro caso (parte aérea) o resultado dependia do valor de  $N$  % da parte aérea, que foi estimado

por esta relação, e no segundo caso (colmos e folhas separadamente), os resultados dependiam dos dados de massa seca do colmo e das folhas, que foram obtidos indiretamente, novamente através da referida relação.

Como se pode perceber, a colheita da cana-planta ocorreu aos 9 meses (279 a 281 d.a.p.), antes do que se havia previsto, aos 12 meses. Isto se deveu ao fato de ter havido chuvas de granizo concomitantemente a incidência de ventos muito fortes, aos 245 d.a.p., e que promoveram o acamamento praticamente total da cultura. A Tabela 8 traz informações sobre estas ocorrências e outras anteriores, que, em conjunto, foram responsáveis pela antecipação da colheita da cana-planta.

Além disso, o índice de pluviosidade registrado para o período de desenvolvimento da cana-planta (1 a 280 d.a.p.) foi bastante elevado, atingindo 2088,9 mm. O ciclo de desenvolvimento da cana-soca (1 a 391 d.a.c.), contou com uma precipitação pluviométrica bem menor (de 869,9 mm), quando comparado com o da cana-planta. Ambos os dados foram fornecidos pelo Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/ USP.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Algumas informações

Uma ressalva que se faz é com respeito aos dados de umidade da cana-planta à época da colheita. Devido a perdas de amostras, a umidade percentual das folhas não foi determinada.

Como o valor de umidade é necessário à maioria das determinações, a começar do cálculo da massa seca produzida, adotou-se o valor de 80% de umidade para a cana-planta na época da colheita; uma estimativa baseada em dados da literatura (TRIVELIN et alii, 1988) e nas informações de umidade do colmo da própria cana-planta, na época referida (Apêndice 1).

### 4.2. Produção de massa

O levantamento da acumulação de massa só foi feito para o ciclo da cana-soca e mesmo assim, baseado nas



massas correspondentes às das canas amostradas (5 amostras de parte aérea, uma por parcela, P-0, P-1, P-2, P-3, P-4), por coleta. A área experimental e mesmo a mão-de-obra disponíveis eram insuficientes para se fazer um levantamento adequado da produção de massa mês a mês.

Mas, a despeito da amostragem reduzida, que se mostrou inadequada a extrapolações para cálculo de estimativas de N total e N derivado do fertilizante extraídos pela cultura, os resultados obtidos de acumulação de massa seca da parte aérea (colmo + folhas), para o ciclo da soca, mostraram se ajustar à curva sigmóide característica de crescimento da cana-de-açúcar, (Figura 4 e Apêndice 2), fornecida por MACHADO et alii (1982).

A produção de massa (verde e saca) e a umidade percentual da parte aérea, aos finais de ciclo, são dadas na Tabela 10. Como o tratamento testemunha (P-0) foi sem  $^{15}\text{N}$ , mas com N proveniente de uréia comercial e não ausência de N, não foi possível observar se houve resposta à adubação nitrogenada para os ciclos (uma vez que para isto precisa-se de um tratamento sem N).

A relação massa seca de folhas : massa seca de colmos (MSf : MSc), encontrada para a cana-planta foi de 1 : 11,6 e para a cana soca, 1 : 2,6. (Apêndices 4 e 5, respectivamente). Estas relações espelham as condições climáticas pelas quais passaram os dois ciclos. No caso da cana-planta a elevada precipitação pluviométrica pode ter sido responsável pelo maior desenvolvimento vegetativo

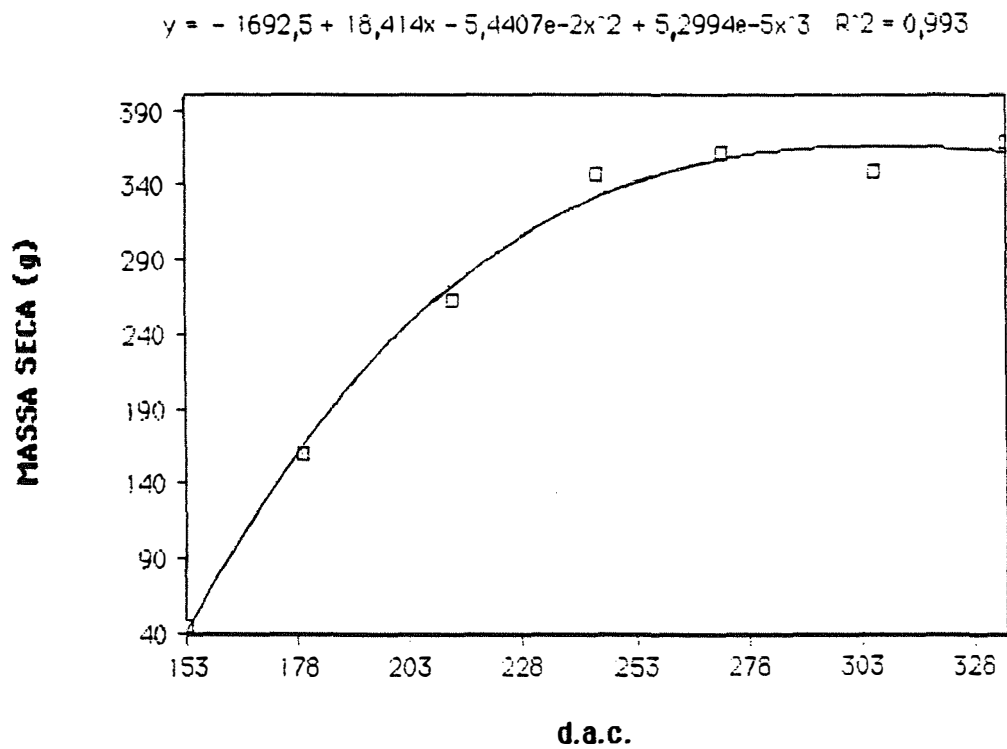


Figura 4. Acúmulo de massa seca (g) na parte aérea durante o ciclo da cana-soca, var. NA 56-79. Os valores expressam a média de 5 amostras de parte aérea: colmos + folhas.

(participação dos colmos na massa seca é elevada) deste ciclo, quando comparado com a soca.

Tabela 10. Produção de massa verde e massa seca (t/ha) da parte aérea, sem queimar, da cana-planta e cana-soca, aos 280 d.a.p. e 391 d.a.c., respectivamente.

| ciclo       | produção (t/ha) |            | U(%)                    |
|-------------|-----------------|------------|-------------------------|
|             | massa verde     | massa seca |                         |
| cana-planta | 169,35          | 33,87      | 80 <sup>&lt;1&gt;</sup> |
| cana-soca   | 152,10          | 48,70      | 68 <sup>&lt;2&gt;</sup> |

<1> valor adotado (Apêndice 1).

<2> calculado (Apêndice 3).

### 4.3. Nitrogênio total (%)

#### 4.3.1. Cana-planta e soqueira

Os resultados de N total (%) na folha +1 para a cana-planta (Figura 5; Apêndice 6) mostram uma tendência de suave declínio até próximo aos 200 d.a.p., a partir de que, visualiza-se uma tendência inversa.

No caso da cana-soca (Figura 6; Apêndice 7), é bastante difícil explicarem os resultados de N(%) com base

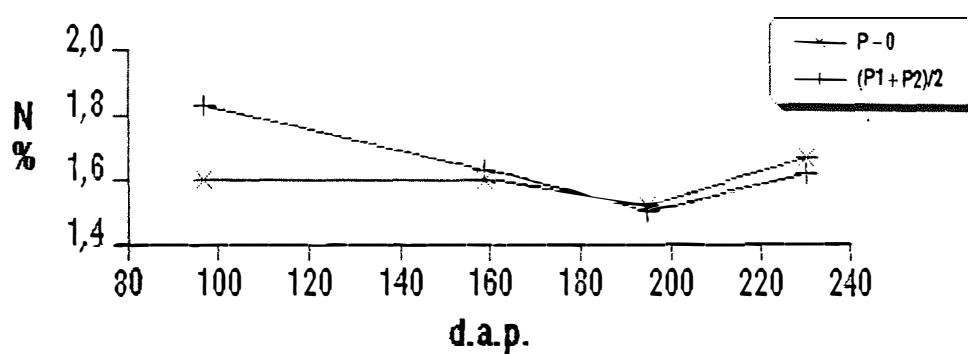


Figura 5. Teor de N total (%) na folha +1, em função da idade, em cana-planta (var. NA 56-79), para as parcelas que receberam  $^{15}\text{N}$  (P-1 e P-2) e uréia comercial (P-0).

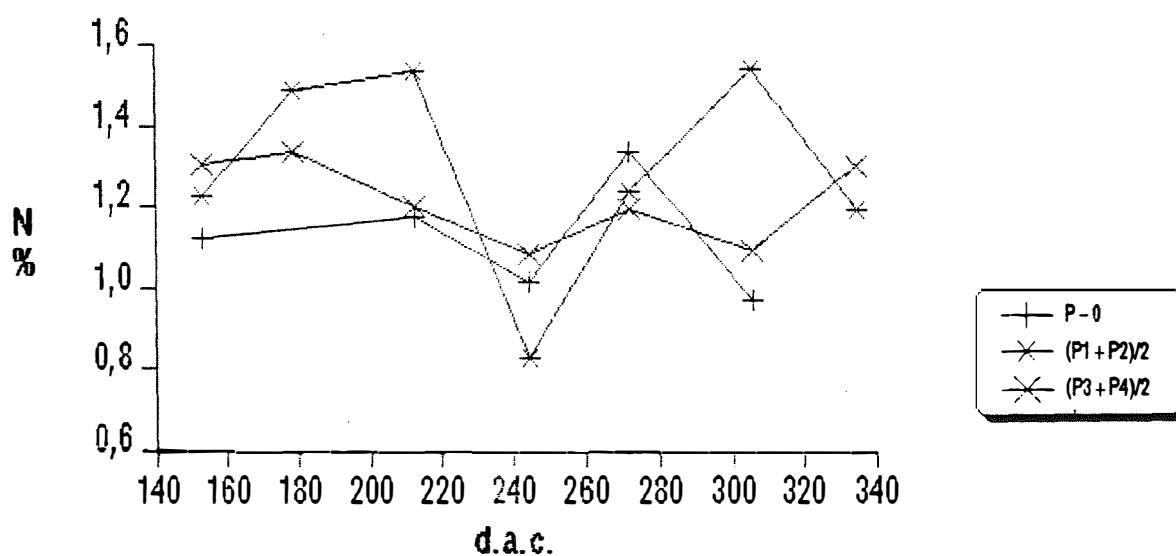


Figura 6. Teor de N total (%) na folha +1 em função da idade, em cana-soca (var. NA 56-79), para as parcelas que receberam uréia comercial (P-0), uréia-<sup>15</sup>N na cana-planta (P-1 e P-2) e na soca (P-3 e P-4).

na folha +1, pois é também difícil visualizar-se alguma tendência. Como os resultados da variação dos teores de N total (%), em função da idade, analisados na parte aérea (Figura 7; Apêndice 8), para a cana-soca, mostraram nitidamente uma tendência decrescente, que é o esperado, de acordo com informações da literatura (VAN DILLEWIJN, 1952; HUMBERT, 1968), é de se supor, que, para as condições de trabalho, a folha +1 não tenha desempenhado adequadamente a função de órgão amostrador para determinação N(%), para o caso da cana-soca. Convém salientar-se que para a cana-planta, os resultados obtidos das parcelas (P-0) e  $(P-1 + P-2)/2$  (Figura 5; Apêndice 6) mostraram-se com tendências semelhantes, portanto neste caso, a folha +1 pareceu ser adequada à amostragem.

Este decréscimo no teor de N (%), em função da idade, em ambos os ciclos, é explicado na literatura (VAN DILLEWIJN, 1952; HUMBERT, 1968; SILVEIRA, 1980), como sendo devido ao rápido crescimento vegetativo apresentado pela cultura, cuja taxa não é acompanhada pela taxa de absorção de N, fazendo com que a planta exiba um declínio no percentual de N, muito embora o teor de N total extraído (em valores absolutos) possa até estar aumentando com a idade. Infelizmente não se pode comprovar isto pois, como se comentou anteriormente, não se tinham dados de matéria seca, necessários à estimativa deste teor.

Com respeito a este decréscimo na parte aérea, LIMA JÚNIOR (1982) afirma que uma das possíveis

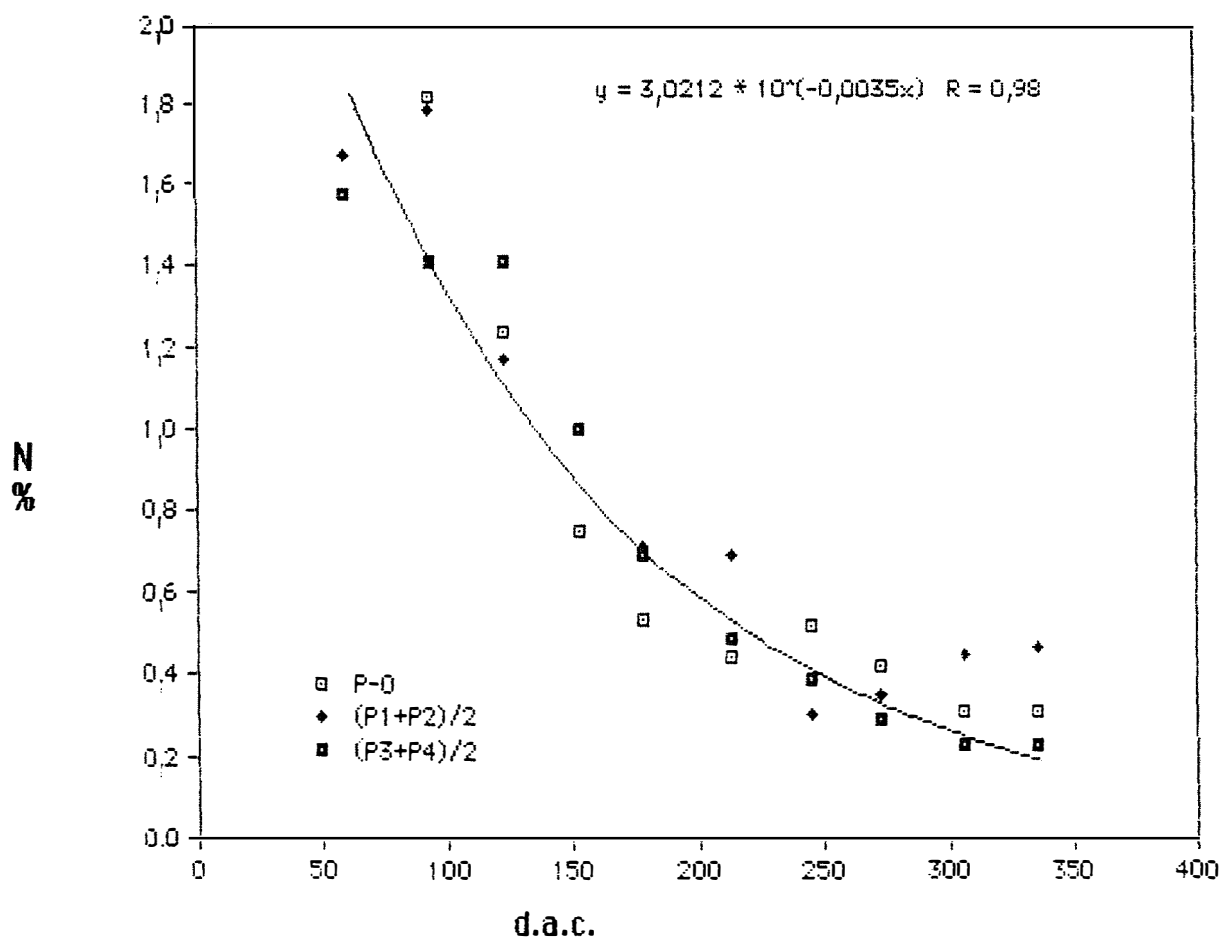


Figura 7. Variação no teor de N total (%) na parte aérea (folhas + colmo) da cana-soca, em função da idade (var. NA 56-79).

contribuições para este comportamento, nos finais de ciclo, é a queda de folhas, morte de perfilhos, que podem ocorrer no período.

Um fato a se notar, é que a soqueira apresentou um decréscimo muito mais acentuado no percentual de N na parte aérea (Figura 7; Apêndice 8), quando comparado ao obtido da folha +1, na cana-planta (Figura 5; Apêndice 6). Na soca, o N (%) na parte aérea decresceu de, aproximadamente, 1,6 a 0,6%, nos primeiros 200 dias do ciclo, enquanto para a cana-planta (folha +1) o decréscimo foi de 1,8 a 1,5% apenas, para período equivalente, a partir de que começou a exibir um aumento no N(%). É provável que a cana-planta tenha tido à sua disposição, maior quantidade de N, e assim sendo mostrou um decréscimo menos acentuado, que o observado na soca.

De fato, a cana-planta recebeu o equivalente a 100 Kg de N/ha de fertilização, e a soqueira, metade desse valor, o que vem reforçar esta hipótese.

Ainda sobre o mesmo assunto, o ligeiro acréscimo no teor de N observado para a cana-planta, a partir dos 195 d.a.p. é explicado devido à absorção do nitrogênio da uréia- $^{15}\text{N}$ , aplicada em cobertura, aos 160 d.a.p.

Os valores de N (%) encontrados nos finais de ciclo (280 d.a.p. e 399 d.a.c.) são mostrados em separado, nas Figuras 8 e 9, para a cana-planta e soca, respectivamente. Os resultados são a média das parcelas P-1



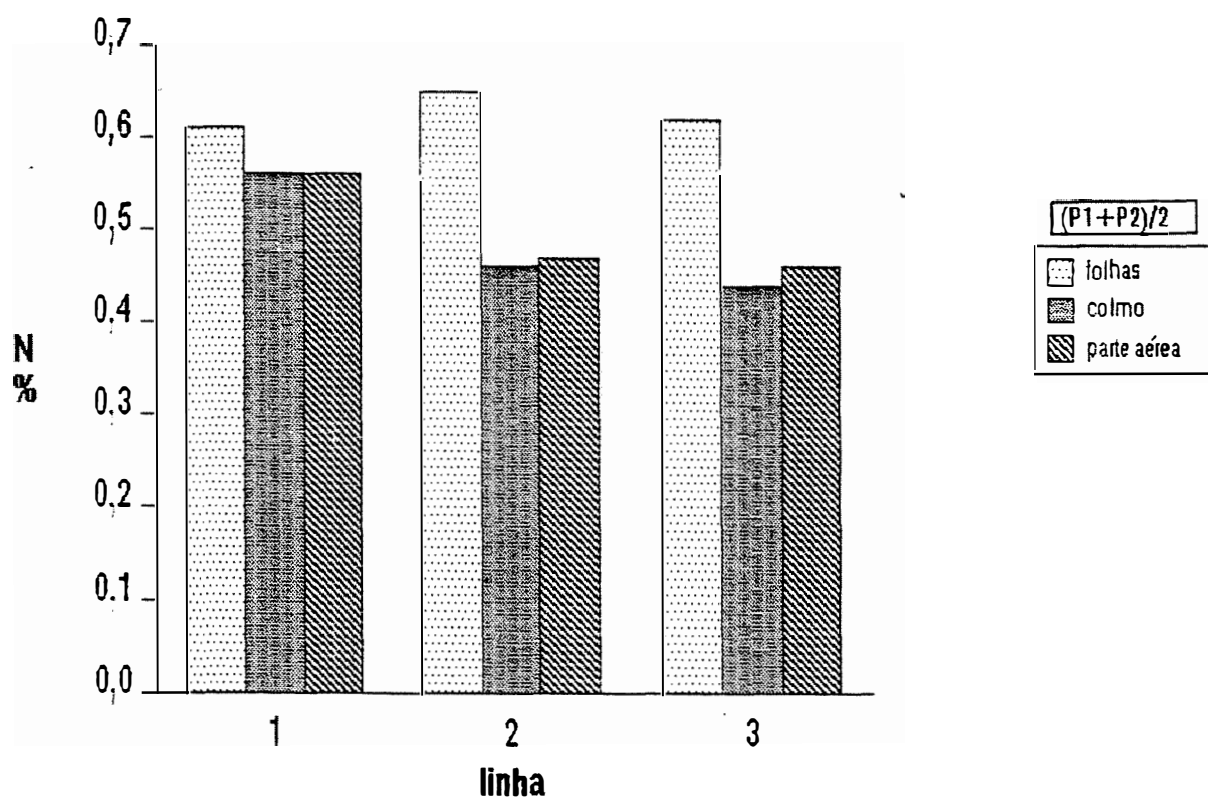


Figura 8. Teor de N (%) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das linhas de P-1 e P-2 (parcelas com  $^{15}\text{N}$ ) da cana-planta, aos 280 d.a.p.

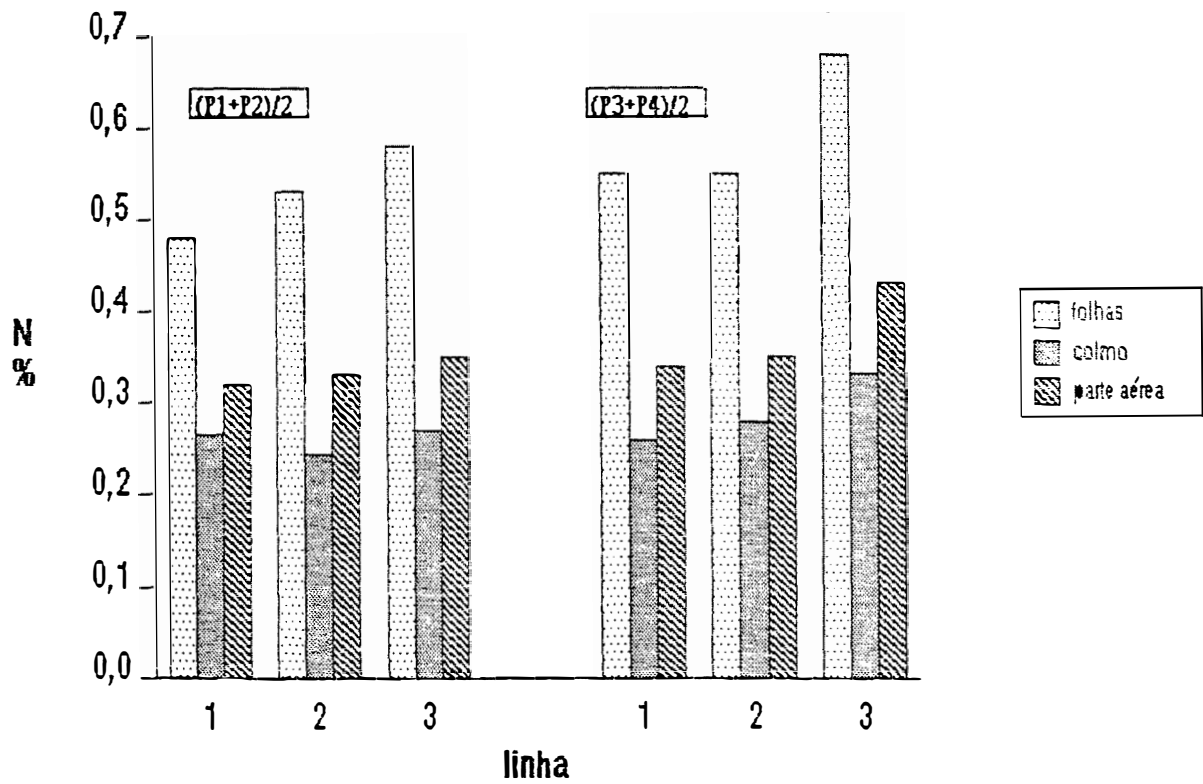


Figura 9. Teor de N (%) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das linhas de P-1 e P-2; P-3 e P-4 (parcelas com uréia-<sup>15</sup>N) por ocasião da colheita da cana-soca, aos 391 d.a.c.

e P-2; P-3 e P-4, fornecidos em função das linhas amostradas. Os resultados foram apresentados desta forma, por terem sido coletadas as amostras em cada uma das linhas, nos períodos de colheita, a fim de que se estudasse o comportamento do  $^{15}\text{N}$  em função das linhas, o que será discutido posteriormente.

Confrontando-se a Figura 8 (Apêndice 9) com a Figura 9 (Apêndice 10), visualiza-se facilmente, a diferença nos valores de N (%) para folhas e colmos, encontrados para cada caso. O N(%) do colmo à época da colheita da cana-planta era mais próximo ao N (%) encontrado para as folhas, o que não ocorreu para a cana-soca, onde o N(%) das folhas chega a ser superior ao dobro do encontrado para o colmo. Isto pode ser explicado pelo fato da cana-planta ter tido a sua colheita antecipada, devido aos motivos já comentados, e com isto, não se encontrava na fase final ou de maturação, como no caso da cana-soca, mas sim na fase de rápido desenvolvimento, que como se sabe, é um período de grande exigência em N. Sabendo-se que o N (%) no colmo decresce com a idade, era de se esperar que a cana-planta, por ter sido colhida antes, apresentasse teores mais elevados do nutriente, em comparação com a soqueira.

Outro fato que pode complementar a explicação destes resultados é que a cana-planta desenvolveu-se sob um regime de chuvas mais elevado (2088,9 mm), quando comparado ao da soqueira (869,9 mm). Sabendo-se que o teor de umidade

do solo estimula o desenvolvimento vegetativo, que por sua vez estimula a absorção de N (TRIVELIN et alii, 1987b), por mais este motivo era de se esperar que a cana-planta apresentasse maiores teores de N (%) no colmo do que cana-soca. Os valores obtidos para a relação entre matéria-seca das folhas/matéria seca dos colmos, para a cana-planta e soca, 1 : 11,6 e 1 : 2,6, respectivamente, fornecem uma evidência que o desenvolvimento vegetativo (produção de massa), no primeiro caso, foi realmente mais acentuado.

Pelo mesmo raciocínio, explicam-se as diferenças nos valores de N(%) da parte aérea como um todo, para os ciclos. Ao que se viu, no caso da cana-planta, como a contribuição dos colmos na massa seca da parte aérea foi bastante grande, era esperado que os valores encontrados de N(%) na parte aérea fossem próximos aos de N (%) do colmo. Como o mesmo não aconteceu com a cana-soca, estes valores (N % na parte aérea) situaram-se intermediariamente aos encontrados para folhas e para o colmo.

#### **4.4. Concentração em átomos % $^{15}\text{N}$ e nitrogênio derivado do fertilizante**

##### **4.4.1. Cana-planta**

As Figuras 10 e 11 (Apêndices 11 e 12) apresentam a variação do teor em at. %  $^{15}\text{N}$  na folha +1 e o nitrogênio derivado do fertilizante (NDF %), durante o

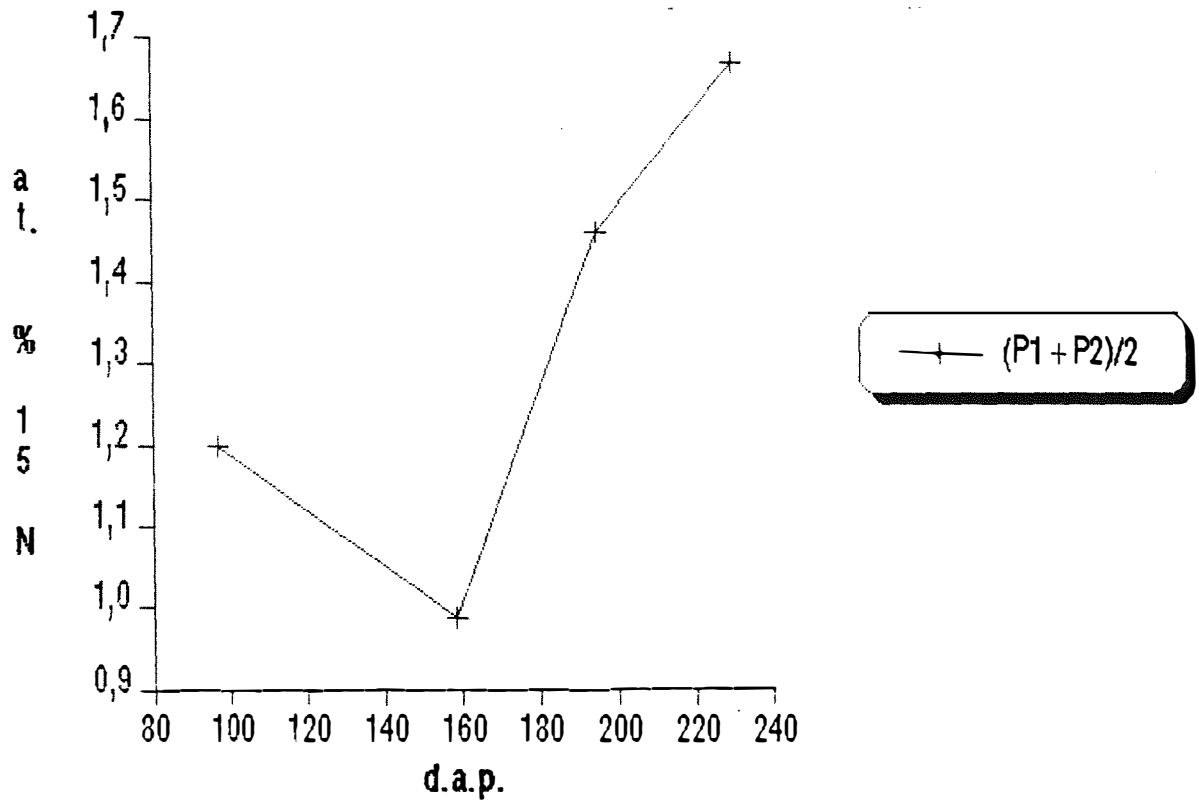


Figura 10. Variação na concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  na folha +1, em função da idade da cana-planta.

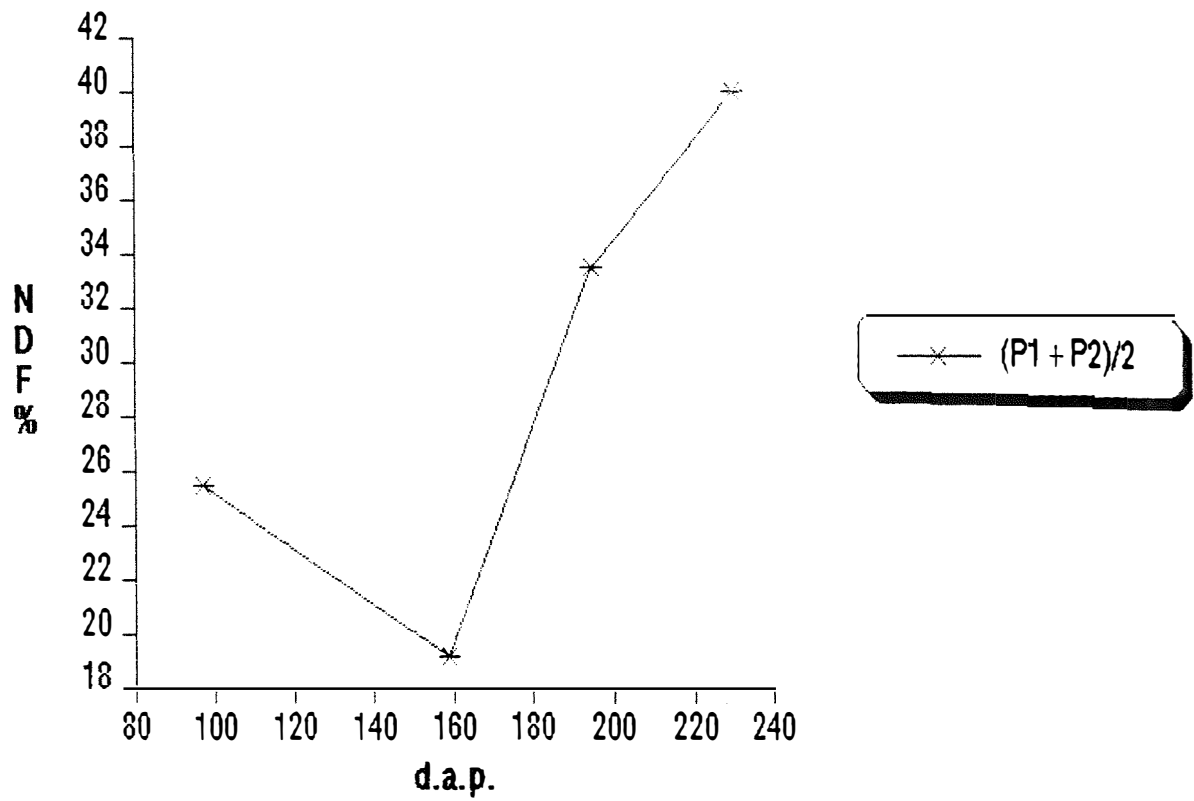


Figura 11. Variação no percentual de N derivado do fertilizante (NDF), em função da idade, em cana-planta que recebeu  $^{15}\text{N}$ -uréia.

período de desenvolvimento da cana-planta compreendido entre 97-230 d.a.p. Como se pode visualizar, entre aproximadamente, 100 e 160 d.a.p., nota-se um declínio nesse teor, também constatado por outros pesquisadores (WOOD, 1974; LIMA JUNIOR, 1982; SAMPAIO & SALCEDO, 1987, TRIVELIN et alii, 1988), em período equivalente em experimentos com  $^{15}\text{N}$  em cana-de-açúcar.

O decréscimo observado no período para N(%) e NDF(%) talvez esteja indicando que, à medida que o N do fertilizante vai sendo consumido, a contribuição do N de outras fontes (solo + fixação) vai aumentando, assim diminuindo a percentagem de NDF na planta, ou seja, as plantas devem ter absorvido, proporcionalmente, menos N do fertilizante que o N de outras fontes, ou mesmo não tenha ocorrido absorção de N do fertilizante no período de 100 a 160 d.a.p.

Ainda sobre as Figuras 10 e 11 (Apêndices 11 e 12), vê-se que a partir da coleta feita aos 163 d.a.p., a folha +1, mostrou um acréscimo no que diz respeito à  $\delta^{15}\text{N}$ , NDF(%) e NDF(%)<sup>15</sup>N, sendo que para o NDF(%)<sup>15</sup>N, o aumento foi de 19% (aos 160 d.a.p.) para pouco mais de 40% (aos 230 d.a.p.). Isto é facilmente explicável, pois a adubação em cobertura foi justamente realizada aos 160 d.a.p. Percebe-se ainda que a absorção do "novo N", dada pelo NDF(%)<sup>15</sup>N na planta, foi rápida, pois entre a segunda (um dia antes da colocação do fertilizante) e terceira amostragens, num intervalo de 36 dias, os valores de NDF(%)<sup>15</sup>N saltaram de 19% para 34%. É

interessante notar contudo que, embora o NDF(%) aumentasse até próximo dos 240 d.a.p., os valores de N% (até 195 d.a.p.) continuaram mostrando tendência decrescente (Figura 5; Apêndice 6). Este descompasso entre ambos (NDF% e N%) poderia ser explicado pelo fato de que, mesmo com intensa absorção do N do fertilizante, a taxa de absorção de N total (%) não foi suficiente para acompanhar a taxa de crescimento da planta, e isto ocorre especialmente com as plantas do tipo C<sub>4</sub>, que é o caso da cana-de-açúcar (SILVEIRA, 1980), provocando o que HUMBERT (1968) denominou de "efeito de diluição do N", pois a planta exhibe um decréscimo no teor de N total, em termos percentuais, a despeito da quantidade de N na planta estar aumentando. (Neste caso não se quantificou o N em termos de massa, infelizmente, mas essa idéia é dada pelo aumento nos valores de NDF).

Entretanto, a partir dos 195 d.a.p., até 230 d.a.p. o N(%) (Figura 5; Apêndice 6) mostrou-se crescente, e portanto, este efeito, provavelmente não estava mais sendo evidenciado neste período.

A coleta de amostras de cada uma das três linhas das parcelas P-1 e P-2 permitiu que se levantassem os valores médios de át. % <sup>15</sup>N (e NDF) para cada linha; as Figuras 12 e 13 (Apêndice 13 e 14) mostram estes resultados.

Com isto, percebeu-se, estranhamente, que não havia diferenças no enriquecimento em <sup>15</sup>N para folhas, colmo e conseqüentemente, parte aérea nas amostras tiradas da



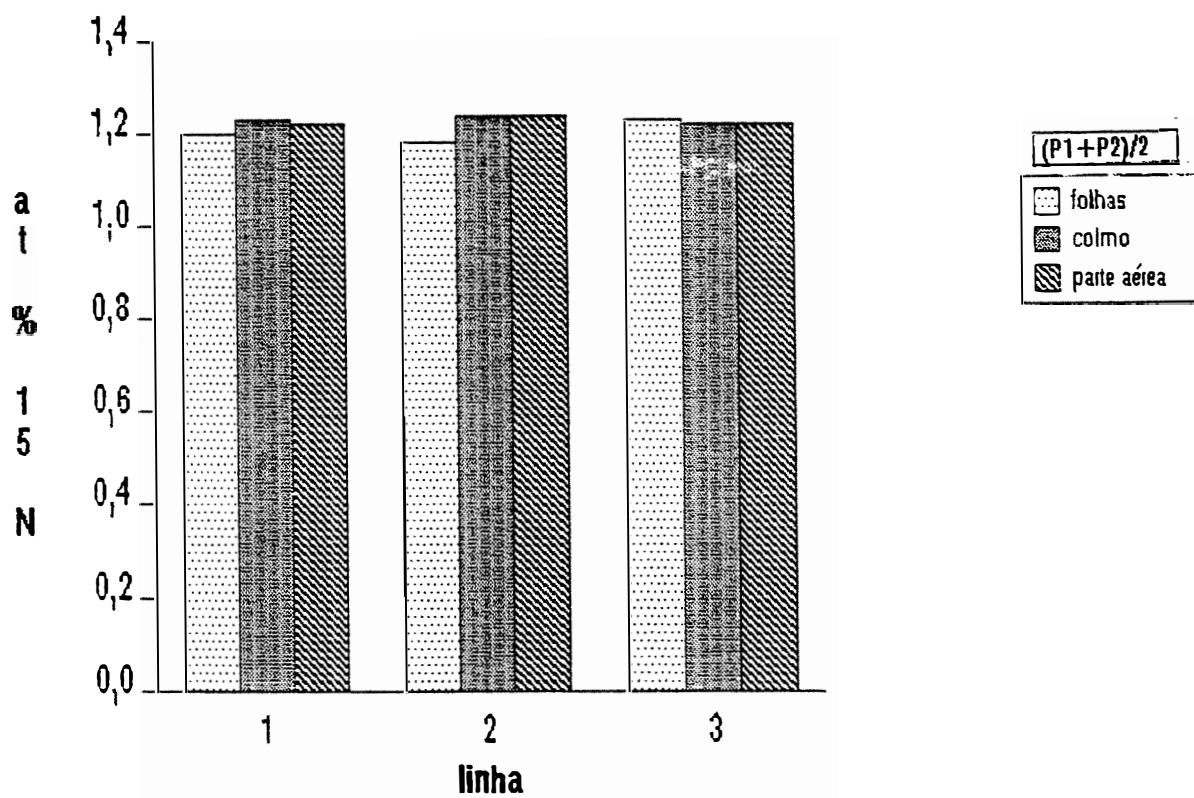


Figura 12. Concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das 3 linhas das parcelas receberam  $^{15}\text{N}$ -uréia, por ocasião da colheita da cana-planta, aos 280 d.a.p.

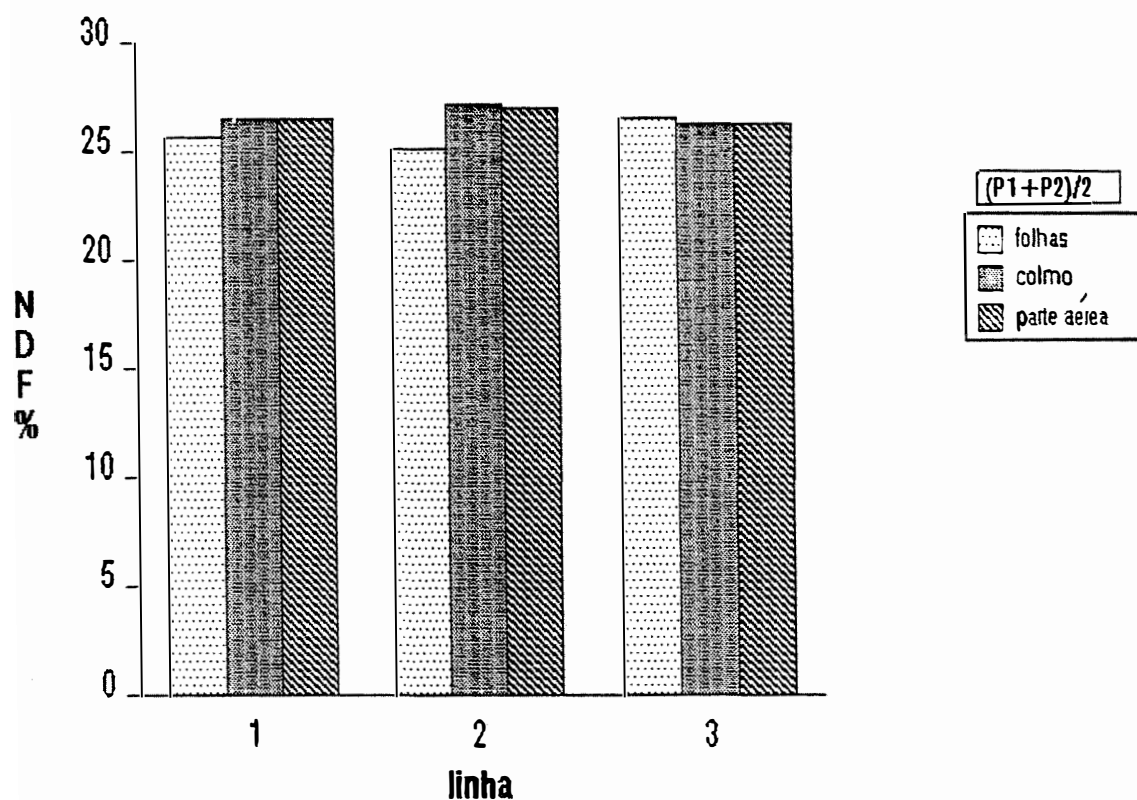


Figura 13. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF %) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das parcelas que receberam  $^{15}\text{N}$ -uréia, por ocasião da colheita da cana-planta, aos 280 d.a.p.

linha central, em relação ao obtido para as linhas laterais, o que equivale a dizer, que as plantas de uma linha, praticamente só absorveram fertilizante aplicado à própria linha. O teste de Duncan, aplicado aos resultados de átomos %  $^{15}\text{N}$  e NDF(%) (para folhas, colmos e parte aérea), mostrou não haver diferenças estatísticas entre os valores obtidos para as 3 linhas, a um nível de 5% de probabilidade.

Explicando-se melhor, esperava-se que as plantas de uma linha absorvessem o fertilizante aplicado à esta linha e também àquelas imediatamente adjacentes, como mostraram os resultados de TRIVELIN et alii (1986a). Assim sendo, os resultados das linhas centrais deveriam mostrar-se mais enriquecidos, pois suas linhas adjacentes também tinham recebido fertilizante marcado, o que não acontecia com as linhas 1 e 3, para as quais uma das linhas adjacentes tinha recebido fertilizante comercial (de abundância natural em  $^{15}\text{N}$  de 0,366 átomos %).

Três fatores podem ter contribuído para estes resultados: em primeiro lugar, o solo no qual se desenvolveram as pesquisas de TRIVELIN et alii (1986a) foi um LVa com elevado teor de areia (cerca de 79%), bastante diferente do solo deste experimento, cuja textura era francamente argilosa, como se pode ver na Tabela 6. Assim sendo, espera-se-ia que a mobilidade do N (lateralmente e ao longo do perfil) fosse maior nas condições de trabalho dos autores, ou seja, no solo arenoso, o que explicaria, em

parte, a maior absorção do fertilizante marcado, pela linha central.

Entretanto, outro ponto a ser discutido é o fato da ocorrência de intensas chuvas no ciclo da cana-planta, conforme já se comentou. Isto poderia ter contribuído tanto para a formação de um sistema radicular mais superficial, o que resultaria numa menor área de exploração do solo, talvez restrita à própria linha, como para que o movimento do N do solo ocorresse, preferencialmente, na direção vertical ou ao longo do perfil.

Ainda sobre os valores de nitrogênio derivado do fertilizante (%) na planta, aos 280 d.a.p. (Figura 13; Apêndice 14), praticamente iguais para folhas, colmo e parte aérea, ao redor de 25%, mostram um decréscimo em relação ao encontrado na amostragem anterior, aos 230 d.a.p., quando o NDF para a folha +1 foi de aproximadamente 40 % (Figura 11; Apêndice 12). Mais uma vez pode-se pensar no aumento da participação do solo (e/ou fixação), com a diminuição da disponibilidade do N do fertilizante, no efeito de diluição explicado anteriormente e na possibilidade de translocação de N para o sistema radicular.

Analisando-se o fato dos valores de át. %  $^{15}\text{N}$  (Figura 12; Apêndice 13) e NDF (Figura 13; Apêndice 14) terem se mostrado praticamente iguais para folhas, colmo e parte aérea, quando comparados entre si, em cada linha isoladamente, pode-se imaginar que a distribuição do NDF foi homogênea, em termos percentuais, para estas partes da

planta. De certa forma, este resultado demonstra que qualquer destas partes podem prestar-se ao papel de órgão amostrador para at. %  $^{15}\text{N}$ .

#### 4.4.2. Cana-soca

Apesar da folha +1 não ter se mostrado adequada à amostragem para a determinação do N total (%), principalmente para a cana-soca, para a avaliação da concentração em at. %  $^{15}\text{N}$ , e conseqüentemente, do NDF, mostrou-se bastante eficaz, confirmando-se o que foi dito no final do item anterior. Isto é comprovado quando se compararam os dados da variação no teor de at. %  $^{15}\text{N}$  na folha +1 e na parte aérea, em função da idade, mostrados nas Figuras 14 e 15 (Apêndices 15 e 16), respectivamente, percebe-se a grande semelhança entre ambos. Os dados das Figuras 16 e 17 (Apêndices 17 e 18), de NDF, que espelham a absorção de at.%  $^{15}\text{N}$  também confirmam isto.

Analisando-se então somente a Figura 17, uma vez que praticamente engloba os resultados das Figuras 14, 15, e 16, percebe-se que para a coleta realizada aos 123 d.a.c., cerca de 60 dias após a adição do fertilizante marcado, algo em torno de 34% do N total da parte aérea da planta eram provenientes do fertilizante, em média, para as parcelas P-3 e P-4, que retratavam o efeito atual do  $^{15}\text{N}$ -uréia na soca. Isto indica uma rápida absorção do fertilizante aplicado, provavelmente fruto de uma elevada

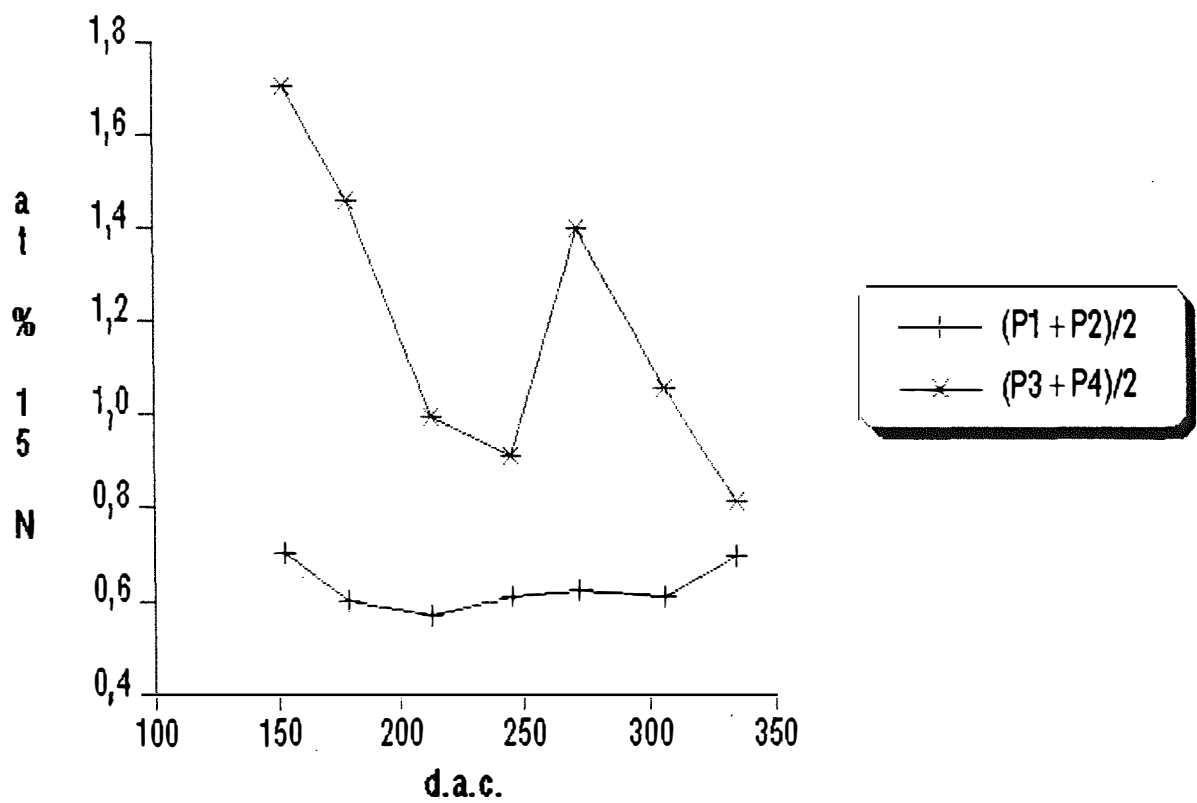


Figura 14. Variação no teor em át.%  $^{15}\text{N}$  na folha +1, em cana-soca, em função da idade. P-1 e P-2 representam o efeito residual e P-3 e P-4, o efeito atual no ciclo.

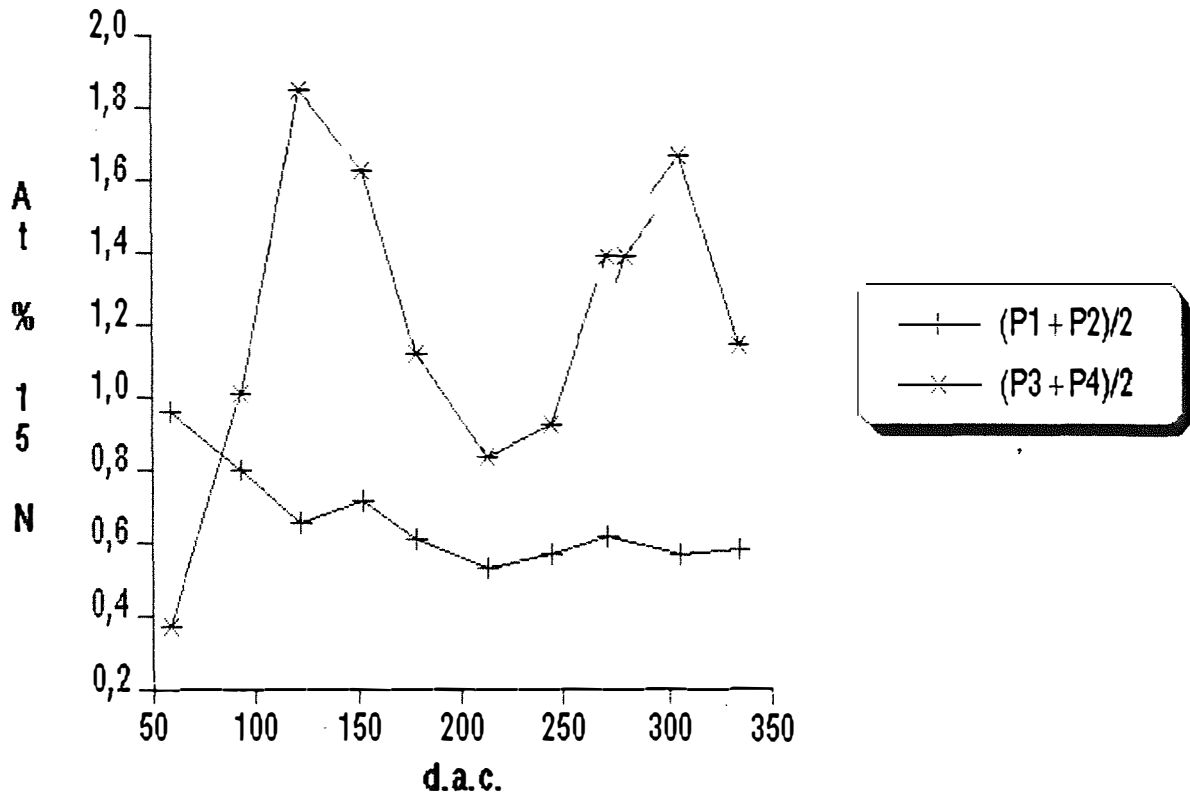


Figura 15. Variação no teor em át.%  $^{15}\text{N}$  na parte aérea da cana-soca, em função da idade. P-1 e P-2 representam o efeito residual e P-3 e P-4, o efeito atual no ciclo.

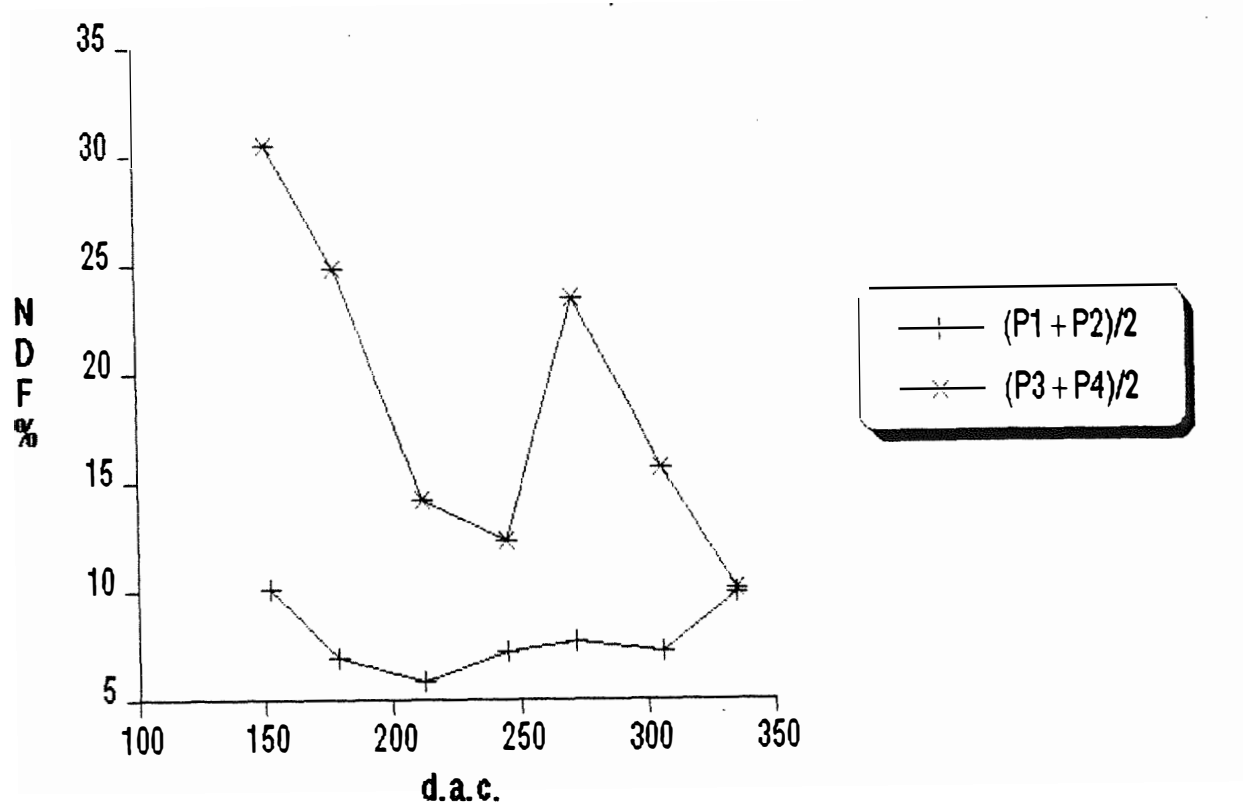


Figura 16. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF%) na folha +1, em cana-soca, em função da idade. P-1 e P-2 representam o efeito residual e P-3 e P-4, o efeito atual no ciclo.



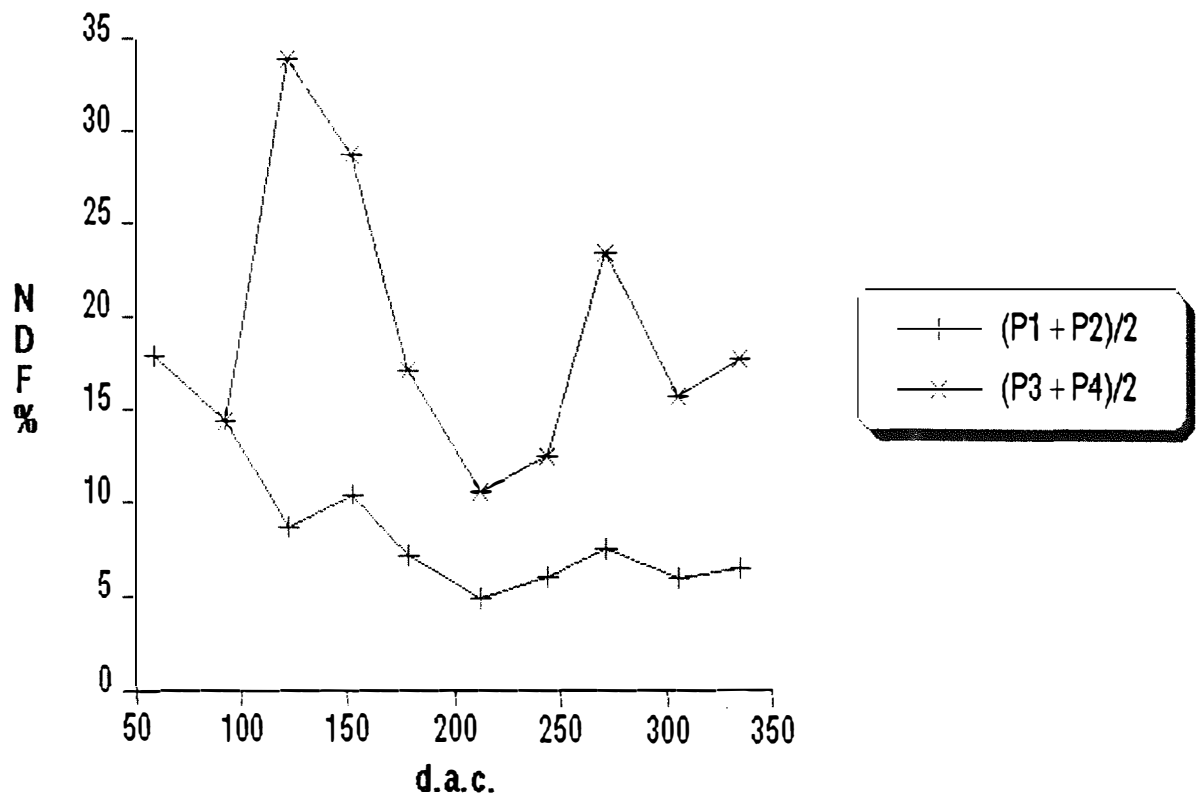


Figura 17. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF%) na parte aérea da cana-soca, em função da idade. P-1 e P-2 representam o efeito residual e P-3 e P-4, o efeito atual no ciclo.

demanda do nutriente no período ou de uma absorção em excesso ou de "luxo" (MALAVOLTA & HAAG, 1964).

A partir do 4º mês (123 d.a.c.), para P-3 e P-4, e 5º mês para P1 e P2, um decréscimo no percentual de NDF até o 7º mês (213 d.a.c.) poderia estar indicando que, assim como aconteceu para a cana-planta, à medida que o fertilizante ia sendo utilizado, a participação do N de outras fontes (solo e fixação) na absorção de N pela planta aumentava, diminuindo assim o NDF% na parte aérea.

Já a partir do 7º mês (213 d.a.c.) a planta voltou a exibir um acréscimo no teor de NDF(%), até o 9º mês (272 d.a.c.), aproximadamente. Considerando-se que não houve colocação de adubo marcado no solo nesta época, fica difícil de explicar este acréscimo no teor de nitrogênio derivado do fertilizante na parte aérea, a não ser que ele tenha sido proveniente do sistema radicular. Segundo TAKAHASHI (1960), um dos possíveis locais de armazenamento do excesso de N, na forma de metabólitos, é o sistema radicular, sendo que estes estariam disponíveis à planta, quando e onde fossem necessários.

Se isto de fato ocorreu, uma segunda hipótese, que não invalidaria a primeira, também poderia ser dada para explicar o declínio no teor de NDF(%), observado por volta do 4º ao 7º meses, comentado anteriormente, que é a possibilidade de parte do NDF ter sido redistribuído ao sistema radicular no período considerado.

Estas idéias são reforçadas pela curva obtida dos dados fornecidos pelas parcelas P-1 e P-2, que representam o efeito residual na soca do  $^{15}\text{N}$  aplicado à cana-planta. Como se pode observar, esta curva, embora em menor escala (pois estas parcelas não receberam  $^{15}\text{N}$  neste ciclo), reproduz a mesma tendência de curva obtida de P-3 e P-4, indicando que a possibilidade de ter havido translocação do N absorvido do fertilizante, da parte aérea para o sistema radicular e vice-versa, é uma hipótese viável.

Após os 272 d.a.c. até 306 d.a.c. e dos 306 aos 335 d.a.c., novamente percebe-se um decréscimo seguido por um acréscimo no teor de NDF (%), para os dois casos  $(P1 + P2)/2$  e  $(P3 + P4)/2$ , também explicados da mesma forma que a dada anteriormente.

Sabendo-se da grande mobilidade apresentada pelo N dentro da planta, em função da demanda metabólica (HALAIS, 1960; TAKAHASHI, 1960; SILVEIRA, 1985) e ainda, sabendo-se que este período compreendido entre 150 a 350 d.a.c. deve ter sido caracterizado por um acelerado crescimento vegetativo, é até certo ponto compreensível a variação no NDF (%) encontrada para a parte aérea da planta.

De uma forma mais ampla, como se pode visualizar ainda na Figura 17, o NDF (%), como efeito líquido, apresenta um decréscimo de cerca de 34%, obtidos aos dois meses após a aplicação da uréia -  $^{15}\text{N}$ , até próximo

a 18%, aos 335 dias, para a média das parcelas P-3 e P-4 (efeito atual na soca).

Da mesma forma, mas em proporções mais reduzidas, o NDF (%) para a média das parcelas P-1 e P-2 (efeito residual), decresceu de 18% até valores próximos a 6,5%.

Além disso, a curva obtida de P-1 e P-2 mostrou que deve existir uma correlação entre fertilizante disponível (no caso  $^{15}\text{N}$ -uréia) à planta e N proveniente do fertilizante (%) na planta, pois caso contrário, não haveria correspondência entre as curvas  $(P1+P2)/2$  e  $(P3+P4)/2$ .

Um fato a se argumentar é que no início, no período entre as amostragens feitas aos 59 e 123 d.a.c., as curvas apresentaram tendências opostas, com o NDF(%) para  $(P3+P4)/2$  e para  $(P1+P2)/2$  diminuindo. Isto é facilmente entendido quando se considera que apenas  $(P3+P4)/2$  recebeu  $^{15}\text{N}$ -uréia (apresentado então uma rápida absorção deste N) e isto não ocorreu com  $(P1+P2)/2$ , que recebeu fertilizante comercial, cuja absorção certamente faria com que a concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  na planta diminuísse.

Como se fez para a cana-planta, à amostragem de final de ciclo caberá destaque especial.

As Figuras 18 e 19 (Apêndices 19 e 20) fornecem, respectivamente, os valores de concentração em átomos %  $^{15}\text{N}$  e nitrogênio derivado do fertilizante (%) para colmos, folhas e parte aérea, para amostras das três linhas marcadas.

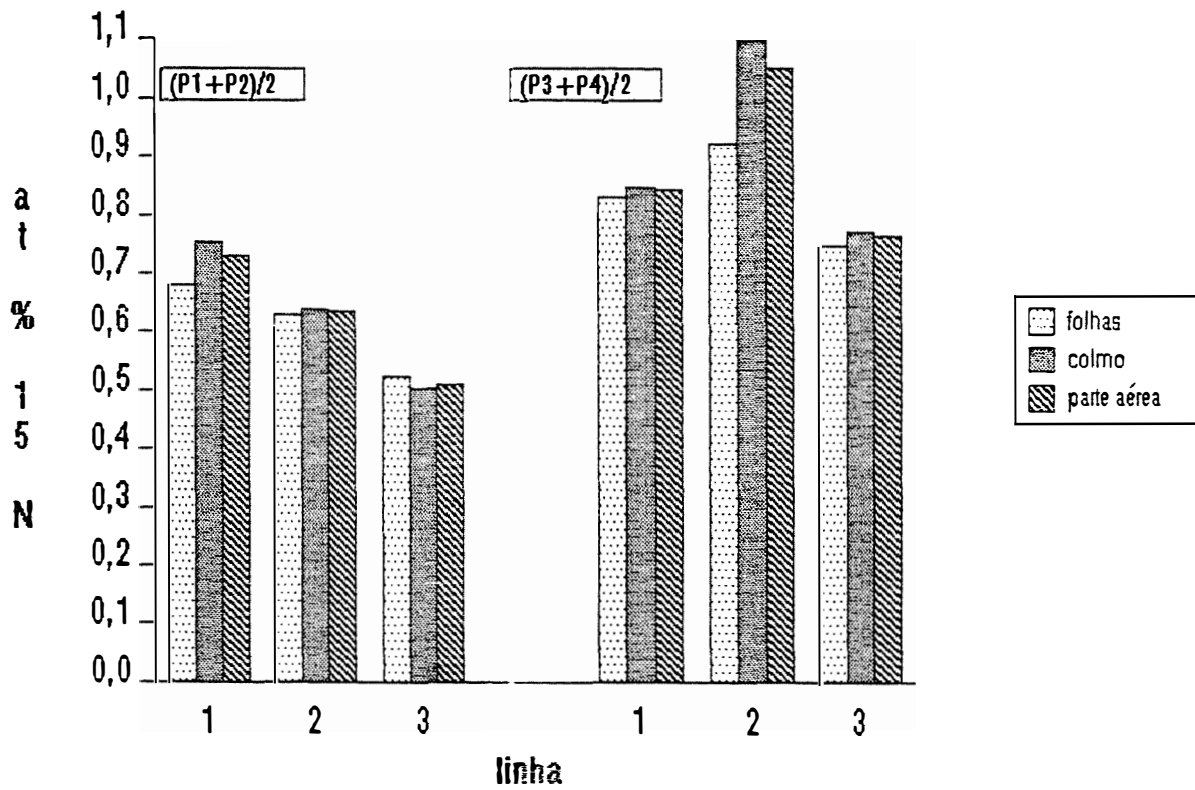


Figura 18. Concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  nas folhas e colmo da cana-soca por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c. Amostras coletadas das linhas das parcelas adubadas com  $^{15}\text{N}$ -uréia. P-1 e P-2 representam o efeito residual e P-3 e P-4 o efeito atual no ciclo.

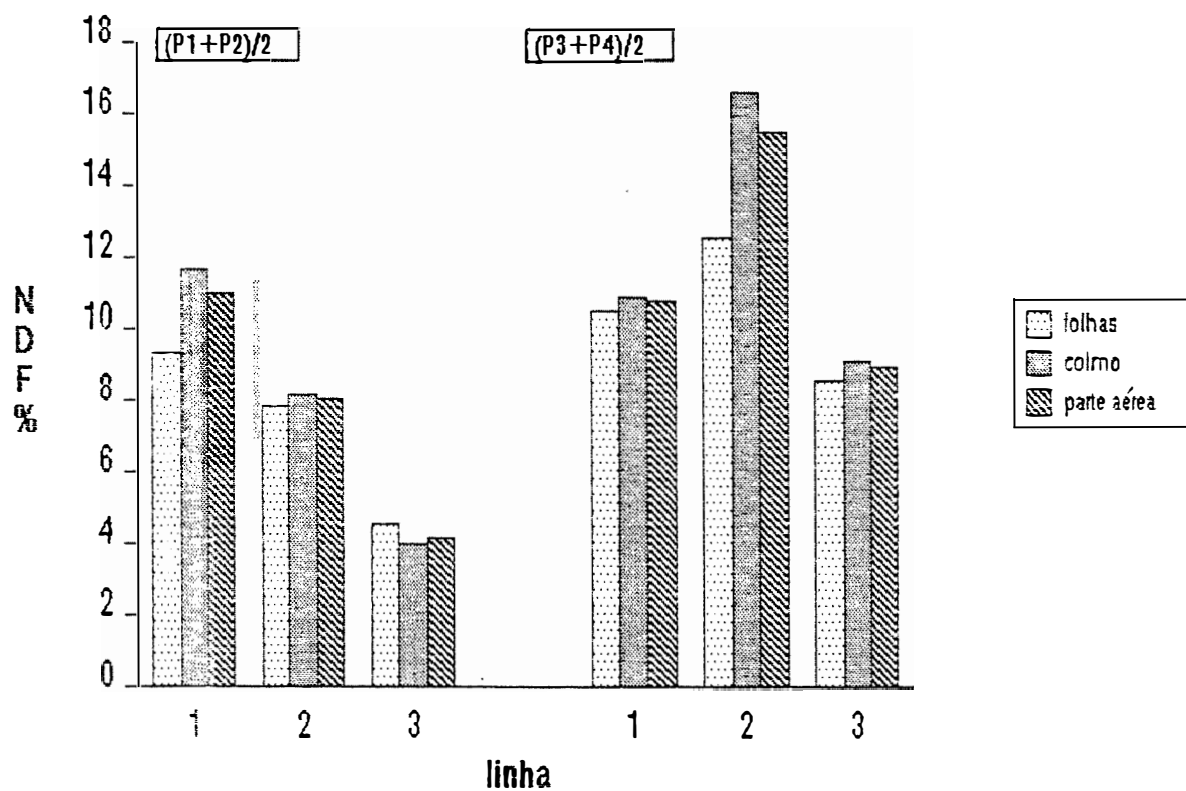


Figura 19. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF%) nas folhas, colmo e parte aérea da cana-soca, por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c. P-1 e P-2 representam o efeito residual e P-3 e P-4, o efeito atual no ciclo.

Nesta caso, apesar da aplicação do teste de Duncan não haver mostrado diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 5% de probabilidade, entre as 3 linhas para at. %  $^{15}N$  e NDF (%) das partes da planta analisadas, visualmente, os resultados não se mostram tão convincentes como os encontrados para a cana-planta (Figuras 12 e 13).

A hipótese levantada anteriormente, sobre o sistema radicular não ter se desenvolvido o suficiente para absorver N das linhas adjacentes, em razão do elevado teor de umidade do solo em todo o ciclo da cana-planta, face ao regime de chuvas bastante intenso, talvez possa explicar, de modo inverso, estes resultados. Num ciclo de 13 meses, a cana-soca recebeu menos da metade (869,9) de precipitação pluviométrica que a cana-planta recebeu num ciclo de 9 meses. Ora, nestas condições, sob mesmo raciocínio adotado para cana-planta, mas em sentido inverso, a planta teria grande estímulo a desenvolver o sistema radicular, e com maior volume de raízes, maior exploração do solo, e com isto a absorção neste caso não deve ter se restringido à própria linha.

Se isso for verdadeiro, mais uma vez entende-se que o decréscimo no NDF(%) da parte aérea, comentado anteriormente, possa ter sido influenciado pela redistribuição deste N às raízes, necessário ao desenvolvimento do sistema radicular no ciclo da cana-soca.

Um outro fato que pode contribuir com esta idéia é dado por TRIVELIN et alii (1988). Segundo suas pesquisas, a produção da parte subterrânea representou 32% e 26% da produção total de massa verde e seca, respectivamente, da cultura de cana-de-açúcar. Os mesmos autores afirmaram ainda que cerca de 35% do N total e 21 a 25% do N derivado do fertilizante removidos pela cultura foram encontrados na porção subterrânea.

Como era esperado, para  $(P3 + P4)/2$ , a linha central mostrou-se mais enriquecida, mas isto não aconteceu com  $(P1 + P2)/2$ . Uma explicação para isto, fora a possibilidade de erro na amostragem ou troca de identidade de amostras, é bastante difícil de ser encontrada. Para esclarecer-se este fato haveria necessidade de maior repetições, o que é difícil de se fazer em experimentos de campo com fertilizante marcado, face ao elevado custo deste material.

Ainda com respeito às mesmas Figuras (18 e 19), nota-se que folhas, colmos e por conseguinte, parte aérea, apresentaram enriquecimentos bem próximos, talvez uma demonstração que a distribuição do NDF, percentualmente mostrou-se homogênea para as partes da planta, indicando mais uma vez que, para avaliações de at. %  $^{15}N$  e NDF (%), praticamente todos os órgãos podem prestar-se à amostragem da planta.

É perfeitamente compreensível que o menor enriquecimento apresentado para  $(P1 + P2)/2$  fosse devido ao



fato de não ter recebido  $^{15}\text{N}$  no segundo ciclo, a fim de que se pudesse avaliar o efeito residual do  $^{15}\text{N}$  aplicado à cana-planta. O efeito residual medido pelo NDF (%) mostrou valores que variaram de cerca de 5% a 9% para folhas; de 4% a 12% para colmos e de 4% a 11% para a parte aérea como um todo.

Na avaliação do efeito atual do N aplicado à soca, os valores de NDF se situaram entre 8,5% a 10,5% para folhas, 9% a 11% para colmos e parte aérea.

Discussões mais detalhadas sobre o efeito atual e residual do N serão fornecidas a seguir.

#### **4.5. Nitrogênio total extraído pela cultura**

Baseando-se nos valores de N(%) e de massa seca (eq. 11) obtidos nas colheitas de cada ciclo, obtiveram-se, 16,8 e 149,8 Kg de N/ha para folhas e colmos, respectivamente, totalizando assim 166,6 Kg de N/ha extraídos pela parte aérea da cana-planta, aos 280 d.a.p.

Pelo mesmo método, para a cana-soca, obtiveram-se 75 e 95,3 Kg de N/ha retirados pelas folhas e colmos, respectivamente, totalizando-se 170,3 Kg de N/ha extraídos ao final do ciclo.

Para os dois ciclos, aproximadamente 340 kg de N/ha foram exportados pela parte aérea. (Apêndice 23).

#### 4.6. Recuperação ou Eficiência de utilização do fertilizante marcado (EUF)

##### 4.6.1. Cana-planta

A Figura 20 (Apêndice 21) mostra a recuperação ou eficiência de utilização do fertilizante marcado pela parte aérea (folhas e colmos), da cana-planta aos 280 d.a.p., colhida sem queimar, obtida da média dos dados fornecidos de P-1 e P-2 no ciclo.

Como a EUF(%) é função da massa seca produzida, a grande diferença que se percebe quando se comparam folhas e colmos foi decorrente da proporção entre massa seca de colmos e massa seca de folhas, encontrado à época de colheita do ciclo, ter sido muito elevada (11,6: 1), apesar dos valores de NDF (%) terem sido bastante próximos para as partes.

Os 44% de EUF obtidos na parte aérea (40% para colmos e 4% para folhas) são concordantes com os 50% citados por PARISH (1967) e os 45,8% encontrados por CHANG & WENG (1983), na parte aérea da cana-de-açúcar em Taiwan (Formosa), quando aplicaram 125 Kg de N/ha na forma de sulfato de amônio comercial no plantio e 125 Kg de <sup>15</sup>N/ha em cobertura. LIMA JÚNIOR (1982) encontrou 30% de EUF em experimentos levados a efeito em regiões canavieiras do Nordeste brasileiro. Em diversos experimentos desenvolvidos no Havaí, TAKAHASHI (1964; 1967a; 1967b; 1968; 1970a)

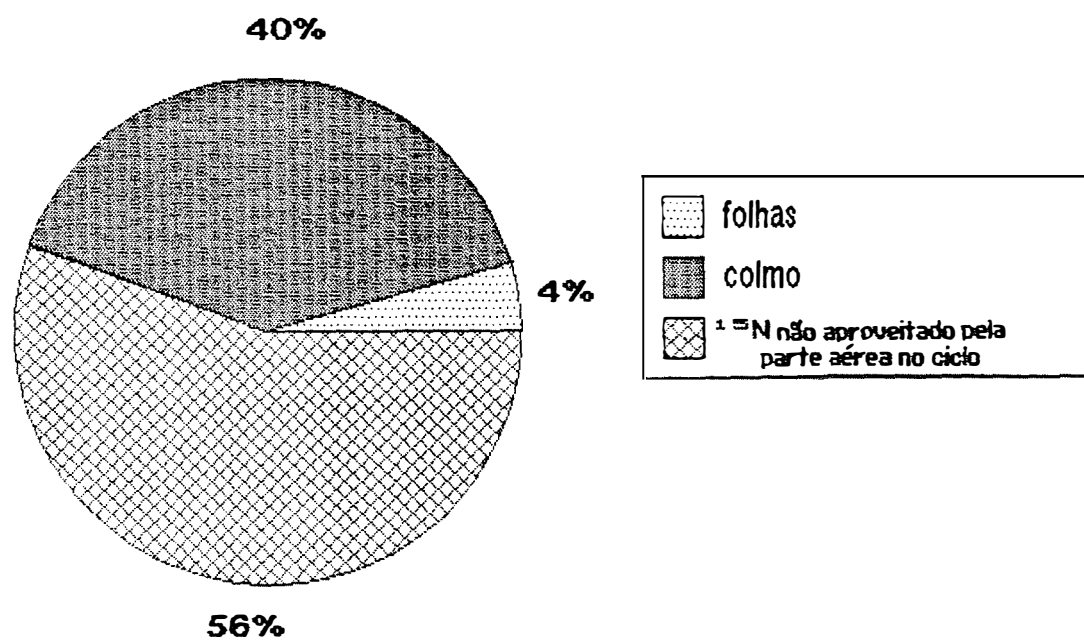


Figura 20. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante  $^{15}\text{N}$ -uréia (EUF) da parte aérea da cana-planta, por ocasião da colheita aos 280 d.a.p.

encontrou diversos valores de EUF na parte aérea da cana-planta, variando entre 20 - 40 %, em função da dose e época de aplicação do fertilizante, tipo de solo, variedade, etc.

Dos dados de EUF obtidos da literatura, somente os de BITTENCOURT et alii (1986), que se situaram entre 0,2 a 2,7%, não foram concordantes com os obtidos no presente trabalho, para o ciclo da cana-planta.

#### 4.6.2. Cana-soca

O valor de eficiência de utilização do fertilizante obtida para a soqueira, através da média das parcelas P-3 e P-4, à época da colheita, é dada pela Figura 21 (Apêndice 21). Neste caso, embora a eficiência da parte aérea como um todo (39,5%), tenha sido semelhante ao valor encontrado para a cana-planta (44,1%), nota-se que a participação das eficiências individuais de folhas e colmos neste ciclo é mais equilibrada, dada à menor relação massa seca colmos : massa seca folhas (2,6 : 1) encontrada para este ciclo.

Segundo informa WOOD (1968b), as variações climáticas, que podem ocorrer de um ano para outro, de uma localidade para outra, e devido ao efeito de tratar-se de cana-planta e soqueiras, que normalmente desenvolvem-se sob condições sazonais diferentes, contribuem para a obtenção de diferentes respostas ao N pela cana-de-açúcar.

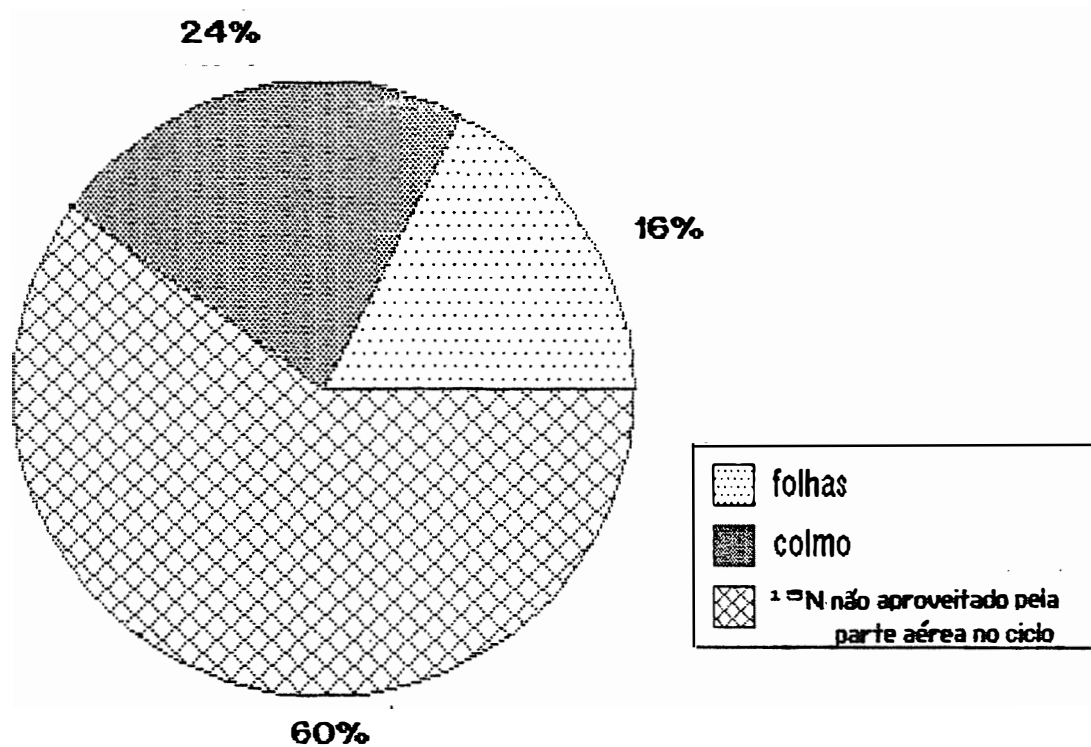


Figura 21. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante  $^{15}\text{N}$ -uréia (EUF) da parte aérea da cana-soca, por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c.

Os valores de EUF em cana-soca, obtidos por TAKAHASHI (1967a) foram de 27,3 e 11,6%, aproximadamente, em função de diferentes condições climáticas a que foi submetida a cultura.

Como é sabido, as soqueiras de início e final de safra, no Estado de São Paulo, passam por diferentes condições de clima, e isto mostrou acentuada influência na recuperação do N do fertilizante, conforme constataram TRIVELIN et alii (1987b). Os pesquisadores conseguiram uma recuperação do fertilizante aplicado (EUF) de apenas 13,7% para as soqueiras de início de safra, contra 38% de EUF, no mesmo local de trabalho, para soqueira de final de safra.

Como as condições deste trabalho foram de início de safra, a EUF encontrada para a parte aérea pode ser considerada bastante alta (39,5), quando comparada à obtida por TRIVELIN et alii (1987b) nestas circunstâncias. Isto talvez possa ser explicado porque apesar de ter sido colhida a cana-planta no início da safra, em maio, a soqueira não passou por restrições de umidade, comumente observáveis neste período no Estado de São Paulo. A soqueira, no início de seu desenvolvimento contou com um índice de precipitação pluviométrica atípico para o Estado de São Paulo, com chuvas intensas no inverno. Isto poderia ter reproduzido o efeito da condição de final de safra, (período chuvoso), fazendo portanto com que a EUF (%) se mostrasse elevada.

#### 4.7. Quantidade de nitrogênio na planta derivada do fertilizante (QNDF)

##### 4.7.1. Cana-planta e cana-soca

A participação da quantidade de N derivada do fertilizante no total de N removido pela cultura na parte aérea é dada pelas Figuras 22 e 23, respectivamente para cana-planta e soqueira, em Kg/ha. (Apêndices 22 e 23).

Conforme se vê nessas figuras, a participação do N do fertilizante no total de N absorvido pela parte aérea foi de 26,5% na cana-planta e 11,6% na soca, muito embora os valores de EUF tenham sido bem próximos. Isto pode ser explicado, pois a dose de fertilizante-N aplicada à cana-planta foi o dobro (100 Kg de N-<sup>15</sup>N/ha) da aplicada à soca (50 Kg de N-<sup>15</sup>N/ha) e a cana-de-açúcar mostrou absorver o fertilizante proporcionalmente à dose empregada. Os valores de QNDF obtidos na parte aérea para a cana-planta foram de cerca de 44,1 Kg/ha ou 26,5% do total de N absorvido (Figura 22; Apêndice 22) e para a cana-soca, 19,5 Kg/ha ou 11,4% do N total absorvido (Figura 23; Apêndice 23), o que confirma esta afirmação.

Os valores obtidos da participação do N do fertilizante no total de N removido pela cultura mostraram-se enquadrar aos dados fornecidos pela literatura; segundo WOOD (1974), 25 a 30%; CHANG & WENG (1983), 15%; SAMPAIO et

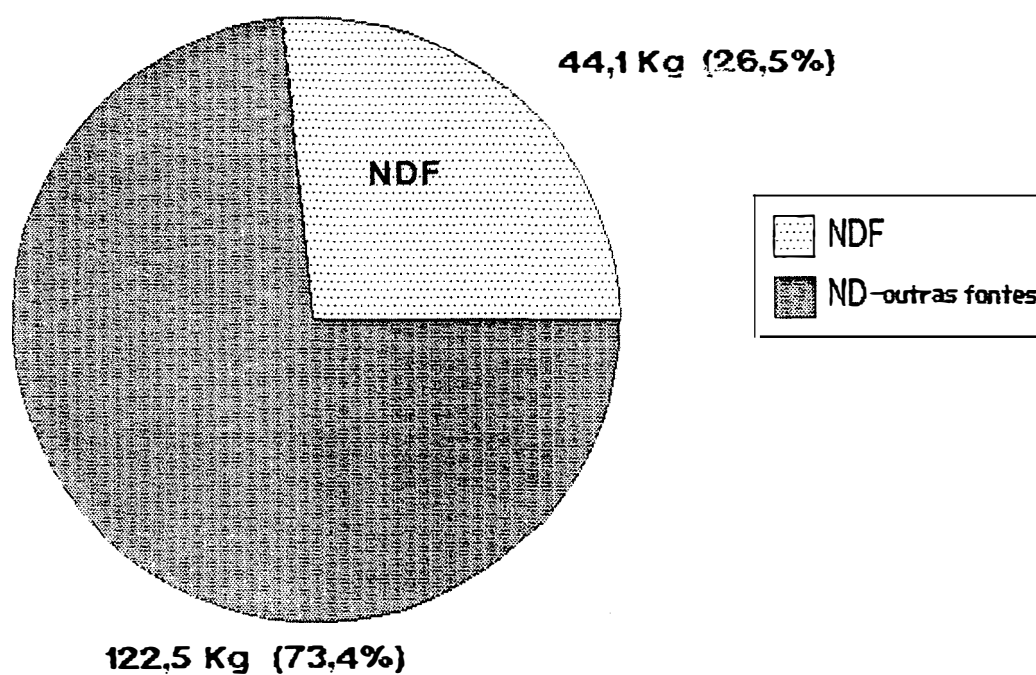


Figura 22. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) em relação ao N absorvido de outras fontes, na parte aérea da cana-planta, aos 280 d.a.p., em Kg/ha e % .



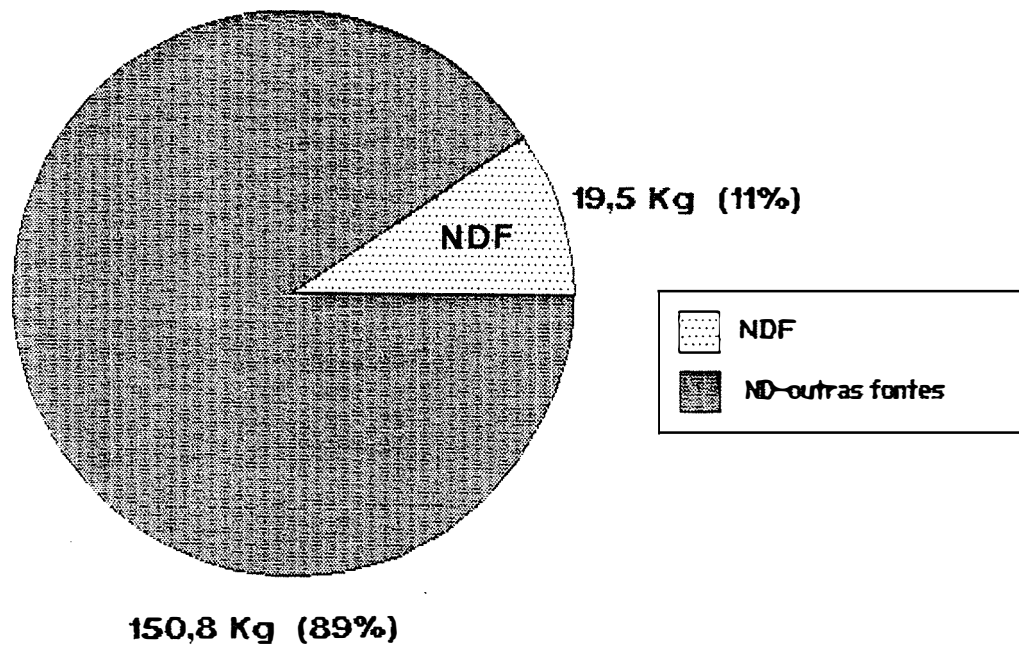


Figura 23. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) em relação ao N absorvido de outras fontes, na parte aérea da cana-soca, aos 391 d.a.c., em Kg/ha e % .

alii (1984), menor que 10%; TRIVELIN et alii (1986a), menor que 15%.

#### **4.8. Efeito residual do $^{15}\text{N}$ -uréia aplicado à cana-planta na soqueira**

O efeito residual do  $^{15}\text{N}$ -uréia aplicado à cana-planta, no ciclo da cana-soca é dado pela Figura 24 (Apêndices 21 e 22) e foi obtido da média das parcelas P-1 e P-2.

O efeito residual, com base nos dados de EUF (Figura 24), mostrou valores de 13% para a parte aérea, sendo 5,4% para folhas e 7,6% para colmo. O efeito residual, sob o ponto de vista da contribuição do  $^{15}\text{N}$  residual da cana-planta, no total de N contido na parte aérea da soqueira, em termos percentuais e de massa é mostrado na Figura 25 (Apêndice 22 e 23). Como se vê esta contribuição é de 7,6% para a parte aérea, 3,2% para folhas e 4,4% para colmos, coerentes com os valores citados na literatura; WOOD (1974), 6%; SAMPAIO & SALCEDO (1984), 8%; TRIVELIN et alii (1987a), 3%.

#### **4.9. Efeito global da aplicação de $^{15}\text{N}$**

O nitrogênio derivado do fertilizante, extraído pela parte aérea ao final dos dois ciclos da cultura, em valores absolutos e percentuais, considerando-se

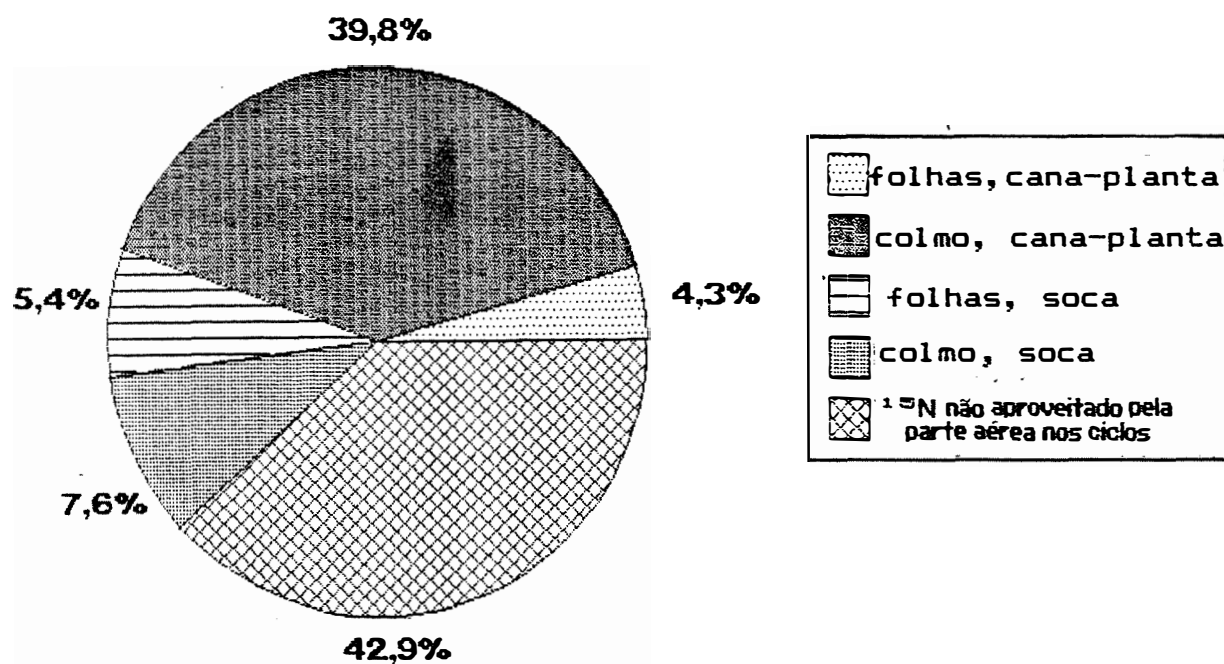


Figura 24. Eficiência de utilização ou recuperação do  $^{15}\text{N}$  (EUF%) na cana-planta (efeito atual) e soca (efeito residual), na parte aérea da cana-de-açúcar (var. NA 56-79), aos 391 d.a.c. aos 391 d.a.c.

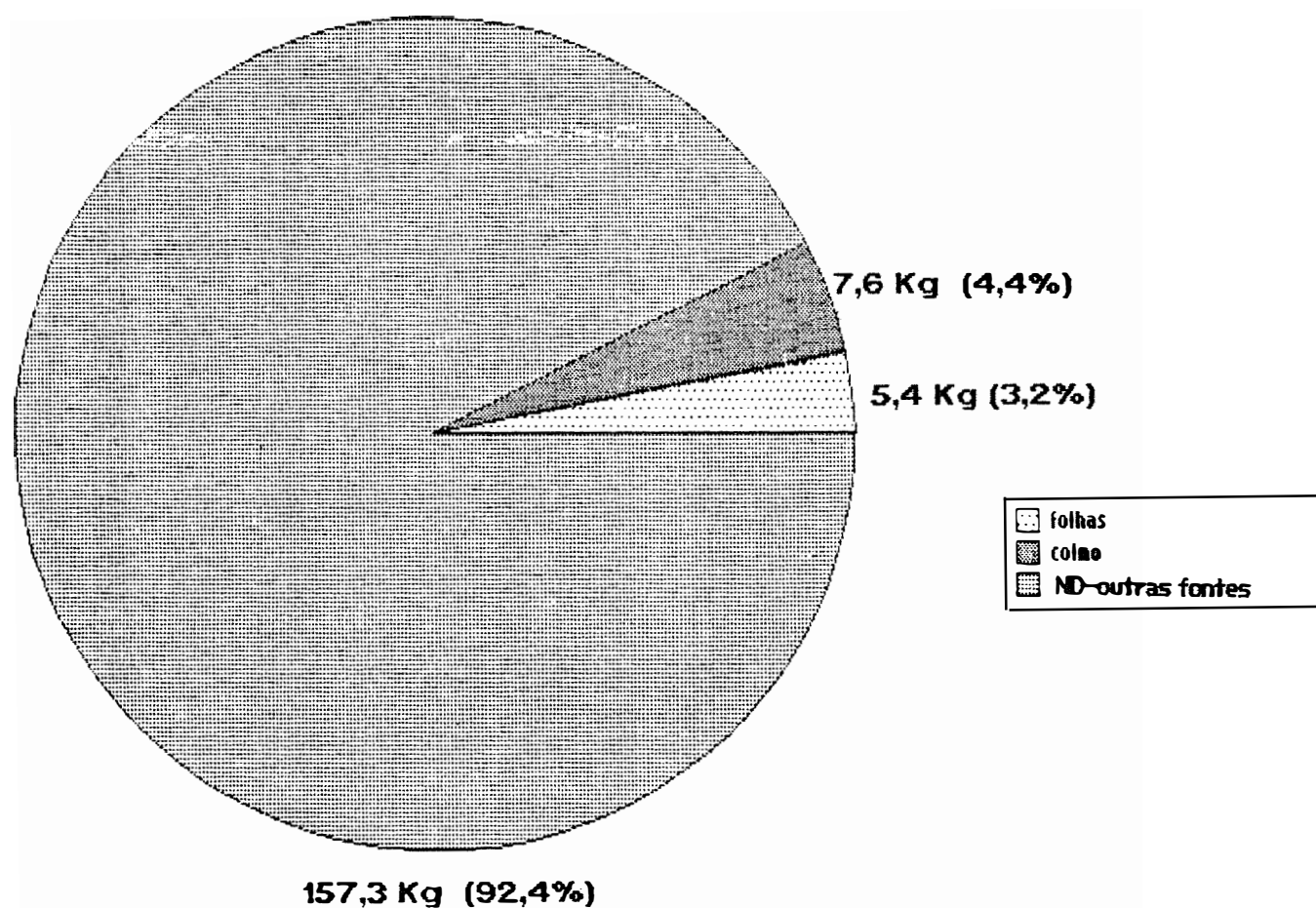


Figura 25. Contribuição do  $^{15}\text{N}$ -residual da cana-planta (% e Kg/ha) no total de N contido na parte aérea na parte aérea da soca, aos 391 d.a.c.

o efeito atual na cana-planta e residual na soca é dado pela Figura 26. Os 57,1 Kg de N ou 57,1% de EUP (a adubação da cana-planta foi equivalente a 100 Kg de N/ha) representaram 17% do N total extraído pela parte aérea da cultura, ao final dos dois ciclos, (Figuras 27 e 28).

Então considerando-se a somatória dos efeitos, atual na cana-planta, atual e residual na soca, tem-se uma eficiência ou recuperação global de 51,1% do N aplicado via uréia- $^{15}\text{N}$  (100 e 50 Kg de  $\text{N-}^{15}\text{N}$ /ha na cana-planta e soca, respectivamente). Isto quer dizer que 76,6 kg de N/ha foram provenientes do fertilizante, que representaram um contribuição global da ordem de 23% do total de N removido por hectare (cerca de 336 Kg de N/ha), pela parte aérea da cultura.

Como não se contabilizou o N na parte subterrânea da planta (tolete de plantio + colmos subterrâneos + raízes), estes valores de EUP e quantidade de nitrogênio derivada do fertilizante certamente estão subestimados.

Sabendo-se que a participação do fertilizante no total de N contido na parte aérea foi de 23%, obviamente os 77% devem ter sido provenientes de outras fontes, que não o fertilizante marcado.

Uma boa idéia sobre o efeito global da aplicação da uréia- $^{15}\text{N}$  nos dois ciclos, em termos de EUP(%) e QNDF é dada nas Figuras 29 e 30.

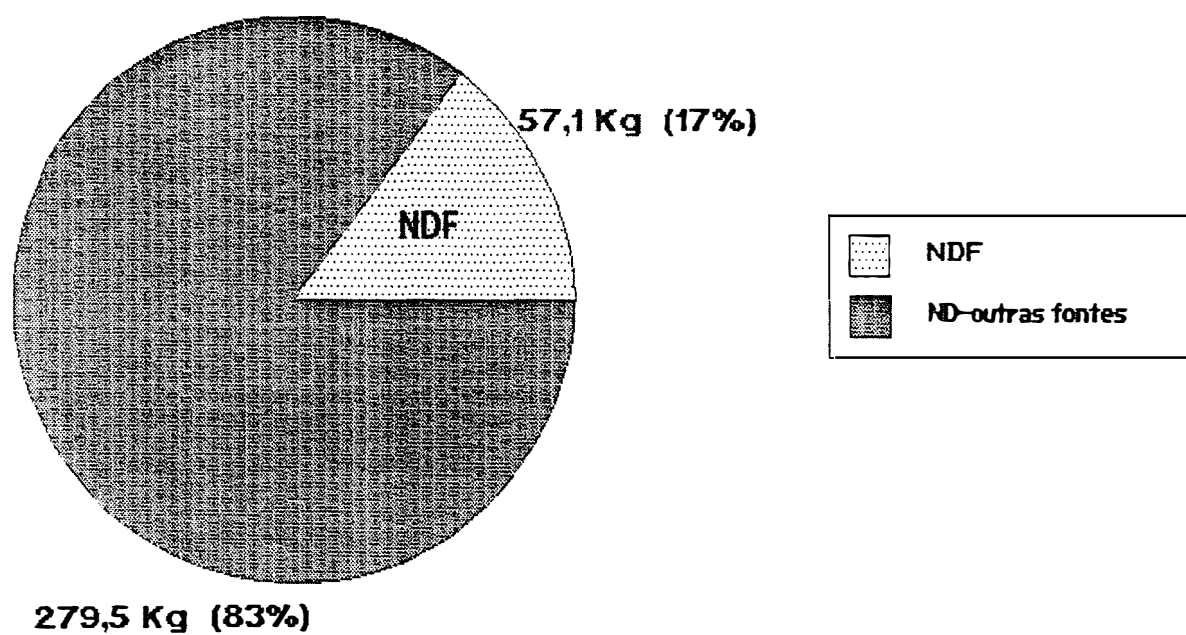


Figura 26. Nitrogênio derivado do fertilizante (NDF) e de outras fontes removido pela parte aérea da cana-de-açúcar em dois ciclos consecutivos, cana-planta (efeito atual) e soca (efeito residual). Dados expressos em Kg/ha e % .

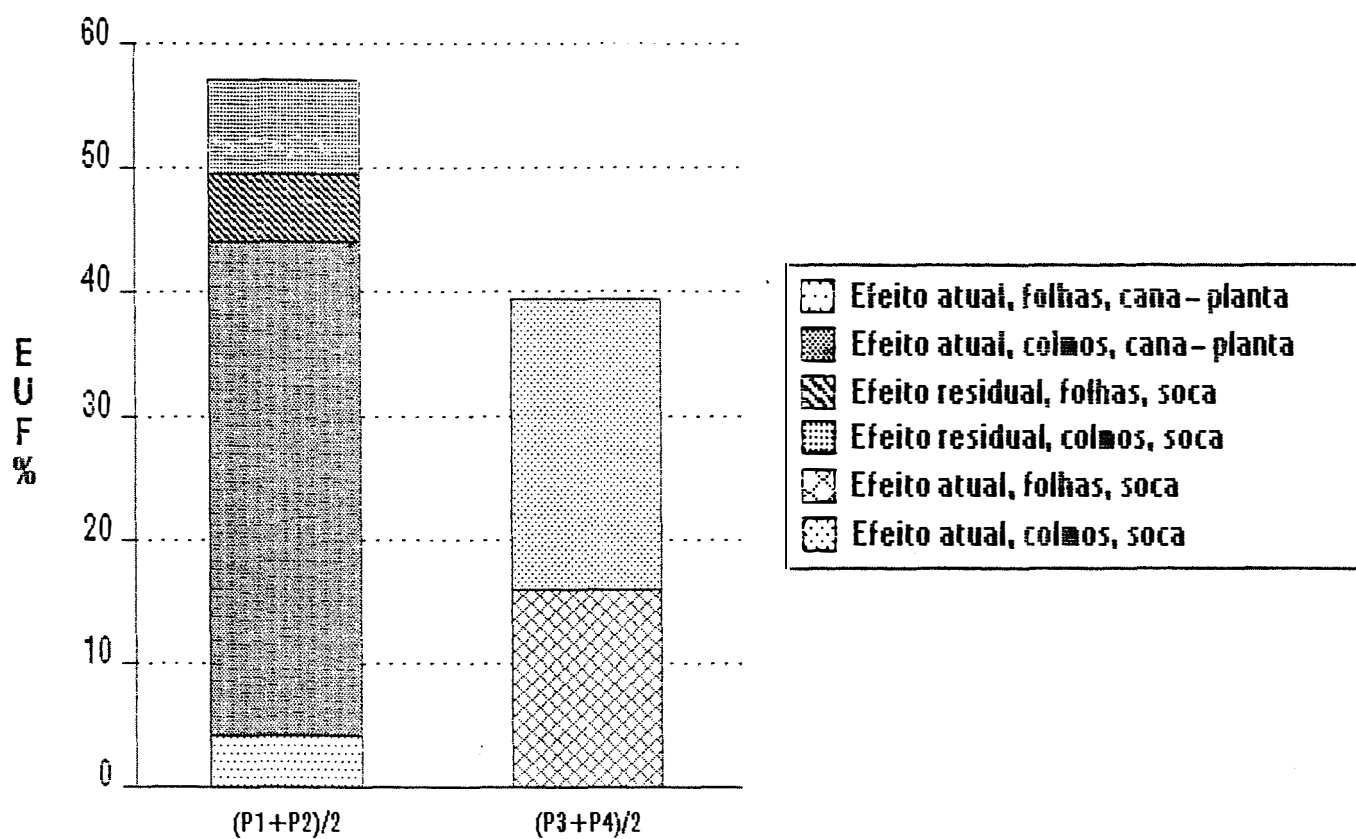


Figura 27. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante marcado (EUF%), em dois ciclos da cana-de-açúcar, cana-planta e soca (efeito atual) e efeito residual na soca.

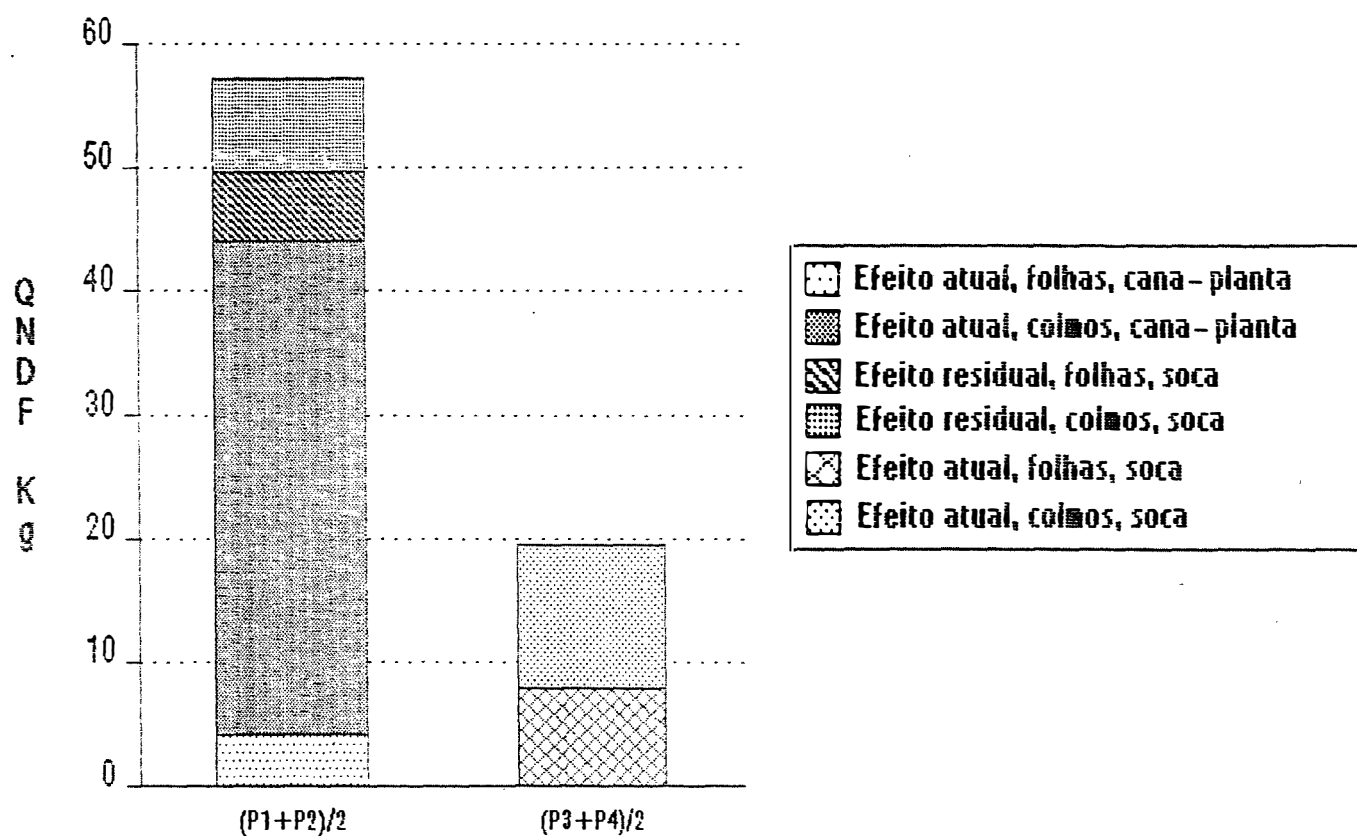


Figura 28. Quantidade de nitrogênio na planta derivada do fertilizante (QNDF) em Kg/ha, ao final de dois ciclos da cana-de-açúcar, cana-planta e soca, aos 391 d.a.c.



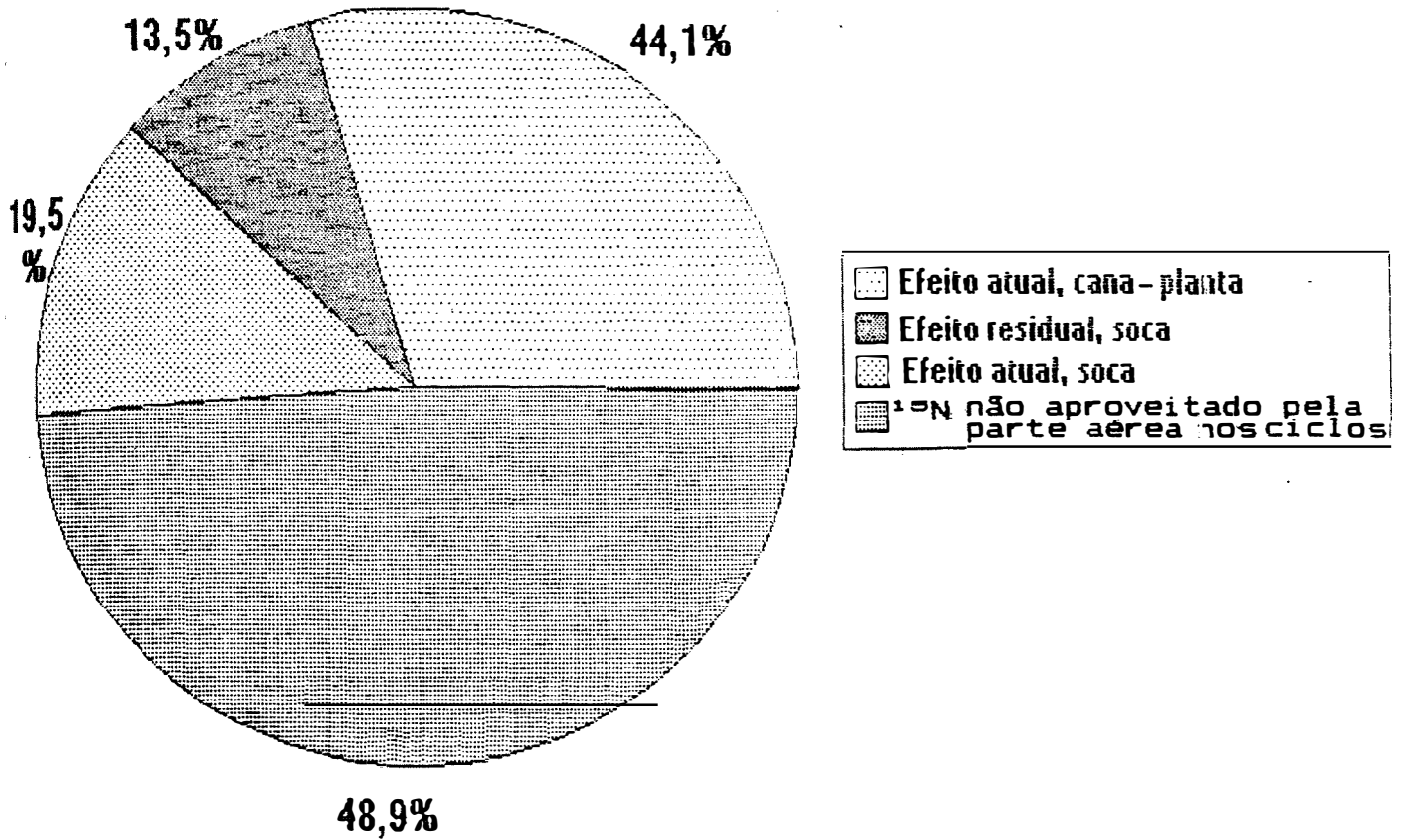


Figura 29. Recuperação global na parte aérea do fertilizante  $^{15}\text{N}$ -uréia aplicado na cana-planta e soca (100 e 50 Kg de N/ha, respectivamente), var. NA 56-79, em termos percentuais, por ocasião da colheita da soca, aos 391 d.a.c.

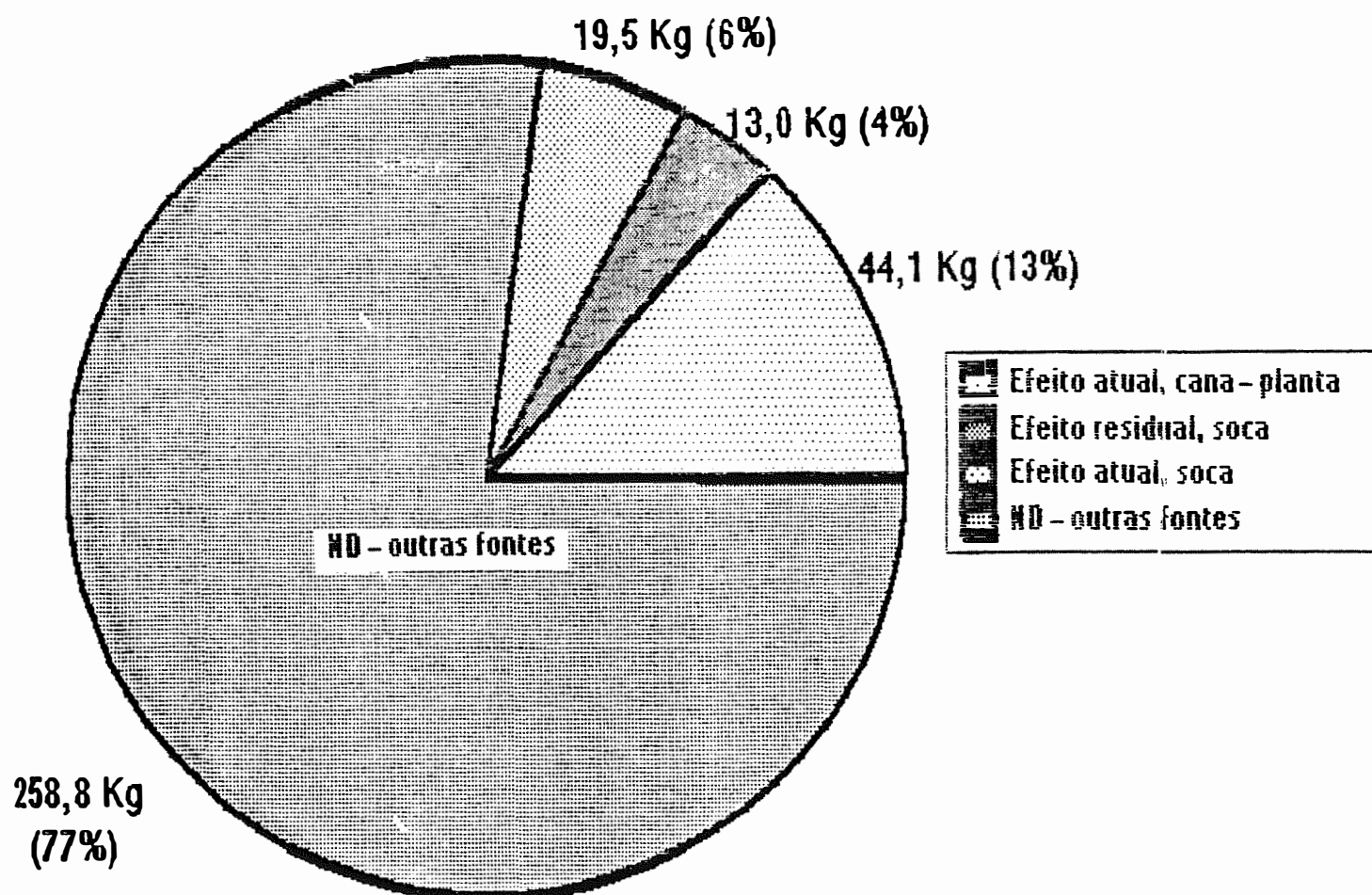


Figura 30. Contribuição global do nitrogênio do fertilizante marcado no total de N extraído pela parte aérea da cana-de-açúcar, por ocasião da colheita da soca (391 d.a.c.). Valores calculados em relação a 150 Kg de  $^{15}\text{N-N}$  aplicados aos 2 ciclos, expressos em Kg/ha e %.

Em todos os casos estudados, as contribuições do N de outras fontes sempre se mostraram mais significativas, que as do nitrogênio proveniente do fertilizante. Estas outras fontes seriam o N apresentado pelo solo; o N da uréia comercial aplicado à cana-planta, nos locais onde seriam estabelecidas as parcelas P-3 e P-4 (N remanescente) e à cana-soca (nas parcelas P-1 e P-2); o N proveniente da mineralização da matéria orgânica, tais como folhas que caem durante o ciclo, e ainda, a contribuição do N da fixação associativa do  $N_2$ .

Quanto ao  $^{15}N$  não aproveitado pela parte aérea nos dois ciclos (48,9%), além da parte subterrânea, poderiam ter tido outros destinos, como a permanência de parte do N, em forma disponível ou não, devido à ação imobilizadora de microrganismos e também do próprio solo, pelas argilas. Considerem-se também as perdas por volatilização, que para o caso específico da uréia, são as mais importantes. (KIEHL, 1983).

#### **4.10. Considerações finais**

Muito embora se saiba que a participação do fertilizante no conteúdo em N na cana-de-açúcar se mostre pequena, analisando-se sob outro aspecto, ou seja, quanto do N aplicado foi utilizado (51% aproximadamente, neste experimento, somente na parte aérea), percebe-se o quanto é difícil entender-se a ausência de resposta à adubação

nitrogenada, principalmente para a cana-planta, que normalmente apresenta valores mais elevados de eficiência de utilização do fertilizante do que as soqueiras.

Diante da informação fornecida por TRIVELIN et alii. (1988), de que 21 a 25% do N proveniente do fertilizante encontrado na planta toda, estão concentrados na parte subterrânea da planta (tolete de plantio + colmos subterrâneos + raízes), e da que existe uma relação entre massa seca da parte aérea e massa seca das raízes (SIMÕES NETO & MARCOS, 1987), dada por LIMA JUNIOR (1982) como sendo de 4,2 : 1, percebe-se que as raízes apresentam maior concentração em N, em termos relativos (%), que a parte aérea. Como se notou durante a discussão deste trabalho, nos períodos de colheita, o nitrogênio derivado do fertilizante foi igualmente distribuído na parte aérea da planta, para folhas e colmos (Figuras 13 e 19).

Tais constatações poderiam, em conjunto, ter implicações na interpretação do mecanismo de resposta da cana-planta (principalmente) à adubação nitrogenada. A acumulação de N no sistema radicular deve ter uma razão de ser, talvez como local de reserva de N, pelo menos ao estágio inicial de desenvolvimento do ciclo subsequente, ou ainda como fornecedor de N potencialmente mineralizável pela flora microbiana do solo, nos períodos de reforma do canavial e portanto uma fonte de N à cana-planta. (SAMUELS, 1956; CHUI & SAMUELS, 1981; TRIVELIN et alii, 1988).

Pode ser então, que o efeito do N, avaliado por parâmetros tecnológicos comumente utilizados na maioria das pesquisas relatadas na literatura, como produtividade de açúcar e de colmos, qualidade da cana-de-açúcar, etc., não seja percebido imediatamente na cana-planta. Talvez a diferença que possam apresentar quanto ao sistema radicular, plantas bem nutridas e deficientes em N (na cana-planta) possa ter implicações nos ciclos subseqüentes, aí sim, em termos de performance sob o ponto de vista tecnológico.

Algumas sugestões ao trabalho cabem bem a este final de discussão dos resultados. A primeira delas é a necessidade de se avaliar a acumulação de matéria seca durante o transcorrer de experimentos dessa natureza, que nesse caso impediu que se estudasse o comportamento do N (em valores absolutos), QNDF e EUF ao longo do ciclo.

A segunda e última sugestão é que todas as avaliações feitas para a parte aérea, deveriam ser feitas também para o sistema radicular, a fim de se compreenderem os efeitos de uma forma global.

## 5. CONCLUSÕES

Das observações feitas durante o transcorrer do trabalho pode-se concluir que:

- A amostragem de apenas cinco colmos inteiros (folhas + colmos) retirados mês a mês das parcelas P-0, P-1, P-2, P-3 e P-4 foram suficientes para reproduzir a curva sigmóide de crescimento determinado, característica da cana-de-açúcar.

- Para as condições do trabalho e durante o ciclo da cana-soca, a folha +1 não mostrou ser um bom órgão amostrador para análises N (%).

- A amostragem destinada a análises de concentração em át.%  $^{15}\text{N}$  e conseqüentemente NDF(%), a folha +1 mostrou-se adequada, tanto para o ciclo da cana-planta como para o da soca.

- As plantas mostraram absorver o nitrogênio do fertilizante proporcionalmente à dose aplicada.

- Os valores obtidos de NDF(%) e át.%  $^{15}\text{N}$  forneceram indicação de absorção e translocação do N do

fertilizante, enquanto que os dados de N(%) não permitiram visualizarem-se estes efeitos.

- O nitrogênio absorvido do fertilizante mostrou-se igualmente distribuído em termos percentuais, nas folhas e colmo da planta, indicando que para avaliações de concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  e NDF (%) estas partes poderiam ser tomadas como órgãos amostradores.

- As plantas desenvolvidas nas 3 linhas das parcelas marcadas com  $^{15}\text{N}$  não mostraram diferenças significativas para enriquecimento em át. %  $^{15}\text{N}$  e NDF(%) entre si, medidos na parte aérea da planta, aos finais dos ciclos (280 d.a.p. e 391 d.a.c.).

- A eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante na parte aérea da cana-planta foi de 44%, sendo 40% para colmos e 4% para folhas, correspondendo a aproximadamente 26,5% do total de N removido pela parte aérea da cultura no ciclo.

- O efeito residual do fertilizante aplicado à cana-planta no ciclo da cana-soca foi de 13% (5,4% nas folhas e 7,6% nos colmos), que representaram cerca de 8% do N removido pela parte aérea da cultura no ciclo.

- A soqueira apresentou uma recuperação do fertilizante da ordem de 40% (16% para folhas e 24% para colmos), contudo este percentual representou apenas 11% do N removido pela parte aérea da cultura neste ciclo.

- Ao final dos dois ciclos, cerca de 336 Kg de N/ha foram extraídos pela parte aérea da cultura, dos

quais 76,6 Kg de N/ha (ou 23% do N total) foram provenientes do fertilizante, o que representou uma recuperação de 51% do  $N-^{15}N$  aplicado à cana-planta e soca.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEJO, N.O. Efeito do nitrogênio nítrico, amoniacal e da uréia sobre o crescimento, carboidratos e compostos nitrogenados em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp cv. NA 56-79) cultivada em solução nutritiva. Piracicaba, 1980. 116 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

ALEJO, N.O. & CROCOMO, O.J. Influência de três formas de nitrogênio sobre o metabolismo de compostos nitrogenados em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cv. NA 56-79. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 1981. *Anais*. Rio de Janeiro, STAB, 1981. p. 305-19.

ALEXANDER, A.G. Sucrose-enzyme relationship in immature sugarcane affected by varying levels of nitrate and potassium supplied in sand culture. *Journal Agriculture of the University of Puerto Rico*, Rio Piedras, 47: 165-

229, 1964.

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

ALEXANDER, M. Mineralization and immobilization of nitrogen. In: \_\_\_\_\_. *Soil microbiology*. New York, John Wiley & Sons, 1961. p. 248-71.

ALMEIDA, M.T. de. Decomposição da vinhaça incorporada ao solo (evolução de CO<sub>2</sub> e formação de biomassa microbiana) e destino da complementação nitrogenada. Piracicaba, 1983. 75 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

ALMEIDA, M. T. de; VICTORIA, R. L.; CERRI, C.C. Destino do nitrogênio aplicado [(<sup>15</sup>NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] como complementação à vinhaça em solo ácido de Piracicaba, São Paulo. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. *Anais*. Piracicaba, CENA; São Paulo, PROMOCET, 1982. p. 193-6.

ALVAREZ, R.; SEGALLA, R.L.; CATANI, R.A. Adubação nitrogenada na cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, 16: 29-34, 1957.

- ALVAREZ, R.; SEGALLA, R.L.; CATANI, R.A. Adubação da cana-de-açúcar, III; fertilizantes nitrogenados. *Bragantia*, Campinas, 17: 141-6, 1958.
- ALVAREZ, R.; ARRUDA, H.V. de; GARGANTINI, H. Adubação da cana-de-açúcar, V; Ensaio preliminares de adubação NPK em Terra Roxa. *Bragantia*, Campinas, 19: 361-8, 1960.
- ALVAREZ, R.; VERDADE, F.C.; OLIVEIRA, H. Fracionamento da dose de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, 22: 51-4, 1963.
- ANDREIS, H.J. Macro and micronutrient content of millable Florida sugarcane. *The Sugar Journal*, New Orleans, 37 (8): 10-2. 1975.
- ARAÚJO, R.A.; ARAÚJO, A.W.; DEL PELOSO, E.J.M. Adubação mineral de cana-de-açúcar na Zona da Mata de Minas Gerais. *Boletim de Agricultura*, Belo Horizonte, 6(11/12): 5-24, 1957.
- ARRUDA, H.V. de. Adubação nitrogenada na cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, 19: 1105-10, 1960.
- AYRES, A. Effect of age upon the absorption of mineral

nutrients by sugarcane under field conditions. *Journal of American Society of Agronomy*, Madison, 28(11): 871-86, 1936.

AZEREDO, D.F. de & BOLSANELLO, J. Efeitos da adubação nitrogenada em cana-planta na Zona da Mata de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS DO BRASIL, 1., Maceió, 1979. *Anais*. Maceió, STAB, 1979. p. 350-2.

AZEREDO, D.F. de; BOLSANELLO, J.; WEBER, H.; VIEIRA, J.R. Nitrogênio em cana-planta - doses e fracionamento. *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 4(5): 26-33, 1986.

AZEREDO, D.F. & MANHÃES, M.S. Adubação orgânica. In: ORLANDO FILHO, J. coord. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 211-25. (Coleção Planalsucar, 2).

AZEREDO, D.F. de; MOTA, J.S.; MANHÃES, M.S.; ROBAÍNA, A.A. A adubação nitrogenada em cana-soca. *Saccharum*, São Paulo, 3(9): 35-8, 1980.

AZEREDO, D.F. de; PARAZZI, C.; CAMPOS, H. de. Efeitos da adubação nitrogenada na maturação da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS

- DO BRASIL, I., Maceió, 1979. *Anais*. Maceió, STAB, 1979. p. 346-9.
- AZEREDO, D.F. de; ROBAÍNA, A.A.; MANHÃES, M.S.; VIEIRA, J.R. A adubação da cana-de-açúcar nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (Zona da Mata e Região Norte). *Boletim Técnico PLANALSUCAR*, Piracicaba, 3(10): 5-24, out., 1981.
- BACCHI, O.S. *Ecofisiologia da cana-de-açúcar*. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1985. 20 p.
- BARNES, A.C. *The sugar cane*. New York, Interscience, 1964. 456 p.
- BISHOP, R.T. Mineral nutrient studies in sugarcane. In: ANNUAL CONGRESS OF THE SOUTH AFRICA SUGAR TECHNOLOGISTS ASSOCIATION, 39., Natal, 1965. *Proceedings*. Natal, SASTA, 1965. p. 128-33.
- BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F.; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 5(1):25-9, 1986.
- BORDEN, R. J. Nitrogen effects upon the yield and

- composition of sugar cane. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 52: 1-51, 1948.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo*. Rio de M.A., 1960. 634p. (Boletim, 12).
- BRAY, C. M. Interconversions of nitrogen. In: \_\_\_\_\_, *Nitrogen metabolism in plants*. London, Longman, 1983. p. 1-29.
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. et alii ed. *Methods of soils analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965a. Cap. 83, p. 1149-78.
- BREMNER, J.M. Isotope ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15 tracer investigation. In: BLACK, C.A. et alii ed. *Methods of soils analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965b. Cap. 86, p. 1256-86.
- BRINHOLI, O.; FURLANI, J.A.; SOARES, G.E. Estudo comparativo de formas e doses de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar (soca e ressoça). *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 95(4): 30-8, 1980a.
- BRINHOLI, O.; MACHADO, J.R.; LIEM, T.H. Estudo comparativo de

formas e doses de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar (cana de ano e meio). *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 97(4): 232-8, 1981.

BRINHOLI, O.; NAKAGAWA, J.; MARCONDES, D.A.S.; LIEM, T.H. Estudo comparativo de formas e doses de adubos nitrogenados na cultura de cana-de-açúcar (cana de ano). *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 96(5): 308-12, 1980b.

BUJAN, A.; QUITEGUI, M.I.; QUITEGUI, M.C.; GHELFI, L.E.P.de; DEYBE, D. Ensayo de aprovechamiento de la residualidad de un fertilizante marcado [ $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ] por un cultivo de trigo mediante el empleo de una técnica isotópica. In: COLOQUIO REGIONAL SOBRE MATERIA ORGÁNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. *Anais*. Piracicaba, CENA; São Paulo, PROMOCET, 1982. p. 209-14.

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

CARNAÚBA, B.A.A.; SANTOS, C.D.; VICTORIA, R.L.; COSTA, A. C.S. Efeito da vinhaça na dinâmica do [ $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ] 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/USF/CENA/CNEN, 1983. 1v.

CATANI, R.A.; ARRUDA, H.C.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H.B. A absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana-de-açúcar Co 419, e seu crescimento em função da idade. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, Piracicaba, 16: 167-90, 1959.

CHAN, Y. & WENG, T. Use of  $^{15}\text{N}$  to study the efficacy of nitrogen for sugarcane; 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 sugar-cane. In: RESEARCH COORDINATION MEETING: SOIL NITROGEN AS FERTILIZER OR POLLUTANT, Piracicaba, 1978. *Proceedings and Report*. Vienna, IAEA, 1980. p. 351-67. (Panel proceedings series).

CHUI, F. & SAMUELS, G. Evaluacion de la eficiencia del N aplicado como fertilizante en cultivos irrigados de plantillas y retornos de cana de azúcar. Mexico, GEPLA-CEA, 1981. 1v. (Boletín, 20).

CLEMENTS, H.F. Crop-logging of sugar cane: the standard nitrogen index and the normal nitrogen index. *Bulletin*



*of the Agriculture Experimental Station of Hawaii.*

University of Hawaii, Honolulu, n. 35, oct., 1957. 56p.

CLEMENTS, H.F. Nitrogen. In: \_\_\_\_\_. *Sugarcane crop-logging and crop control: Principles and practices.* Honolulu, The University Press of Hawaii, 1960a. p. 272-319.

CLEMENTS, H.F. Recent development in the crop-logging of sugarcane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 10., Hawaii, 1959. *Proceedings.* Amsterdam, Elsevier, 1960b. p.522-8.

CLEMENTS, H.F. & GHOTB, A. The numbering of leaves and internodes of sugarcane nutrition studies. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 13., Taiwan, 1968. *Proceedings.* Amsterdam Elsevier, 1969. p. 569-84.

CROCOMO, O.J. & SILVEIRA, J.A.G. O sistema "fonte-reservatório" e a produtividade da cana-de-açúcar. *Agricultura*, Piracicaba, 3(1/2): 6-7, 1983.

CROCOMO, O.J.; SILVEIRA, J.A.G.; ALEJO, N.O. Formas nitrogenadas e metabolismo de açúcares e crescimento em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cv. NA 56-79. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E

- ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 1981. *Anais*. Rio de Janeiro, STAB, 1981. p. 282-304.
- CRUZ, R.A. & PUYADAN, E.B. Preliminary study on the elemental uptake of some sugarcane varieties at Canlubang State. *Sugar News*, Manilla, 46(12):465-570, 1970.
- DAS, U. K. Nitrogen nutrition of sugar cane. *Plant Physiology*, Bethesda, 11: 251-317, 1936.
- DÖBEREINER, J. Influência da cana-de-açúcar na população de *Beijerinckia* no solo. *Revista Brasileira de Biologia*, Rio de Janeiro, 19: 251-258, 1959.
- DÖBEREINER, J.; DAY, J.M.; DART, P.J. Nitrogenase activity in the rhizosphere of sugar cane and some other tropical grasses. *Plant and Soil*, The Hague, 37: 191-6, 1972.
- DÖBEREINER, J.; DAY, J.M.; DART, P.J. Fixação do nitrogênio na rizosfera de *Paspalum notatum* e da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 8: 153-7, 1973.
- DU TOIT, J.L. Recent advances in nutrition of sugar cane in South Africa. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 10., Hawaii, 1959. *Proceedings*. Amsterdam, Elsevier, 1960. p. 432-41.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1979. Parte 1, método 1.11.2; Parte 2, métodos 2.1.1 - 2.1.8.

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

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 TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 1981. *Anais*. Rio de Janeiro, STAB, 1981a. p. 128-39.

ESPIRONELO, A. & OLIVEIRA, H. de. Orientação geral para a adubação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. *Boletim IAC*, Campinas, n. 201, 1972. 16p.

ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H.; LEPSCH, I.F.; NAGAI, V.; PEREIRA, J.C.V.N.A. Efeitos da adubação NPK, em três profundidades, em soca de cana-de-açúcar. I; Produção de cana e de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 1981. *Anais*. Rio de Janeiro, STAB, 1981b. p.89-110.

ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H. de; NAGAI, V. Efeitos da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (cana-planta) em anos consecutivos de plantio. I. Resultados de 1975/76. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 1(2/3): 76-81, 1977.

ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H. de; NAGAI, V. Efeitos da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (cana-planta) em anos consecutivos de plantio. II. Resultados de 1976/77 e conclusões finais (1974/78). *Bragantia*, Campinas, 39:27-38, 1980.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. *Soil Taxonomy*; a basic system of soil classification to making and interpreting soil surveys. Washington, USDA, 1975. 745 p. (Agricultural Handbook, 436).

FAGANELLO, B.F. Adubação nitrogenada em novas variedades de cana-de-açúcar (clones sp). Piracicaba, 1981. 50p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP).

FARIA, C.M.B. de; MORGADO, L.B.; PEREIRA, J.R.; ARAGÃO, O.P. Influência de fontes e níveis de nitrogênio na cultura da cana-de-açúcar irrigada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 18(8): 849-53, 1983.

- FAUCONNIER, R. & BASSEREAU, D. *La cana de azúcar*; Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Barcelona, Blume, 1975. 433p.
- FRITZ, J. Effect of fertilizer application upon sucrose % cane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., Durban, 1974. *Proceedings*. Durban, Hayne et Gibson, 1974. v.2, p. 630-2.
- GALLO, J.R.; ALVAREZ, R.; ABRAMIDES, E. Amostragem de cana-de-açúcar para fins de análise foliar. *Bragantia*, Campinas, 21: 899-920, 1962.
- GEUS, J.G. de. *Fertilizer guide for tropical and subtropical farming*. Zurich, Centre d'Etude de l'Azote, Conzett & Huber, 1967. 727p.
- GLÓRIA, N.A.da; FONTANARI, N.; ALONSO, O.; HENRIQUE, J.L.P.; GERALDI FILHO, L.; ALBUQUERQUE, F.C. Complementação nitrogenada de soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 3., São Paulo, 1984. *Anais*. São Paulo, STAB, 1984. p. 74-7.
- GOLDEN, L.E. Plant nutrients uptake by sugarcane in Louisiana. *The Sugar Journal*, New Orleans, 22(11): 21-2, 1960.

- HALAIS, P. The determination of nitrogenous fertilizer requirement of sugarcane crops by foliar diagnosis. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 10., Hawaii, 1959. *Proceedings*. Amsterdam. Elsevier, 1960. p. 516-21.
- HARTT, C.E. Effect of nitrogen deficiency upon translocation of  $^{14}\text{C}$  in sugarcane. *Plant Physiology*, Bethesda, 45: 183-7, 1970.
- HARTT, C.E. & BURR, G.O. Factors affecting photosynthesis in sugarcane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., San Juan, 1965. *Proceedings*. Amsterdam, Elsevier, 1967. p. 590-609.
- HAUCK, R.D. Quantitative estimatives of nitrogen - cycle process - concepts and review. In: *Nitrogen-15 in soil-plant studies*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1971. p. 65-80.
- HAUCK, R.D. Nitrogen tracers in nitrogen cycle studies; past use and future needs. *Journal Environmental Quality*, Maryland, 2(3): 317-27, 1973.
- HILTON, H.W. & MCKENZIE, R.J. The response of varieties to amounts of applied nitrogen as measured by yield tests - 1960 to 1978. In: Hawaiian Sugar Planters' Association.

- Experimental Station. *Annual report*, 1979. Aiea, 1980. p. 22-4.
- HUMBERT, R.P. The nutrition of sugar cane. In: \_\_\_\_\_. *The growing of sugar cane*. Amsterdam, Elsevier, 1968. p. 133-63.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Tracer manual on crops and soil*. Vienna, IAEA, 1976. 277 p. (Technical Report Series, 171).
- JACKSON, M.L. *Análisis químico de suelos*. 3. ed. Barcelona, Omega, 1976. 662 p.
- JACOB, A. & UEXKULL, H.V. *Fertilización*. Amsterdam, Instituto Internacional de la Potassa, 1961. 626 p.
- JONES, T.A. & HUMBERT, R.P. A spectrographic study of variations in the nutrient content of sugarcane. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 55(4): 313-7, 1960.
- JORGENSEN, S.S. *Total nitrogen in plant material by auto-analyser in laboratory*; some used for routine chemical analysis. Piracicaba, CENA, 1977. 22 p.
- KIEHL, E. J. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo, Ceres, 1985. 492 p.

- KIEHL, J.C. Adubação da cana-de-açúcar: qual a melhor época para a aplicação de nitrogênio? *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 2(7): 18-23, nov/dez., 1982.
- KIEHL, J.C. Uréia; são importantes as perdas de nitrogênio por volatilização. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 3(10): 28-32, maio/jun., 1983.
- KIEHL, J.C.; ESPIRONELO, A.; OLIVEIRA, H. Comportamento do nitrogênio no solo aplicado à cana-de-açúcar, em duas épocas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 5: 32-7, 1981.
- LAKSHMIKANTHAN, M. Application of phosphate and potash and their effect on the juice quality of cane crops following heavy nitrogen fertilization. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., Durban, 1974. *Proceedings*. Durban, Hayne et Gibson, 1974. v. 2, p. 633-6.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, F.B.; PICCOLO, M.C. Volatilização de amônia da uréia -  $^{15}\text{N}$  e aquamônia -  $^{15}\text{N}$  aplicadas na cultura de cana-de-açúcar em condições de campo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4., Olinda, 1987. *Resumos*. Pira-



- cicaba, *STAB*, Açúcar, Álcool e Subprodutos, 6(1): 10, set/out., 1987.
- LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; REICHARDT, K.; CERVELLINI, A. Nitrogen cycling in a  $^{15}\text{N}$  - fertilizer bean (*Phaseolus vulgaris*, L.) crop. *Plant and Soil*, The Hague, 67: 193-208, 1982.
- LIMA JÚNIOR, M.A. Nitrogen nutrition of sugar cane in N.E. Brazil. Saskatoon, 1982. 172 p. (Ph. D. - University of Saskatchewan).
- LONG, A.C. Distribution of major and tracers elements in sugarcane. *Rhodesia Agriculture Journal*, Zimbabwe, 69(9): 119, 1972.
- MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHAL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 17(9): 1323-9, 1982.
- MAGALHÃES, A.C.N. de. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G., coord. *Fisiologia Vegetal*. 2.ed. São Paulo, EDUSP, 1983. v. 1, p. 331-50.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola; nutrição de*

- plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ceres, 1976. 528 p.
- MALAVOLTA, E. *Nutrição*. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4., Águas de Lindóia, 1976. *Anais*. São Paulo, COPERSUCAR, 1977. p. 217-25.
- MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola; adubos e adubação adubação*. 3. ed. São Paulo, Ceres, 1981. 596 p.
- MALAVOLTA, E. *Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar*. Piracicaba, Ultrafértil/Depto. de Serviços Técnicos e Agronômicos, 1982a. 80 p.
- MALAVOLTA, E. A adubação mineral da cana-de-açúcar. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 2(7): 10-7, 1982b.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P. Nutrição e adubação. In: MALAVOLTA, E. et alii ed. *Cultura e adubação da cana-de-açúcar*. São Paulo, Instituto Brasileiro da Potassa, 1964. p. 237-78.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. *Nutrição mineral de algumas culturas tropicais*. São Paulo, Pioneira, 1967. 251 p.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL GOMES, F.; COURY, T.; ABREU, C.P.;

- VALSEQUI, O.; HAAG, H.P.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; MELLO, F.A.F. de; ARZOLLA, J.D.P.; RANZANI, G.; KIEHL, E.J.; CROCOMO, O.J.; MENARD, L.N.; NOVAES, R.F.; FREIRE, O.; OLIVEIRA, E.R.de. *A diagnose foliar na cana-de-açúcar IV*; relatos de 40 ensaios fatoriais NPK 3x3, primeiro corte no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ, 1963. 43 p.
- MANHÃES, M.S.; AZEREDO, D.F. de; PEIXOTO, A.A. Adubação NPK em cana-de-açúcar na Zona da Mata de Minas Gerais. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 91(6): 20-6, 1978.
- MARINHO, M.L.; ALBUQUERQUE, G.A.C. de; ARAÚJO FILHO, J.T. Efeitos de doses de vinhaça e adubação mineral sobre a cana-soca em dois solos de Alagoas. *Brasil Açucareiro*, 99(2): 111-22, 1982.
- MARINHO, M.L.; CAVALCANTI, G.A.; AMORIM, A.L.C. Influência do nitrogênio, fósforo e potássio no rendimento industrial dos canaviais de Alagoas. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 86(6): 19-29, 1975.
- NEPTUNE, A.L.M. & MURAOKA, T. Aplicação de uréia - <sup>15</sup>N em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) cultivar carioca. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 2: 51-5, 1978.

- NG KEE KWONG, K.F.; DE VILLE, J.; CAVALOT, P.C.; RIVIERE, V.  
Value of cane trash in nitrogen nutrition of sugarcane.  
*Plant and Soil*, Dordrecht, 102(1): 79-83, 1987.
- OBATOLU, C.R. & ENZMANN, J. The effect of three sources of  
nitrogen fertilizer on the yield and quality parameter  
of sugarcane (*Saccharum officinarum*, L.). *Turrialba*,  
Puerto Rico, 35(3): 261-7, 1985.
- OLSON, R.V. & SWALLOW, C.W. Fate of labelled nitrogen  
fertilizer applied to winter wheat for five years. *Soil  
Science Society of America Journal*, Washington, 48(3):  
583-6, 1984.
- ORLANDO FILHO, J. Cana-de-açúcar; recomendação de adubação  
mineral para o Estado de São Paulo. *Brasil Açucareiro*,  
Rio de Janeiro, 86(6): 9-12, 1975.
- ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar.  
*Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 89(1): 10-6, 1977.
- ORLANDO FILHO, J. Absorção dos macronutrientes pela cana-  
de-açúcar (*Saccharum* spp) variedade CB 41-76, em três  
grandes grupos de solos no Estado de São Paulo. Piraci-  
caba, 1978. 154 p. (Doutorado - Escola Superior de  
Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP).

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Crescimento e absorção de macro nutrientes 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): 3-127, fev., 1980.

ORLANDO FILHO, J. & ZAMBELLO JÚNIOR, E. Influência varietal na adubação nitrogenada em soqueira de cana-de-açúcar. *Boletim Técnico PLANALSUCAR*, Piracicaba, 1(1): 25-50, out., 1979.

ORLANDO FILHO, J. & ZAMBELLO JÚNIOR, E. Adubação nitrogenada em cana-planta no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 2., Rio de Janeiro, 1981. *Anais*. Rio de Janeiro, STAB, 1981. p. 190-202.

ORLANDO FILHO, J. & ZAMBELLO JÚNIOR, E. Diagnose foliar. In: ORLANDO FILHO, J. coord. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 125-52. (Coleção Planalsucar, 2).

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; SOUZA, J.A.G.C. Adubação nitrogenada em quatro variedades de cana-planta em solo Latossolo Vermelho Escuro-Orto. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 89(4): 6-14, 1977.

- PADOVESE, P.P. Movimento e perdas de nitrogênio e potássio num solo com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). Piracicaba, 1988. 118 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- PARISH, D.H. The efficacy of nitrogenous fertilizer. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 12., San Juan, 1965. *Proceedings*. Amsterdam, Elsevier, 1967. p. 372-9.
- PENNA, M.J. & FIGUEIREDO, A.A.M. Aquamônia x uréia em soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., Piracicaba, 1984. *Anais*. São Paulo, COPERSUCAR, 1984. P. 180-95.
- PINNA, J.C. & VALDIVIA, S.V. Nitrogen volatilization from urea applied as a top dressing or buried in calcareous sugarcane soils. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978. p. 1455-61.
- PEREIRA, V.; GLÓRIA, N.A. da; MAGALHÃES, P.M. A adubação nitrogenada das soqueiras de cana-de-açúcar fertilizadas com vinhaça. *Alcool e Açúcar*, São Paulo, 4(20): 28-30, jan/fev., 1985.

- RECOMENDAÇÕES de fertilizantes em cana-de-açúcar. *Boletim Técnico COPERSUCAR*, Piracicaba, (4): 7-13, 1977.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, F.L.; URQUIAGA, S.C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGRO-CHEMICALS: FATE IN FOOD AND THE ENVIRONMENTAL USING ISOTOPE TECHNIQUES, Rome, 1982. *Proceedings*. Vienna, IAEA, 1982. p. 177-90. (Proceedings series).
- RITTENBERG, D. The preparation of gass sample for mass spectromic analysis. In: WILSON, D.W., ed. *Preparation and measurement of the isotopic tracers*. Ann Harbor, J.W. Edwards, 1946. p. 31-42.
- RODRIGUES, J.C.S.; PENNA, M.J.; MORAES, R.S. Complementação nitrogenada em áreas fertilizadas com vinhaça. In: REUNIÃO TÉCNICA AGRONÔMICA; MANEJO DA ADUBAÇÃO NA CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR, Piracicaba, 1984. Piracicaba, Centro de Tecnologia COPERSUCAR, 1984. p. 33-9.
- ROSARIO, E.L. & SOOKSATHAN, K. Influence of fertility levels on nitrate reductase activity and its significance to sugar yield. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, The Executive Committee of ISSCT, 1978. p. 1825-41.

ROSSIELLO, R.O.P. Bases fisiológicas da acumulação de nitrogênio e potássio em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp, cv. NA 56-79) em resposta à adubação nitrogenada em cambissolo. Piracicaba, 1987. 172 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz/USP).

RUSCHEL, A.P. Fixação biológica do nitrogênio em cana-de-açúcar. Piracicaba, 1975. 73p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

RUSCHEL, A.P.; HENIS, Y.; SALATI, E. Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil-grown sugarcane seedlings. *Soil Biological Biochemistry*, Oxford, 7: 181-2, 1975.

RUSCHEL, A.P.; MATSUI, E.; ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C. Closed system nitrogen balance studies in sugarcane utilizing  $^{15}\text{N}$  - ammonium sulphate. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16. São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978a. p. 1539-47.

RUSCHEL, A.P.; ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization and irrigation on nitrogenase activity and yield of sugarcane, preliminary note. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLO-



- GISTS, 16. São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978b. p. 1903-11.
- RUSCHEL, A.P.; ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; HENIS, Y. Aerobic and anaerobic nitrogen-fixing bacteria on sugarcane roots. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16. São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978c. p. 1923-9.
- RUSCHEL, A.P. & RUSCHEL R. Varietal differences affecting nitrogenase activity in the rhizosphere of sugarcane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16. São Paulo, 1977. *Proceedings*. São Paulo, The Executive Committee of the ISSCT, 1978. p. 1941-7.
- RUSCHEL A.P. & VOSE, P.B. Nitrogen cycling in sugarcane. *Plant and Soil*, The Hague, 67: 139-46, 1982.
- SALATA, J.C. Resposta de diferentes variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) à adubação nitrogenada em solo TE; Cana-planta. Piracicaba, 1982. 43 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- 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): 1103-8, set., 1984.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I.; Eficiência de utilização de uréia ( $^{15}\text{N}$ ) em aplicação única ou parcelada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 19(8): 943-9, ago., 1984.

SAMPAIO, E.V.S.B. & SALCEDO, I.H. Eficiência da utilização da uréia- $^{15}\text{N}$  por cana-planta e três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4., Olinda, 1987. Resumos. *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 6(1): 10, set/out., 1987.

SAMUELS, G. The efficiency of sugarcane in its use of nitrogen fertilizer applications. *Journal of University of Puerto Rico*, Rio Piedras, 40(4): 209-17, Oct., 1956.

SAMUELS, G. The leaf sample. In: \_\_\_\_\_. *Foliar diagnosis for sugarcane*. Rio Piedras, Agricultural Research Publications, 1968. p. 137-68.

SAMUELS, G. *Diagnóstico foliar para la cana de azúcar*. In:

- SEMINARIO COPERSUCAR DA AGROINDÚSTRIA AÇUCAREIRA, 4.,  
Águas de Lindóia, 1976. *Anais*. São Paulo, COPERSUCAR,  
1977. p. 5-17.
- SAMUELS. G. & ALERS-ALERS, S. Effect of time on nitrogen  
application on the sucrose content of sugarcane ratoons.  
*Journal Agriculture of University of Puerto Rico*, Rio  
Piedras, 48: 304-7, 1964.
- SAMUELS. G.; LANDRAU, P.; ALERS-ALERS, S.; RIERA, A. The  
method of foliar diagnosis as applied to sugarcane.  
*Bulletin of the Agriculture Experimental Station*.  
University of Puerto Rico, Rio Piedras, n. 123, 1955.  
1171 p.
- SAMUELS, G.; LANDRAU JÚNIOR, P.; CAPÓ, B.G. The reponse of  
sugarcane in Puerto Rico to various nitrogen sources.  
*Journal Agriculture of University of Puerto Rico*, Rio  
Piedras, 36: 231-9, 1952.
- SCHNÜRER, J. & ROSSWALL, T. Mineralization of nitrogen from  
 $^{15}\text{N}$  labelled fungi, soil microbial biomass and roots and  
its uptake by barley plants. *Plant and Soil*, Dordrecht,  
102(1): 71-8, 1987.
- SILVA, G.M.A. Influência da adubação nitrogenada na quali-

- dade da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. coord. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 317-32. (Coleção Planalsucar, 2).
- SILVA, L.C.F. da & CASAGRANDE, J.C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. coord. *Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil*. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR, 1983. p. 77-99. (Coleção Planalsucar, 2).
- SILVA, L.C.F. da; ALONSO, O.; ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JÚNIOR, E. Complementação nitrogenada da vinhaça. II.: Formas de aplicação em TE. *Brasil Açucareiro*, Rio de Janeiro, 98(5): 59-65, nov., 1981.
- SILVA, L.C.F. da; PIRES NETO, J.A.; ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J. Adubação nitrogenada em cultivo mínimo na cana-de-açúcar. *Saccharum*, São Paulo, 28(6): 26-9, set/out., 1983.
- SILVEIRA, J.A.G. Aspectos bioquímicos e fisiológicos da relação K/N em cana-de-açúcar (*Saccharum* sp) cv. NA 56-79 cultivada em solução nutritiva. Piracicaba, 1980. 127 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- SILVEIRA, J.A.G. Interações entre assimilação de nitrogênio e o crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) cultivada em condições de campo. Piracicaba, 1985. 152p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- SILVEIRA, J.A.G. & CROCOMO, O.J. Biochemical and physiological aspects of sugarcane (*Saccharum* spp). I.; Effects of  $\text{NO}_3^-$  nitrogen concentration on the metabolism of sugar and nitrogen. *Energia Nuclear e Agricultura*, Piracicaba, 3(1): 19-33, jan/jun., 1981.
- SIMÕES NETO, D.E. & MARCOS, Z.Z. Influência da qualidade e localização da reserva nutricional do tolete sobre o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4., Olinda, 1987. Resumos. *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 6(1): 24, set/out., 1987.
- SINGH, V.S. Nitrogen and sugarcane. IV.; Leaf nitrogen in response to single and piecemeal application of fertilizer and its relations with growth. *Indian Sugar*, New Delhi, 24: 541-8, 1974.
- SINGH, V. S. Nitrogen and sugarcane. XIII.; Relative

mobilization of nitrogen in above ground plant parts during different phases of crop growth. *Indian Sugar*, New Delhi, 27(10): 715-9, 1978a.

SINGH, V.S. Nitrogen and sugarcane. XIV.; Nitrogen removed by sugarcane crops during different phases and its relation to cane yield. *Indian Sugar*, New Delhi, 27(11): 753-8, 1978b.

SINGH, V. S. Nitrogen and sugarcane. XV.; Nitrogen metabolism in relation to growth. *Indian Sugar*, New Delhi, 28(2): 81-5, 1978c.

SINGH, V.S. Nitrogen and sugarcane. XVI.; Available soil nitrogen during different phases and crops growth. *Indian Sugar*, New Delhi, 28(6): 391-5, 1978d.

SINGH, V.S. Nitrogen uptake studies in relation to crop canopy in sugarcane. *Indian Sugar*, New Delhi, 33(6): 391-5, 1983.

SOBRAL, A.F. de & LIRA, L.J. de A. Adubação nitrogenada em cana-planta no Nordeste do Brasil. *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 1(5): 29-34, maio/jun., 1983.

SOBRAL, A.F. de & LIRA, L.J. de A. Efeitos da adubação com

- nitrogênio em cana-soca no Nordeste Brasileiro. *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 2(3): 36-9, jan/fev., 1984.
- SRIVASTAVA, S.C. A new concept to guide time of nitrogen fertilization for sugarcane. *Plant and Soil*, The Hague, 32: 373-81, 1970.
- STANFORD, G. Sugarcane quality and nitrogen fertilization. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 56(4): 289-319, 1963.
- TAKAHASHI, D.T. Six years studies on nitrogen utilization by sugar cane plant using  $N^{15}$  as a tracer. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 10., Hawaii, 1959. *Proceedings*. Amsterdam, Elsevier, 1960. p. 377-90.
- TAKAHASHI, D.T.  $N^{15}$  - nitrogen field studies with sugar cane. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 57(2): 198-222, 1964.
- TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by use of  $N^{15}$ . I.; Summer and fall plant and ratoon crops on the Hamakua Coast of Hawaii. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 57(3): 237-66, 1967a.

TAKAHASHI, D.T. Effect of amount and timing on the fact of fertilizer nitrogen in lysimeter studies with  $N^{15}$ . *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 57(4): 292-309, 1967b.

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

TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of  $N^{15}$ . II.; Summer plant and ratoon crops at Hilo, Hawaii. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 58(2): 13-20, 1969.

TAKAHASHI, D.T. Fate of applied fertilizer nitrogen as determined by the use of  $N^{15}$ . III.; Summer and winter plant and ratoon crops at two locations on Kauai. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 58(4): 53-69, 1970a.

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

TAKAHASHI, D.T.  $N^{15}$  field studies with sugar cane in Coral soils. *The Hawaiian Planters' Record*, Honolulu, 58(9): 119-26, 1970c.



TANIMOTO, T. & BURR, G. The growth of sugar cane as influenced by nitrogen fertilizer. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 10., Hawaii, 1959. *Proceedings*. Amsterdam, Elsevier, 1960. p. 450-2.

TOLEDO, F.F. & NOVAES, R.F. Cana-de-açúcar; adubação nitrogenada em cobertura. Resultados preliminares. *Revista da Agricultura*, Piracicaba, 37(2): 107-12, 1962.

TRIVELIN, P.C.O.; CAMARGO, P.B.; LIBARDI, P.L.; MORAES, S.O.; LARA CABEZAS, W.A.R.; PALHARES, A.L. *Dinâmica do N dos fertilizantes; uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e aquamônia ( $^{15}\text{N}$ ) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar*. Piracicaba, COPERSUCAR/FEALQ/CENA, 1988. 84p. (Relatório final de prestação de serviços de pesquisa tecnológica).

TRIVELIN, P.C.O.; COLETI, J.T.; MATSUI, E. Absorção e perdas de uréia aplicada por via foliar na cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), considerando a ocorrência de chuvas a diferentes intervalos de tempo de aplicação. *STAB, Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, 3(3): 12-6, jan/fev., 1985.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar do nitrogênio dos adubos uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e aquamônia ( $^{15}\text{N}$ ) incorporados ao

solo em área fertilizada com vinhaça. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., Piracicaba, 1986. *Anais*. Piracicaba, COPERSUCAR, 1986a. p. 287-301.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. *Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar (3º corte) do nitrogênio residual dos adubos; uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e aquamônia ( $^{15}\text{N}$ ), aplicados no cultivo após o 1º corte*. Piracicaba, FEALQ/CENA/COPERSUCAR, 1986b. 19 p. (Relatório de prestação de serviços de pesquisas tecnológicas).

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. *Aproveitamento pela soqueira da cana-de-açúcar (2º corte) do nitrogênio residual dos adubos; uréia ( $^{15}\text{N}$ ) e aquamônia ( $^{15}\text{N}$ ), aplicados no cultivo após o 1º corte*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. *Anais*. Campinas, SBCS, 1987a. p. 104-5.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. *Preparo de amostras para análise de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa*. Piracicaba, CENA, 1973. 41 p. (Boletim técnico, 2).

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDÖRFER, G.H.; PALHARES, A.L. *Aproveitamento do nitrogênio dos adubos; aquamônia ( $^{15}\text{N}$ ) e uréia ( $^{15}\text{N}$ ), pela soqueira de 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, S.C.; BOTTEON, P.T.L.; LIMA, E.; BODDEY, R.M.; DÖBEREINER, J. Fixação biológica de nitrogênio, uma importante fonte de nitrogênio na cultura de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 4., Olinda, 1977. Resumos. *STAB*, Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, 6(1): 24, set/out., 1987.
- URQUIAGA, S.C.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K.; PADOVESE, P.P.; MORAES, S.O.; VICTORIA, R.L. Estudo da mineralização do  $^{15}\text{N}$  - orgânico num oxisol (L.E.) e sua absorção por uma gramínea (*Melinis multiflora*, Beauv.) In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. *Anais*. Piracicaba, CENA; São Paulo, PROMOCET, 1982. p. 197-207.
- VALDIVIA, V.S. Nitrogen gains and losses in sugarcane (*Saccharum* sp.) agrosystem on the coast of Peru. *Plant and Soil*, The Hague, 67: 147-56, 1982.
- VAN DILLEWIJN, C. *Botany of sugarcane*. Waltham, Massachusetts, The Chronica Botanica, 1952. 371 p.
- VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente

- de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Brasília, 1984. *Anais*. Brasília, EMBRAPA, 1984. n.p.
- YOON, C. N. Growth studies on sugarcane. II - Nutrient uptake. *The Malaysian Agronomy Journal*, Kuala Lumpur, 48(4): 357-84, 1972.
- WOOD, R.A. Nitrogen fertilizer use for cane. 1. Amounts of N required. *The South African Sugar Journal*, Durban, 52(3): 225-41, Mar., 1968a
- WOOD, R.A. Nitrogen fertilizer use for cane. 2. Time and method of applied nitrogenous fertilizer. *The South African Sugar Journal*, Durban, 52(4): 331-9, Apr., 1968b.
- WOOD, R.A. The effect of time of application on the utilization of fertilizer nitrogen by plant cane. CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 15., Durban, 1974. *Proceedings*. Durban, Hayne et Gibson, 1974. p. 618-9.
- ZAMBELLO JUNIOR, E.; FRANCISCO, J. O.; CASAGRANDE, J. C. Sugar cane nitrogen fertilization correlated with some soil properties. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF THE SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 18., Habana, 1983.

*Proceedings.* The Executive Committee of the ISSCT, Habana, 1983. p. 153-61.

ZAMBELLO JÚNIOR, E. & ORLANDO FILHO, J. A adubação da cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. *Boletim Técnico PLANALSUCAR*, Piracicaba, 3(3): 5-26, mar., 1981.

APENDICES

Apêndice 1. Umidade (%) do colmo da cana-planta,  
var. NA 56-79, aos 280 d.a.p.

| <u>Parcela</u> | <u>Linha</u> | <u>(U%)</u>  |
|----------------|--------------|--------------|
| P-1            | 1            | 78,35        |
| P-1            | 2            | 79,80        |
| <u>P-1</u>     | <u>3</u>     | <u>83,30</u> |
| P-2            | 1            | 81,33        |
| P-2            | 2            | 81,21        |
| <u>P-2</u>     | <u>3</u>     | <u>80,67</u> |
| P-0            | 1            | 85,10        |
| P-0            | 2            | 84,09        |
| <u>P-0</u>     | <u>3</u>     | <u>-</u>     |
| <u>Média</u>   |              | <u>82</u>    |

Apêndice 2. Acúmulo de massa seca (g) na parte aérea da cana-soca, var. NA 56-79. (valores expressos por unidade de amostra: colmo + folhas).

| Massa Seca (g) |       |       |       |       |       |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| d.a.c.         | P-0   | P-1   | P-2   | P-3   | P-4   |
| 153            | 28,0  | 28,2  | 105,5 | 26,5  | 34,3  |
| 179            | 224,2 | 126,0 | 259,8 | 75,5  | 117,0 |
| 213            | 335,1 | 236,6 | 360,0 | 198,0 | 186,1 |
| 245            | 188,5 | 365,5 | 468,0 | 375,5 | 341,0 |
| 272            | 269,0 | 420   | 588,7 | 273,0 | 260,5 |
| 306            | 314,0 | -     | 468,4 | 299,0 | 318,0 |
| 335            | 406,0 | 356,9 | -     | 348,6 | 366,3 |



Apêndice 3. Umidade (%) nas folhas e colmo da cana-soca, por ocasião da colheita (391 d.a.c.).

| Parcela | Linha | Umidade (%) |       |
|---------|-------|-------------|-------|
|         |       | Folhas      | Colmo |
| P-1     | 1     | 61,51       | 67,75 |
| P-1     | 2     | 65,98       | 74,84 |
| P-1     | 3     | 69,42       | 69,53 |
| P-2     | 1     | 69,13       | 70,91 |
| P-2     | 2     | 67,65       | 68,18 |
| P-2     | 3     | 67,63       | 67,10 |
| P-3     | 1     | 57,88       | 71,20 |
| P-3     | 2     | 59,84       | 68,43 |
| P-3     | 3     | 47,28       | 69,91 |
| P-4     | 1     | -           | 71,77 |
| P-4     | 2     | 56,19       | 76,40 |
| P-4     | 3     | 59,80       | 72,77 |
| P-0     | -     | 53,87       | 68,86 |
| P-0     | -     | 66,34       | 68,14 |
| P-0     | -     | 60,08       | 73,35 |
| P-0     | -     | 53,41       | 67,80 |
| P-0     | -     | 57,55       | 66,28 |
| P-0     | -     | 54,78       | 69,88 |
| Média   |       | 60,5        | 70,2  |

Apêndice 4. Massa seca (g) de amostras de parte aérea subdividida em folhas e colmos de cana-planta colhida aos 280 d.a.p., para cálculo de MSf/MSc.

| Parcela      | Linha | Massa Seca (g) |       | Relação       |
|--------------|-------|----------------|-------|---------------|
|              |       | Folhas         | Colmo | MSf:MSc       |
| P-1          | 1     | 40,5           | 537,3 | 1:13,3        |
| P-1          | 2     | 55,2           | 544,4 | 1:9,8         |
| P-1          | 3     | 42,9           | 566,4 | 1:13,2        |
| P-2          | 1     | 68,7           | 496,1 | 1:10,8        |
| P-2          | 2     | 47,6           | 426   | 1:9           |
| P-3          | 3     | 43,3           | 600,4 | 1:13,8        |
| <u>Média</u> |       |                |       | <u>1:11,6</u> |

Apêndice 5. Massa seca (g) de amostras de parte aérea subdividida em folhas e colmo de cana-soca colhida aos 391 d.a.c., para cálculo da relação MSf/MSc.

| Parcela      | Linha | Massa Seca (g) |       | Relação      |
|--------------|-------|----------------|-------|--------------|
|              |       | Folhas         | Colmo | MSf/MSc      |
| P-1          | 1     | 41,6           | 124,2 | 1:2,98       |
| P-1          | 2     | 36,2           | 96,8  | 1:2,67       |
| P-1          | 3     | 30,6           | 111,3 | 1:3,69       |
| P-2          | 1     | 40,2           | 117,6 | 1:2,96       |
| P-2          | 2     | 39,6           | 125,2 | 1:3,16       |
| P-2          | 3     | 47,4           | 122   | 1:2,57       |
| P-3          | 1     | 51,4           | 115,4 | 1:2,24       |
| P-3          | 2     | 44,7           | 124,7 | 1:2,1        |
| P-3          | 3     | 57,0           | 109,8 | 1:1,92       |
| P-4          | 1     | 45,9           | 115,1 | 1:2,51       |
| P-4          | 2     | 32,9           | 106,7 | 1:3,2        |
| P-4          | 3     | 59,4           | 134,4 | 1:2,26       |
| P-0          | 1     | 46,7           | 108,1 | 1:2,14       |
| P-0          | 2     | 46,7           | 118,8 | 1:2,54       |
| P-0          | 3     | 69,2           | 149   | 1:2,15       |
| <u>Média</u> |       |                |       | <u>1:2,6</u> |

Apêndice 6. Teor de N total (%) na folha +1, em função da idade, em cana-planta (var. NA 56-79).

| d.a.p. | N (%) |      |      |
|--------|-------|------|------|
|        | P-0   | P-1  | P-2  |
| 97     | 1,60  | 1,83 | 1,83 |
| 159    | 1,60  | 1,62 | 1,64 |
| 195    | 1,52  | 1,38 | 1,62 |
| 230    | 1,67  | 1,68 | 1,56 |

Apêndice 7. Teor de N total (%) na folha +1, em função da idade, em cana-soca (var. Na 56-79).

| d.a.c. | N (%) |      |      |      |      |
|--------|-------|------|------|------|------|
|        | P-0   | P-1  | P-2  | P-3  | P-4  |
| 153    | 1,12  | 1,19 | 1,26 | 1,16 | 1,45 |
| 179    | -     | 1,56 | 1,42 | 1,28 | 1,39 |
| 213    | 1,17  | 1,91 | 1,16 | 1,18 | 1,21 |
| 245    | 1,01  | 0,82 | 0,82 | 0,97 | 1,19 |
| 272    | 1,33  | 1,22 | 1,24 | 1,18 | 1,19 |
| 306    | 0,96  | 1,21 | 1,04 | 1,17 | 1,00 |
| 335    | -     | -    | 1,18 | 1,29 | -    |

Apêndice 8. Variação no teor de N total (%) na parte aérea (folhas + colmo) da cana-soca, em função da idade (var. NA 56-79).

| d.a.c. | N (%) |      |      |      |      |
|--------|-------|------|------|------|------|
|        | P-0   | P-1  | P-2  | P-3  | P-4  |
| 59     | -     | 1,56 | 1,77 | 1,45 | 1,68 |
| 93     | 1,82  | 1,83 | 1,74 | 1,17 | 1,65 |
| 123    | 1,24  | 1,27 | 1,07 | 1,47 | 1,35 |
| 153    | 0,75  | 0,99 | 1,01 | 0,97 | 1,03 |
| 179    | 0,53  | 0,74 | 0,68 | 0,73 | 0,66 |
| 213    | 0,44  | 1,03 | 0,34 | 0,64 | 0,34 |
| 245    | 0,52  | 0,31 | 0,29 | 0,38 | 0,40 |
| 272    | 0,42  | 0,36 | 0,35 | 0,34 | 0,25 |
| 306    | 0,31  | 0,52 | 0,37 | 0,33 | 0,14 |
| 335    | 0,31  | 0,39 | 0,55 | 0,29 | 0,18 |

Apêndice 9. Teor de N (%) nas folhas, colmo e parte aérea de amostras coletadas das linhas de P-1 e P-2 (parcelas com  $^{15}\text{N}$ ) de cana-planta, aos 280 d.a.p.

| Parcela | Linha | N (%) |       |             |
|---------|-------|-------|-------|-------------|
|         |       | Folha | Colmo | Parte Aérea |
| P-1     | 1     | 0,56  | 0,71  | 0,69        |
| P-1     | 2     | 0,70  | 0,49  | 0,51        |
| P-1     | 3     | 0,64  | 0,45  | 0,47        |
| P-2     | 1     | 0,66  | 0,41  | 0,43        |
| P-2     | 2     | 0,61  | 0,43  | 0,44        |
| P-2     | 3     | 0,61  | 0,44  | 0,45        |

Apêndice 10. Teor de N (%) nas folhas e colmo de amostras coletadas das linhas de P-1, P-2, P-3 e P-4 (parcelas com uréia- $^{15}\text{N}$ ) da cana-soca, aos 391 d.a.c.

| Parcela | Linha | N %    |       |
|---------|-------|--------|-------|
|         |       | Folhas | Colmo |
| P-1     | 1     | -      | 0,29  |
| P-1     | 2     | 0,53   | 0,25  |
| P-1     | 3     | 0,66   | 0,26  |
| P-2     | 1     | 0,48   | 0,24  |
| P-2     | 2     | 0,53   | 0,26  |
| P-2     | 3     | 0,50   | 0,28  |
| P-3     | 1     | 0,59   | 0,26  |
| P-3     | 2     | 0,55   | 0,29  |
| P-3     | 3     | 0,66   | 0,33  |
| P-4     | 1     | 0,52   | 0,26  |
| P-4     | 2     | 0,56   | 0,27  |
| P-4     | 3     | 0,71   | 0,34  |



Apêndice 11. Variação na concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  na folha +1, em função da idade da cana-planta.

| d.a.p. | Át. % $^{15}\text{N}$ |       |       |
|--------|-----------------------|-------|-------|
|        | P-0 <sup>(1)</sup>    | P-1   | P-2   |
| 97     | 0,363                 | 1,198 | 1,198 |
| 159    | 0,365                 | 0,971 | 1,011 |
| 195    | 0,368                 | 1,566 | 1,355 |
| 230    | 0,365                 | 1,690 | 1,660 |

<sup>(1)</sup> A média destes valores forneceu abundância natural para a cana-planta (0,365).

Apêndice 12. Variação no percentual de NDF, em função da idade, em cana-planta que recebeu <sup>15</sup>N-uréia.

| d.a.p. | NDF (%) |       |
|--------|---------|-------|
|        | P-1     | P-2   |
| 97     | 25,51   | 25,51 |
| 159    | 18,56   | 19,78 |
| 195    | 36,78   | 30,32 |
| 230    | 40,58   | 39,66 |

Apêndice 13. Concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  nas folhas e colmo de amostras coletadas das linhas das parcelas que receberam  $^{15}\text{N}$ -uréia, por ocasião da colheita da cana-planta.

| Parcela | Linha | Át. % $^{15}\text{N}$ |       |
|---------|-------|-----------------------|-------|
|         |       | Folhas                | Colmo |
| P-1     | 1     | 1,108                 | 1,137 |
| P-1     | 2     | 1,212                 | 1,304 |
| P-1     | 3     | 1,206                 | 1,200 |
| P-2     | 1     | 1,301                 | 1,327 |
| P-2     | 2     | 1,159                 | 1,186 |
| P-2     | 3     | 1,254                 | 1,241 |

Apêndice 14. Nitrogênio derivado do fertilizante nas folhas (NDF %) e colmo de amostras coletadas das linhas das parcelas que receberam  $^{15}\text{N}$ -uréia, por ocasião da colheita da cana-planta.

| Parcela | Linha | (NDF %) |       |
|---------|-------|---------|-------|
|         |       | Folhas  | Colmo |
| P-1     | 1     | 22,76   | 23,64 |
| P-1     | 2     | 25,93   | 29,19 |
| P-1     | 3     | 25,75   | 25,57 |
| P-2     | 1     | 28,68   | 29,42 |
| P-2     | 2     | 24,31   | 25,16 |
| P-2     | 3     | 27,23   | 26,84 |

Apêndice 15. Variação no teor em át.%  $^{15}\text{N}$  na folha +1, em cana-soca, em função da idade.

| d.a.p. | Át. % $^{15}\text{N}$ |      |      |      |
|--------|-----------------------|------|------|------|
|        | P-1                   | P-2  | P-3  | P-4  |
| 153    | 0,57                  | 0,83 | 1,72 | 1,68 |
| 170    | 0,62                  | 0,59 | 1,44 | 1,47 |
| 213    | 0,53                  | 0,59 | 0,66 | 1,32 |
| 245    | 0,54                  | 0,67 | 0,74 | 1,08 |
| 272    | 0,56                  | 0,68 | 0,94 | 1,85 |
| 306    | 0,70                  | 0,52 | 1,31 | 0,79 |
| 335    | -                     | 0,69 | 0,81 | -    |

P-1 e P-2 representam o efeito residual.

P-3 e P-4 representam a eficiência na soca.

Apêndice 16. Variação no teor de át.%  $^{15}\text{N}$  na parte aérea da cana-soca, em função da idade.

| d.a.c. | Át. % $^{15}\text{N}$ |       |       |       |       |
|--------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|        | P-0                   | P-1   | P-2   | P-3   | P-4   |
| 59     | 0,368                 | 1,054 | 0,864 | 0,368 | 0,376 |
| 93     | 0,364                 | 0,733 | 0,958 | 1,995 | -     |
| 123    | 0,368                 | 0,684 | 0,631 | 1,908 | 1,795 |
| 153    | 0,367                 | 0,563 | 0,867 | 1,598 | 1,661 |
| 179    | 0,371                 | 0,630 | 0,586 | 1,123 | -     |
| 213    | 0,380                 | 0,478 | 0,593 | 0,497 | 1,182 |
| 245    | 0,378                 | 0,527 | 0,618 | 0,777 | 1,075 |
| 272    | 0,376                 | 0,551 | 0,694 | 0,936 | 1,863 |
| 306    | 0,377                 | 0,694 | 0,454 | 1,314 | 0,818 |
| 335    | 0,374                 | 0,471 | 0,710 | 0,820 | 1,489 |

Média de P-0 forneceu a abundância natural para a soqueira (0,373).

P-1 e P-2 representam o efeito residual.

P-3 e P-4 representam a eficiência na soca.

Apêndice 17. Nitrogênio derivado do fertilizante (%) na folha +1, em cana-soca, em função da idade.

| d.a.p. | NDF (%) |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|
|        | P-1     | P-2   | P-3   | P-4   |
| 153    | 6,14    | 14,01 | 30,96 | 30,07 |
| 179    | 7,46    | 6,51  | 24,58 | 25,09 |
| 213    | 4,94    | 6,75  | 6,63  | 27,21 |
| 245    | 5,22    | 9,18  | 8,45  | 16,20 |
| 272    | 5,68    | 9,52  | 12,99 | 33,92 |
| 306    | 10,04   | 4,48  | 21,55 | 9,68  |
| 335    | -       | 9,86  | 10,05 | -     |

P-1 e P-2 representam o efeito residual.

P-3 e P-4 representam a eficiência na soca.

Apêndice 18. Nitrogênio derivado do fertilizante (%) na parte aérea da cana-soca, em função da idade.

| d.a.c. | NDF (%) |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|
|        | P-1     | P-2   | P-3   | P-4   |
| 59     | 20,91   | 15,08 | -     | -     |
| 93     | 11,05   | 17,96 | 14,50 | -     |
| 123    | 9,55    | 7,92  | 35,23 | 32,64 |
| 153    | 5,83    | 15,17 | 28,12 | 29,56 |
| 179    | 7,89    | 6,54  | 17,21 | -     |
| 213    | 3,22    | 6,75  | 2,84  | 18,57 |
| 245    | 4,73    | 7,52  | 9,27  | 16,11 |
| 272    | 5,46    | 9,86  | 12,92 | 34,20 |
| 306    | 9,86    | 2,49  | 21,60 | 10,24 |
| 335    | 3,00    | 10,35 | 10,24 | 25,61 |

P-1 e P-2 representam o efeito residual.

P-3 e P-4 representam a eficiência na soca.



Apêndice 19. Concentração em át. %  $^{15}\text{N}$  nas folhas e colmo da cana-soca por ocasião da colheita, aos 391 d.a.c. Amostras coletadas das linhas das parcelas adubadas com  $^{15}\text{N}$ -uréia.

| Parcela | Linha | Át. % $^{15}\text{N}$ |       |
|---------|-------|-----------------------|-------|
|         |       | Folhas                | Colmo |
| P-1     | 1     | 0,747                 | 0,873 |
| P-1     | 2     | 0,657                 | 0,649 |
| P-1     | 3     | 0,447                 | 0,460 |
| P-2     | 1     | 0,610                 | 0,633 |
| P-2     | 2     | 0,600                 | 0,629 |
| P-2     | 3     | 0,596                 | 0,546 |
| P-3     | 1     | 0,726                 | 0,778 |
| P-3     | 2     | 0,914                 | 1,119 |
| P-3     | 3     | 0,568                 | 0,559 |
| P-4     | 1     | 0,933                 | 0,914 |
| P-4     | 2     | 0,926                 | 1,078 |
| P-4     | 3     | 0,924                 | 0,984 |

P-1 e P-2 representam o efeito residual.

P-3 e P-4 representam a eficiência na soca.

Apêndice 20. Nitrogênio derivado do fertilizante (%) nas folhas e colmo da cana-soca, por ocasião da colheita aos 391 d.a.c.

| Parcela | Linha | (NDF%) |       |
|---------|-------|--------|-------|
|         |       | Folhas | Colmo |
| P-1     | 1     | 11,45  | 15,35 |
| P-1     | 2     | 8,72   | 8,47  |
| P-1     | 3     | 2,27   | 2,67  |
| P-2     | 1     | 7,28   | 7,98  |
| P-2     | 2     | 6,97   | 7,86  |
| P-2     | 3     | 6,85   | 5,31  |
| P-3     | 1     | 8,10   | 9,30  |
| P-3     | 2     | 12,42  | 17,12 |
| P-3     | 3     | 4,48   | 4,27  |
| P-4     | 1     | 12,85  | 12,42 |
| P-4     | 2     | 12,69  | 12,18 |
| P-4     | 3     | 12,65  | 14,09 |

P-1 e P-2 representam o efeito residual.

P-3 e P-4 representam a eficiência na soca.

Apêndice 21. Eficiência de utilização ou recuperação do fertilizante ( $^{15}\text{N}$ -uréia) em cana-planta e soca e efeito residual na soca, para folhas, colmos e parte aérea.

| Ciclo                  | EUF (%)     |             |             |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                        | Folhas      | Colmo       | P. Aérea    |
| cp, efeito atual       | 4,3         | 39,8        | 44,1        |
| s, efeito residual     | 5,4         | 7,6         | 13,0        |
| <u>s, efeito atual</u> | <u>15,9</u> | <u>23,6</u> | <u>39,5</u> |

cp, quer dizer cana-planta,

s, cana-soca.

Apêndice 22. Quantidade de nitrogênio derivada do fertilizante na parte aérea da cana-de-açúcar (Kg/ha). Efeito atual na cana-planta e soca e efeito residual na soca (var. NA 56-79).

| Ciclo                  | QNDF (Kg/ha) |             |             |
|------------------------|--------------|-------------|-------------|
|                        | Folhas       | Colmo       | P. Aérea    |
| cp, efeito atual       | 4,3          | 39,8        | 44,1        |
| s, efeito residual     | 5,4          | 7,6         | 13,0        |
| <u>s, efeito atual</u> | <u>7,9</u>   | <u>11,6</u> | <u>19,5</u> |

cp, quer dizer cana-planta,

s, cana-soca.

Apêndice 23. Quantidade de nitrogênio total extraída na parte aérea aos finais de ciclo (cana-planta e cana-soca), em Kg/ha.

| Ciclo       | QNDF (Kg/ha) |       |          |
|-------------|--------------|-------|----------|
|             | Folhas       | Colmo | P. Aérea |
| cana-planta | 16,8         | 149,8 | 166,1    |
| soqueira    | 75           | 95,3  | 170,3    |