MOVIMENTO E PERDAS DE NITROGENIO E POTÁSSIO
NUM SOLO COM CANA-DE-AÇÚCAR (Saccharum spp.)

PAULA PINHEIRO PADOVESE

Engº Agrº

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

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

PIRACICABA

Estado de São Paulo-Brasil

Junho, 1988

Padovese, Paula Pinheiro
P124m Movimento e perdas de nitrogênio e potássio num
solo com cana-de-açúcar (Saccharum spp.). Piraci
caba, 1988.
119 p. ilus.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Cana-de-açúcar - Adubação nitrogenada 2. Cana-
de-açúcar - Adubação potássica 3. Nitrogênio em solo
4. Potássio em solo 5. Solo - Química I. Escola Supe
rior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.61

A Liliu e Moacir,
porque a vida
é um eterno caminhar

Ao Luiz, Marcelo, Ricardo e Beto

Aos meus alunos, pelo constante
estímulo.

OFEREÇO e DEDICO

AGRADEÇO,

Ao Dr. Paulo Leonel Libardi, pela amizade e orientação neste trabalho, bem como pela infinita paciência e apoio durante a realização do mesmo.

Aos professores Paulo Leonel Libardi, Klaus Reichardt e Nilson Augusto Villa-Nova, com os quais aprendi a importância e a beleza do ensinar.

Aos amigos Lili e Sérgio, pelo calor humano, que palavras não conseguem expressar.

Aos amigos Paulo, Klaus, Dudu, Ademir, Daciano, Elias, Segundo, Maranhão, Sérgio, Otávio e Júnior, pelo convívio maravilhoso na Seção de Física do Solo, salpicado de cerveja e bom-humor.

Aos amigos das Seções de Hidrologia e Isótopos Estáveis e Radioquímica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pelas análises realizadas durante o trabalho.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agrometeorologia, pelos ensinamentos e atenção dedicados.

À CAPES Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", na pessoa de seu idealizador, que soube pensar grande.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela oportunidade de um constante desenvolvimento profissional.

Ao João Eduardo Piloto e Maria Aparecida Calegaro, pela valiosa colaboração.

Ao Rafael, porque a vida ao seu lado é só ternura.

A todos que direta e indiretamente,
contribuíram para a realização deste
trabalho.

SUMÁRIO

	Página
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xiii
Summary	xvi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Nitrogênio	3
2.1.1. Importância do nitrogênio na produção de cul- turas	3
2.1.2. Formas de nitrogênio no solo e sua disponi- bilidade	4
2.1.3. Ganhos e perdas de nitrogênio no sistema solo.	7
2.1.4. O efeito da interação vinhaça-nitrogênio	17
2.2. Potássio	20
2.2.1. Importância do potássio na produção de cul- turas	20
2.2.2. Formas de potássio no solo e sua disponi- bilidade	21
2.2.3. Ganhos e perdas de potássio no sistema solo .	23
2.2.4. Movimento de potássio no solo e sua absorção pelas raízes	29
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1. Características do local	36

3.2. Características físicas e químicas do solo	37
3.3. Parcela experimental	42
3.3.1. Cultura	42
3.3.2. Instrumental de campo	45
3.3.3. Cana-planta	46
3.3.4. Cana-soca	51
3.4. Medidas, amostragens e determinações	55
3.4.1. Drenagem profunda	55
3.4.2. Condutividade hidráulica	58
3.4.3. Dinâmica do nitrogênio e do potássio no perfil de solo	58
3.4.4. Dinâmica do nitrogênio e do potássio na so- lução do solo	61
3.5. Cálculo das perdas de N-NO_3^- por lixiviação	63
3.6. Cálculo das perdas de potássio por lixiviação	64
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1. Nitrogênio total no solo	66
4.2. Potássio no solo	76
4.3. Drenagem profunda e dos íons NO_3^- e K^+ à profundidade de 100 cm	83
5. CONCLUSÕES	90
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
7. APÊNDICE.....	107

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	- Valores diários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (p), irrigação (i) e evapotranspiração potencial (ETP), durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar no período cana-planta	38
2	- Valores diários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (p), irrigação (i) e evapotranspiração potencial (ETP), durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar no período cana-soca	39
3	- Esquema da primeira fase do experimento (cana-planta), destacando-se as parcelas adubadas com ^{15}N ($\text{P}_{1,2}$), vinhaça (P_5) e testemunha (P_6)	43
4	- Esquema da segunda fase do experimento (cana-soca), destacando-se as parcelas que receberam adubação N-P-K ($\text{P}_{1,2}$), ^{15}N -P-K ($\text{P}_{3,4}$), ^{15}N -P-K (P_5) e ^{15}N -P-vinhaça (P_6)	44
5	- Corte longitudinal, esquemático, de um extrator de solução do solo e de um tensiômetro com manômetro de mercúrio, utilizados no experimento	47
6	- Curva característica $\psi_m \times \theta$ do solo em estudo .	59
7	- Concentração de nitrogênio ($\text{g N} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^3$) no solo,	

Figura

Página

	às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{1,2}$, nos períodos cana-planta e cana-soca	72
8 -	Concentração de nitrogênio ($\text{g N} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^3$) no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_5 , nos períodos cana-planta e cana-soca.....	73
9 -	Concentração de nitrogênio ($\text{g N} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^3$) no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_6 , nos períodos cana-planta e cana-soca.....	74
10 -	Concentração de nitrogênio ($\text{g N} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^3$) no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{3,4}$, no período cana-soca.....	75
11 -	Concentração de potássio ($\text{g K} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^4$) no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{1,2}$, nos períodos cana-planta e cana-soca.....	79
12 -	Concentração de potássio ($\text{g K} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^4$) no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_5 , nos períodos cana-planta e cana-soca.....	80
13 -	Concentração de potássio ($\text{g K} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^4$) no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_6 , nos períodos cana-planta e cana-soca.....	81
14 -	Concentração de potássio ($\text{g K} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot 10^4$) no solo, às	

Figura

Página

diferentes profundidades, para o tratamento $P_{3,4}$,
no período cana-soca

82

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	- Resultados das análises de algumas características físicas do solo em estudo.....	40
2	- Resultados da análise química do solo em estudo...	41
3	- Composição química da vinhaça utilizada no período cana-planta.....	49
4	- Cronograma das atividades realizadas durante o período cana-planta, em D.A.P. (dias após o plantio)	52
5	- Composição química da vinhaça utilizada no período cana-soca.....	54
6	- Cronograma das atividades realizadas durante o período cana-soca, em D.A.P. (dias após o plantio)..	56
7	- Valores médios mensais do potencial matricial (Ψ_m) e da umidade volumétrica (Θ) do solo.....	85
8	- Drenagem profunda (D) a 100 cm, calculada a partir dos valores médios mensais de umidade (Θ), condutividade hidráulica (K) e gradiente de potencial hidráulico (Gd).....	86
9	- Drenagem profunda (D) a 100 cm, calculada a partir dos valores médios decenduais de umidade (Θ) condutividade hidráulica (K) e gradiente de potencial hidráulico (Gd).....	87

Tabela

Página

10	-	Concentração dos íons K^+ e NO_3^- (ppm) na solução do solo e respectivas drenagens à profundidade de 100 cm ($mg\ ion/m^2$ solo).....	88
----	---	---	----

MOVIMENTO E PERDAS DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO
NUM SOLO COM CANA-DE-AÇÚCAR (Saccharum spp.)

PAULA PINHEIRO PADOVESE*

Orientador: Prof. Dr. PAULO LEONEL LIBARDI

RESUMO

O trabalho teve como objetivo estudar a dinâmica do nitrogênio e do potássio em solo cultivado com cana-de-açúcar (Saccharum spp.), com ênfase à quantificação de N-NO_3^- e K^+ perdidos por drenagem abaixo de 100 cm de profundidade.

Utilizou-se uréia enriquecida com ^{15}N como fonte de fertilizante nitrogenado e vinhaça ou cloreto de potássio como fontes de fertilizante potássico. Além da contabilização dos fertilizantes nitrogenado e potássico no solo e sua dinâmica, estudaram-se as variações existentes na dinâmica do N-NO_3^- devido à presença de vinhaça.

O experimento foi desenvolvido em área próxima ao Posto Agrometeorológico pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP, município de Piracicaba, perfazendo uma área total de 1274 metros quadrados. Instalou-se uma cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) variedade NA 56-79, onde foram estudados os períodos cana-planta e cana-soca. O delineamento experimental de um e outro estágio da cultura foi modificado, a fim de tornar mais abrangente.

*Engenheiro Agrônomo

gentes as informações propiciadas pelo experimento.

Na primeira fase do experimento (cana-planta), selecionaram-se parcelas que receberam apenas vinhaça ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), só água ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e adubação $^{15}\text{N-P-K}$. Na segunda fase (cana-soca), onde havia sido colocado apenas vinhaça, adubou-se com $^{15}\text{N-P-K}$; onde havia sido colocado apenas água, fez-se adubação com $^{15}\text{N-P-K}$ e vinhaça como fonte de potássio ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) e onde fora adubado com $^{15}\text{N-P-K}$, adubou-se com N-P-K (sem ^{15}N). Além disso, introduziram-se parcelas novas na fase cana-soca, que receberam adubação $^{15}\text{N-P-K}$.

Foram instalados tensiômetros na linha central do experimento, às profundidades de 15, 25, 50, 75, 100, 125 e 150 cm e, em cada sub-parcela, extratores de solução do solo, às profundidades de 25, 50, 75, 100 e 125 cm.

A coleta de dados não foi realizada em intervalos regulares devido a alta pluviosidade no início do experimento e ao acamamento total das plantas aos 254 D.A.P.* em consequência de granizo.

Tanto nas amostras de solo quanto nas amostras de solução do solo, não se encontrou quantidade mínima suficiente de nitrogênio para que fossem realizadas as análises isotópicas para ^{15}N . Quando a análise pôde ser realizada, os resultados ficaram muito próximos da abundância natural.

Nas amostras de solo dos diversos tratamentos, ocorreu maior concentração de potássio nas camadas superficiais, provavelmente devido à lavagem do nutriente nas folhas e colmos da cana-de-açúcar pela água da chuva e à menor mobilidade deste íon em relação ao NO_3^- .

* D.A.P. = dias após plantio

Durante todo o experimento, ocorreram muitas variações nos perfis de concentração de N-total no solo, nos diversos tratamentos. Póde ser interpretado como absorção de nitrogênio pela cultura e incorporação do nutriente proveniente das palhas de cana-de-açúcar, que durante o experimento, cobriam o solo.

Calculou-se o volume de água drenada abaixo de 100 cm de profundidade no solo em estudo e constatou-se que de 1618,4 mm de precipitação no período de março de 1983 a março de 1984, apenas 3,3 mm ultrapassaram este limite.

Com relação ao íon potássio, no período de março de 1983 a março de 1984, sua lixiviação para baixo da profundidade de 100 cm, foi, em média, de 170, 25, 18 e 12 g K/ha, respectivamente para os tratamentos $^{15}\text{N-P-K}$ (soca), $^{15}\text{N-P-K}$ (planta) + N-P-K (soca), vinhaça (planta) + $^{15}\text{N-P-K}$ (soca) e água (planta) + $^{15}\text{N-P-K}$ -Vinhaça (soca). Na mesma ordem, para o nitrato, as perdas foram 556, 474, 242 e 154 g NO_3^- /ha.

Tanto para íons K^+ como para íons NO_3^- , ocorreram maiores lixiviações nos tratamentos que não receberam vinhaça.

MOVEMENT AND LOSSES OF NITROGEN AND POTASSIUM
IN A SOIL CROPPED TO SUGAR CANE (Saccharum spp.)

Paula Pinheiro Padovese*

Adviser: Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi

SUMMARY

The objective of this work was to study nitrogen and potassium dynamics in a soil cropped to sugar cane (Saccharum spp.) with emphasis on their losses by deep drainage, as influenced by vinasse application. Enriched urea was used as nitrogen source and vinasse and potassium chloride as potassium sources. Two consecutive crops (plant cane and first ratoon) of sugar cane (Saccharum spp., var. NA 56-79) were grown on Terra Roxa Estruturada (Paleudalf) soil at experimental fields of the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", University of São Paulo, Piracicaba (SP), Brazil. During the first phase of the experiment (plant cane) plots were selected and received at planting only vinasse ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), only water ($200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) and $^{15}\text{N-P-K}$ fertilization. During the first ratoon, the same plots received, respectively, $^{15}\text{N-P-K}$, $^{15}\text{N-P-K}$ (vinasse) and N-P-K fertilizations. Besides, new plots were introduced in the first ratoon phase in which the fertilization was of $^{15}\text{N-P-K}$. Tensiometers were installed at the depths of 15, 25, 50, 75, 100, 125 and 150 cm in the central line of

* Agronomist

the area (1274 m^2) and in each plot soil solution extractors were installed at the depths of 25, 50, 75 and 125 cm. In most of the soil and soil solutions samples, ^{15}N analyses was not possible because the amount of nitrogen was not sufficient. When the analysis could be made, results were very about the natural abundance. All treatments showed a higher potassium concentration at superficial layers, probably due to the low mobility of this ion in the soil and also a possible washing of it from leaves and stem of the sugar cane. The soil total N concentration profiles were very variable; this could be interpreted as N absorption by the crop and incorporation of the nutrient from straws of the sugar cane that, during the experiment, covered the soil surface. From the 1620 mm of rain during the period of March/1983 to March/1984 only 3.3 mm passed the soil depth of 100 cm. With respect to the ion potassium in the same period its lixiviation below the depth of 100 cm was, in average, of the order of 170, 20, 18 and 12 g of K/ha, respectively, for the treatments $^{15}\text{N-P-K}$ (ratoon), $^{15}\text{N-P-K}$ (plant cane) + N-P-K (ratoon); vinasse (plant cane) + $^{15}\text{N-P-K}$ (ratoon) and water (plant cane) + $^{15}\text{N-P}$ -vinasse (ratoon). In the same order, the losses of N-NO_3^- were 556, 474, 242 and 154 g NO_3^- /ha. The lixiviation for both ions was always higher in the treatment that did not receive vinasse.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um elemento de vital importância aos organismos. Apesar da abundância com que é encontrado na atmosfera (aproximadamente 90000 t /ha de superfície), é o elemento que frequentemente limita a produção de culturas agrícolas, pois, na forma gasosa, o nitrogênio não é disponível às plantas, exceção feita a certas associações leguminosas-microorganismos.

Sua essencialidade às culturas agrícolas é evidente, porém, sua presença no solo é extremamente variável, dependente de diversos fatores intrínsecos ou extrínsecos ao solo.

Ao se aplicar fertilizante nitrogenado a um solo, o nitrogênio pode seguir diversos caminhos, a saber:

- perdas gasosas;
- perdas por escoamento superficial;
- permanência no solo até o final do cultivo;
- extração e exportação pelas colheitas;
- imobilização, resultando em formas orgânicas não disponíveis;
- lixiviação para o lençol freático, podendo, assim, tornar-se um poluente das águas subterrâneas. Isto ocorre devido à sua alta mobilidade em solos úmidos,

quando em formas minerais, especialmente a aniônica.

Por outro lado, em virtude da grande expansão do setor canavieiro e da indústria alcooleira, devido aos programas para produção de álcool como fonte renovável de energia, torna-se imprescindível um manejo e uso adequados dos resíduos desta indústria.

No processo para obtenção de álcool, a vinhaça é um resíduo líquido, extremamente rica em íons potássio, produzida à razão de 12,5 litros por litro de álcool. Assim sendo, tornam-se importantes os estudos que prevejam a avaliação do comportamento dinâmico da água e de elementos presentes (principalmente o potássio) na vinhaça, quando de sua aplicação ao solo.

O trabalho teve como objetivo estudar a dinâmica do nitrogênio e do potássio em solo cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), com ênfase à quantificação de N-NO_3^- e K^+ perdidos por drenagem abaixo de 100 cm de profundidade. Para tanto, utilizou-se uréia enriquecida com ^{15}N como fonte de fertilizante nitrogenado e vinhaça ou cloreto de potássio como fontes de fertilizante potássico.

Além da contabilização dos fertilizantes nitrogenado e potássico no solo e sua dinâmica, estudaram-se as variações existentes na dinâmica do N-NO_3^- devido à presença de vinhaça.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Nitrogênio

2.1.1. Importância do nitrogênio na produção de culturas

O nitrogênio é o quarto elemento mais abundante nas plantas, depois do carbono, hidrogênio e oxigênio. Absorvido principalmente como nitrato (NO_3^-), é reduzido e incorporado em compostos orgânicos, constituindo aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas (EPSTEIN, 1975).

O efeito bioquímico maior da deficiência de nitrogênio é a interferência na síntese proteica e, portanto, no crescimento. Um sintoma típico é o amarelecimento geral das folhas ou clorose, devido à inibição da síntese de clorofila. A planta deficiente apresentará carência não apenas em aminoácidos essenciais, como também na energia necessária à síntese de carboidratos (MALAVOLTA, 1976, 1981).

Consequências da deficiência de nitrogênio nas plantas, tais como:

- folhas amareladas resultantes da proteólise;
- dormência das gemas laterais;
- redução no perfilhamento;
- senescência precoce;

- folhas com baixo conteúdo de clorofila;
 - cloroplastos menores;
 - redução na síntese proteica;
 - elevado conteúdo de açúcares e alta pressão osmótica
- estão muito bem detalhadas em EPSTEIN (1975) e MALAVOLTA (1976,1981).

2.1.2. Formas de nitrogênio no solo e sua disponibilidade

O nitrogênio é um constituinte fixo da atmosfera, perfazendo cerca de 78% desta. Entretanto, na atmosfera, o nitrogênio se encontra principalmente como N_2 e as plantas não o absorvem na forma molecular (DELWICHE, 1970). Segue-se daí que o N_2 deve ser fixado, deixando esses produtos disponíveis no solo, para serem absorvidos pelo sistema radicular das plantas (MALAVOLTA, 1976).

Apesar de se situar entre os nutrientes mais importantes no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, sendo necessário em maior proporção quando comparado com os demais, o solo conta apenas com uma fração mínima de N litosférico. Deste, cerca de 2% encontra-se na forma mineral (NO_3^- e NH_4^+), prontamente disponível para as plantas. Cerca de 90% do N-total do solo encontra-se na forma orgânica, sendo necessárias algumas transformações para que passe à forma inorgânica. Ou seja, para que o N-orgânico seja utilizado pelas plantas, deve sofrer o processo de mineralização à forma amoniacal ($N-NH_4^+$) e nítrica ($N-NO_3^-$), principalmente. BARTHOLOMEW (1975), SANCHEZ (1976) e RUSSEL (1977), entre outros, têm discutido tanto as

transformações de N-orgânico a N-mineral (mineralização), quanto as transformações de N-mineral a N-orgânico (imobilização).

O solo proporciona nitrogênio às plantas, sendo a matéria orgânica a principal fonte deste elemento. Segundo BREMNER (1965a), o nitrogênio representa cerca de 5% da matéria orgânica e ocorre como parte integrante de muitos compostos.

O uso de fertilizantes químicos é um meio imediatista de fornecer nutrientes às culturas, aumentando sua produção. Ainda hoje os fertilizantes nitrogenados são os mais empregados. Entretanto, experimentos têm demonstrado que o N nativo do solo, proveniente da mineralização da matéria orgânica, não tem sido mais eficientemente utilizado que o N adicionado como fertilizante. Um desafio aos agrônomos de hoje é planejar meios de se induzir ou permitir à planta utilizar com maior eficiência o nitrogênio disponível no solo (BARTHOLOMEW, 1971; THENABADU, 1979).

Quanto ao aproveitamento pelas plantas, do nitrogênio aplicado como fertilizante ao solo, IAEA (1976), em trabalhos sob os mais diversos sistemas agrícolas do globo, coloca que raramente uma cultura aproveita mais que 60% do nitrogênio. Os 40% restantes podem permanecer no solo, disponível para culturas subsequentes ou perder-se por diversos mecanismos (volatilização, desnitrificação, lixiviação abaixo da zona radicular).

Após realizar extensa revisão sobre o uso de ^{15}N na relação solo-planta, BARTHOLOMEW (1971) documenta evidências de que a recuperação do nitrogênio disponível no solo, pelas plantas, é, em média, de 50 - 60%.

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

VALDIVIA (1982), trabalhando com cana-de-açúcar no deserto litorâneo do Peru, adubou-a com 300 Kg de N/ha, mais 24 Kg N/ha encontrados na água que irrigou a cultura. O nitrogênio extraído pela parte aérea das plantas foi de 210 a 246 Kg de N/ha (30% perdido na queima dos colmos, antes da colheita e 70% exportado pela cultura e transportado à usina como cana queimada). A uma profundidade de 180 cm, 33 Kg de N/ha sofreram lixiviação, nos 18 meses de ciclo da cultura.

O nitrogênio aplicado como fertilizante é susceptível a diversas transformações químicas e biológicas, que resultam em perdas rápidas pelo solo ou conversão a formas orgânicas não disponíveis. Devido às perdas de nitrogênio e outros elementos no sistema solo-planta agrícola, ou mesmo à indisponibilidade temporária deste às plantas, o uso de fertilizantes nitrogenados vem crescendo muito. Isto pode causar, inclusive, poluição às águas naturais, devido à alta mobilidade deste elemento na forma aniônica do solo, além do aumento no custo de produção, devido à crise energética.

Estudos que procuram avaliar o movimento de N-NO_3^- no perfil do solo, suas perdas, bem como sua eficiência de utilização pelas plantas, têm sido realizados por numerosos pesquisadores. Podemos citar: THOMAS (1970), BARTHOLOMEW (1971), IVANKO (1972), MILLS et alii (1974), WAGNET et alii (1977), LIBARDI & REICHARDT (1978), REICHARDT et alii (1979b), THENABADU (1979), STUTTE & DA SILVA (1981),

LIBARDI et alii (1982), MOUSTAFA & KHADR (1983), CLAY et alii (1985), NG KEE KWONG & DEVILLE (1984), SALCEDO & SAMPAIO (1984), SAMPAIO et alii (1984), RUSSEL & EWEL (1985), RODRIGUES & KIEHL (1986), REYNOLDS & WOLF (1987).

Entre estes autores, a maior parte utilizou fertilizante nitrogenado enriquecido com o isótopo estável ^{15}N .

A princípio, um isótopo estável pode ser usado como traçador tão bem quanto um radioisótopo. Na prática, a vantagem de não apresentar riscos por radiação, por ser estável, não superou a grande sensibilidade de detecção oferecida pelos isótopos radioativos (IAEA, 1970). Porém, o uso do isótopo estável ^{15}N como traçador foi muito bem aceito, pois permite "traçar" o nitrogênio em vários compostos orgânicos em função do tempo (ZSOLDOS, 1971).

2.1.3. Ganhos e perdas de nitrogênio no sistema solo

Contabilizando as entradas e saídas do elemento nitrogênio em um dado volume de solo, num determinado intervalo de tempo, obtemos a variação de armazenagem de nitrogênio no perfil do solo no período considerado, tentando controlar mecanismos de perda.

O balanço de nitrogênio no sistema solo-planta de uma cultura indicará se o sistema está com um saldo positivo ou negativo do nutriente.

A quantidade de nitrogênio que entra no sistema pode ser a partir de:

- fertilizantes/adubos verdes;
- fixação biológica;
- chuvas.

A quantidade de nitrogênio que deixa o sistema pode ser por:

- lixiviação;
- "run-off" ou deflúvio superficial;
- volatilização;
- desnitrificação;
- exportação pela colheita.

Quanto ao ganho de nitrogênio, temos a fertilização nitrogenada como o principal meio de se adicionar o nutriente ao sistema solo-planta.

A quantidade de nutriente a ser aplicada dependerá do teor de N-mineral que o solo poderá proporcionar à cultura e da exigência desta. No que diz respeito às necessidades de nitrogênio pelas culturas, MALAVOLTA (1981) e SANCHEZ (1976) apresentam tabelas das exigências das principais culturas tropicais, enquanto CLEMENTS (1959) apresenta dados específicos para a cana-de-açúcar.

É prática comum, no plantio da cana-de-açúcar, adubar a cultura com pequenas doses de nitrogênio. Sabe-se que, de um modo geral, a aplicação de maiores quantidades de fertilizante nitrogenado não conduz a aumentos significativos de produtividade. A literatura apresenta dados contraditórios quanto a esse tipo de fertilização. Enquanto alguns trabalhos têm revelado aumentos de produtividade, outros não tem evidenciado qualquer resposta positiva (BITTENCOURT et

alii, 1986).

Em vista da elevada instabilidade do N-mineral no perfil do solo, a eficiência de uma única aplicação logo no início do cultivo poderia ser questionada, considerando que a exigência da cana-de-açúcar por esse nutriente acentua-se somente a partir do nono mês após o plantio (CATANI et alii, 1959).

BITTENCOURT et alii (1986) realizaram um trabalho com o objetivo de esclarecer alguns aspectos referentes à absorção do nitrogênio proveniente do adubo em cana-planta. Os resultados mostraram que a absorção do nitrogênio proveniente do fertilizante foi praticamente nula e que maiores doses deste não provocaram aumentos significativos na produtividade da cana-planta.

Os autores, baseados nos resultados e nas informações disponíveis na literatura, formularam a seguinte hipótese: os solos que vêm sendo cultivados com cana-de-açúcar, por longo tempo, podem dispor de reservas de nitrogênio que, após um certo tempo, se tornam disponíveis à cana-planta. Em contrapartida, como o processo exige um certo tempo, os solos não conseguem suprir totalmente as necessidades de nitrogênio das soqueiras e, conseqüentemente, estas apresentam respostas positivas à adubação nitrogenada.

Pelo fato das folhas de cana-de-açúcar apresentarem teores consideráveis de nitrogênio em relação ao total absorvido pela parte aérea, pode-se sugerir que quantidades apreciáveis de nitrogênio são recicladas e voltam ao solo. Após certo tempo, e por meio do processo de mineralização, poderá se tornar disponível às plantas.

A adição de nitrogênio ao sistema solo-planta pelas

chuvas e pela poeira, segundo SANCHEZ (1976), é da ordem de 4 a 8 Kg de N/ha.ano.

A fixação biológica pode constituir-se numa das formas de adição de nitrogênio ao sistema solo-planta dos ecossistemas tropicais, tanto florestais quanto agrícolas.

Em relação à cultura de cana-de-açúcar, RUSCHEL & VOSE (1982) estimam a fixação biológica de nitrogênio em torno de 17% do N-total utilizado pela planta. Ou seja, aproximadamente 16,6 Kg de N/ha para uma colheita de 70 ton/ha. Os mesmos autores citam que o cultivo de leguminosas, intercaladas ou em rotação com a cana-de-açúcar, podem elevar a fixação biológica em até 35 Kg de N/ha (rotação com soja) e 25 Kg de N/ha (cultivo intercalado com feijão).

Quanto às perdas de nitrogênio a partir do sistema solo-planta, muito se tem estudado, pelo fato destas perdas serem anti-econômicas e induzirem a uma poluição das águas naturais.

THENABADU (1979) agrupou as perdas de fertilizantes nitrogenados aplicados aos solos em quatro categorias: perdas gasosas, por lixiviação, por escoamento superficial e por imobilização. Esta última pode ser considerada um fenômeno temporário de não disponibilidade, devido à atividade microbiológica. O autor afirma que as perdas gasosas e por lixiviação são as mais frequentes.

As perdas por volatilização são mais significativas em condições redutoras, que ocorrem em solos de má drenagem ou saturados de água. Sob cultivos normais, as perdas de nitrogênio para a atmosfera ocorrem na forma de NH_3 (amônia), especialmente em solos com elevado pH. A volatilização da amônia ocorre com alta probabilidade

quando o adubo é aplicado em superfície (cobertura), sendo função também da natureza do fertilizante, CTC, pH, teor de matéria orgânica e outras propriedades do solo, da umidade e da temperatura (MALAVOLTA, 1981).

A uréia, o mais importante adubo nitrogenado comercializado no país, apesar de apresentar eficiência semelhante a outras fontes nitrogenadas, produz resultados menos satisfatórios devido às perdas de NH_3 por volatilização.

Estas perdas decorrem do fato da uréia sofrer hidrólise enzimática no solo, produzindo carbonato de amônio que, por sua vez, desdobra-se facilmente em gás NH_3 , CO_2 e água (MILLS et alii, 1974; RODRIGUES et alii, 1986).

Os fertilizantes amoniacais são menos sujeitos a tais perdas, além de aumentar a liberação de fósforo do solo e sua absorção pelas plantas. MILLS et alii (1974), trabalhando com fonte nitrogenada amoniacal, concluíram que a volatilização de NH_3 em solos com pH menor que 7,2 é pequena, principalmente se a aplicação não exceder a necessidade das plantas em nitrogênio e se forem evitadas fertilizações muito antes do plantio. A maior parte da amônia volatilizou no primeiro e segundo dias após a aplicação.

ANJOS & TEDESCO (1976) estudaram a volatilização da amônia proveniente da uréia e do sulfato de amônio em solos do Rio Grande do Sul. A perda foi maior no caso da uréia, variando de 12 a 30%. No caso do sulfato de amônio, as perdas variaram entre 0,5 e 1,1%. Em solo sob pastagem, a volatilização de amônia proveniente da uréia correspondeu a 14 - 26% do nitrogênio aplicado e, em solo desco-

berto, variou entre 22 e 27%.

RODRIGUES et alii (1986), trabalhando com volatilização de amônia após emprego de uréia, observaram que quanto menor a dose aplicada e maior a profundidade de aplicação, menor o percentual volatilizado no período crítico (primeiros 16 dias). Observaram também que o secamento do solo pode acelerar as perdas de amônia por volatilização, porque parte dela se encontra dissolvida na água do solo. Houve certa coincidência entre o período de maior perda de água durante o experimento e os de maior volatilização, principalmente nos primeiros cinco centímetros de solo.

REYNOLDS & WOLF (1987) relataram a importância das condições ambientais na determinação da volatilização de amônia a partir da uréia aplicada superficialmente, em especial da umidade relativa (U.R.) do ar e do potencial matricial da água no solo (ψ_m).

Com um ψ_m constante de -0,033 MPa e U.R. = 25%, 46,4% da uréia volatilizou após 257 horas da aplicação desta. Com um ψ_m inicial de -0,033 MPa, U.R. = 25% e secamento do solo após a aplicação da uréia, as perdas por volatilização de amônia reduziram-se a 10,8%.

Entretanto, os efeitos do potencial matricial inicial da água no solo, suas variações e as da U.R. do ar sobre a volatilização da amônia a partir da uréia aplicada em superfície são interrelacionadas e de difícil isolamento.

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

STUTTE & WEILAND (1978), STUTTE et alii (1979) e STUTTE

& DA SILVA (1981) estudaram as perdas foliares de nitrogênio. As perdas de N foram correlacionadas positivamente com o aumento de temperatura e a taxa de transpiração, apesar dos processos operarem independentemente. Em todos os trabalhos, concluíram que o aumento da temperatura afeta mais a perda de nitrogênio pelas folhas do que a transpiração.

O processo de perda de nitrogênio mais significativo tem sido a remoção do N-disponível dos limites da zona radicular, pela água, entendida usualmente como lixiviação.

BARTHOLOMEW (1971) realizou extensa revisão sobre o uso de ^{15}N na relação solo-planta. A remoção do N disponível da zona radicular de muitas culturas pode não ocorrer durante o estágio de desenvolvimento desta. Há evidências de que o nitrogênio pode permanecer nos limites da zona radicular por uma ou mais estações, sem ser completamente absorvido pela cultura. O autor discute a necessidade de se estabelecer a diferença entre lixiviação e o que ele classifica como "movimento limitado de nitrato no solo", que pode ser ascendente ou descendente.

O nitrogênio no solo sofre uma série de transformações e das formas minerais mais aproveitada pelas plantas está o N-NO_3^- . Entretanto, é um ânion pouco retido pelos colóides do solo, ficando livre na solução do solo e sujeito ao movimento da água no perfil.

KINJO & PRATT (1971) e KINJO et alii (1978) mostram que há adsorção de N-NO_3^- em solos ricos em óxidos de Fe e Al e materiais amorfos que ocorrem nas regiões tropicais. Segundo os autores, a adsorção de N-NO_3^- depende principalmente da natureza dos colóides

do solo, da acidez do meio e da concentração de NO_3^- na solução de equilíbrio.

Porém, o fluxo de massa deve ser o responsável único pelo movimento de N-NO_3^- no perfil do solo, dependendo estritamente do fluxo de água que arrasta os nutrientes. Uma vez que o movimento de N-NO_3^- dá-se, preferencialmente, por fluxo de massa, o movimento do íon será fortemente afetado pelos fatores que modificam o movimento da água no solo.

REICHARDT et alii (1979a) estudaram a dinâmica da água em um latossolo textura média cultivado com milho e, as condições em que trabalharam, permitiram mostrar a importância da drenagem profunda como componente do balanço hídrico. O conhecimento detalhado da dinâmica da água durante o desenvolvimento de uma cultura fornece elementos essenciais para o estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visam a otimização da produtividade. A água é um fator fundamental no desenvolvimento do sistema radicular e na absorção e transferência de nutrientes pelas plantas.

Em REICHARDT et alii (1979b), a lixiviação do fertilizante nitrogenado não foi significativa a 127,5 cm de profundidade, provavelmente como consequência das condições hídricas durante o verão 77/78 em Piracicaba (SP), onde se desenvolveu o trabalho. Em anos mais chuvosos e/ou com distribuição irregular das chuvas, a lixiviação provavelmente atingiria valores mais significativos.

Os autores acima citados enfatizam a importância das condições hídricas do perfil de solo na dinâmica do nitrogênio em culturas agrícolas. Como os valores de drenagem profunda foram baixos no

período mais ativo do desenvolvimento do milho, houve alta eficiência de utilização do fertilizante aplicado, diminuindo a quantidade de nitrogênio potencialmente disponível no solo para o processo de lixiviação.

Segundo BARTHOLOMEW (1971), há um número de razões para acreditar que a lixiviação ou remoção completa dos nutrientes solúveis da zona radicular durante o período de desenvolvimento das plantas, não é muito frequente. Entre elas, cita a frequência de ocorrência de secas, o declínio frequente na umidade do solo com o desenvolvimento da cultura e o fato do fertilizante adicionado em uma estação resultar em resposta de crescimento de uma cultura em uma estação subsequente.

Como a seca é um fator limitante de produção, frequentemente o suprimento de água na zona radicular encontra-se baixo. A quantidade de água adicionada pela chuva não é suficiente para umedecer o solo até a parte inferior do sistema radicular. Exceto para períodos prolongados de intensa precipitação, o N-NO_3^- do perfil do solo não é arrastado para tão distante que não possa ser absorvido pelas raízes.

NG KEE KWONG & DEVILLE (1984) estudaram a lixiviação de ^{15}N em lisímetros com cana-de-açúcar, após adubação com sulfato de amônio ou nitrato de sódio, nas Ilhas Maurício. Os resultados obtidos mostraram que a quantidade de nitrogênio lixiviado pela chuva depende mais da duração e intensidade do período de seca anterior que do volume lixiviado. Um grande volume lixiviado não implica, necessariamente, em mais nitrogênio sendo retirado do solo. A maior parte do

N-fertilizante residual foi encontrada na camada de 0-30 cm, imobilizado. Isto indica que o movimento de nitrogênio foi impedido pela imobilização biológica próxima à superfície do solo.

No tocante ao papel da imobilização biológica na redução da mobilidade do nitrogênio nos solos estudados, o potássio, não imobilizado biologicamente como o nitrogênio, perdeu-se em maiores quantidades por lixiviação, embora os solos possuissem uma carga líquida negativa.

Jaimes & Lamenca (1975)¹, citados por NG KEE KWONG & DEVILLE (1984), reportaram que mais de 50% do potássio adicionado em certo solo da Costa Rica sofreu lixiviação, com precipitação média anual de 2500 mm.

MOUSTAFA & KHADR (1983), trabalhando com trigo, avaliaram o efeito do regime hídrico e do método de localização do fertilizante nitrogenado, sobre a lixiviação da uréia em condições de campo. Os dados obtidos mostraram que, no geral, o processo de lixiviação da uréia não é uniforme, nem nas repetições. Entretanto, a quantidade média total de resíduos de fertilizantes nitrogenados no perfil de solo, a 125 cm de profundidade, é praticamente a mesma em todos os tratamentos. Os dados mostraram que a maior parte dos resíduos nitrogenados acumulou-se nas camadas superficiais, especialmente de 0-25 cm. Apenas 10% do fertilizante foi detectado entre 75 e 125 cm de profundidade.

¹JAIMES, J.G. & LAMENCA, M.B. Dynamics of potassium in the soils after five successive fertilizer treatments. Potash Review, 16(69/2): 1-4, 1975.

Devido à variabilidade espacial dos solos no campo e à tecnologia limitada para amostrar abaixo da superfície do solo, a estimativa da concentração de nitrogênio e a do fluxo de água no solo não são amostradas sobre a mesma microregião ou mesmo tomadas ao mesmo tempo sob condições de campo (NIELSEN et alii, 1979). Estes autores realizaram um experimento para examinar o comportamento do fertilizante nitrogenado em milho, sob três diferentes regimes de irrigação. O N-NO_3^- foi retirado do solo por meio de extratores de solução, a 30, 60, 120, 180, 240 e 300 cm de profundidade.

Os resultados mostraram considerável variabilidade entre sub-parcelas que receberam tratamentos idênticos. Mesmo quando a irrigação ou precipitação foram uniformes, não se obteve um comportamento médio para uma mesma parcela, no que se refere ao movimento da água no perfil do solo, absorção de nitrogênio pelas plantas e seu transporte no solo.

2.1.4. O efeito da interação vinhaça-nitrogênio

Em trabalho pioneiro, ALMEIDA et alii (1950) comprovaram que a vinhaça, apesar da elevada acidez que apresenta (pH em torno de 4,0), quando adicionada ao solo, provoca um aumento do pH, quase que proporcionalmente à dose de vinhaça aplicada. Vários autores verificaram o mesmo fenômeno, tais como BRIEGER (1977), MAGRO (1978), SANTOS et alii (1981), LEAL et alii (1983), CAMBUIM & CORDEIRO (1986). Como resultado de seu trabalho, sugerem que o aumento do pH do solo,

após a aplicação de vinhaça, decorre de reações de redução (que consomem íons H^+), então dominantes no solo e que refletem no abaixamento do potencial redox.

Pesquisadores têm verificado que a adição de vinhaça ao solo provoca aumento de sua população microbiana e tal atividade irá interferir na dinâmica do nitrogênio no solo e, portanto, na disponibilidade deste às plantas (ALMEIDA et alii, 1982; AMARAL SOBRINHO et alii (1983). Essa disponibilidade do nitrogênio seria afetada pelos processos de imobilização, mineralização e desnitrificação (CAMARGO, 1954).

AMARAL SOBRINHO et alii (1983) avaliaram os efeitos da aplicação de doses crescentes de vinhaça (0, 100, 200, 400 e 800 m³/ha) em mistura com NO_3^- , sobre os processos de imobilização e desnitrificação de nitrogênio, em um Podzólico Vermelho-Amarelo da região de Campos (RJ). Observaram, com doses crescentes de vinhaça, um decréscimo drástico do $N-NO_3^-$, com simultâneo acúmulo de $N-NO_2^-$, $N-NH_4^+$, $N-N_2O$ e N-orgânico, indicando ocorrência dos processos de desnitrificação e imobilização de nitrogênio. A intensidade dos processos é controlada pela quantidade de C-orgânico introduzida pelas doses de vinhaça.

O tratamento que recebeu 800 m³/ha de vinhaça perdeu 18% de $N-NO_3^-$ sob a forma volátil devido à desnitrificação e 27% do N-mineral devido à imobilização.

A vinhaça, cuja fração orgânica é constituída de fontes de carbono rapidamente decomponíveis, propicia alterações drásticas a curto prazo no ambiente físico-químico do solo, afetando a di-

nâmica do nitrogênio neste (LEAL et alii, 1983). E quanto maior a adição de matéria orgânica, maior a intensidade de variação nas transformações do N-mineral (AMARAL SOBRINHO et alii, 1987).

ALMEIDA et alii (1982) acompanharam as transformações pelas quais passa o N-mineral adicionado como complementação à aplicação de vinhaça ao solo, utilizando ^{15}N como traçador. Trabalhando com três níveis de umidade no solo, encontraram que aproximadamente 40% do nitrogênio foi imobilizado na forma orgânica e taxas de 10 a 32% do nitrogênio adicionado foram perdidas por desnitrificação.

VELLOSO et alii (1982) também observaram que a lixiviação de nitrato no solo diminuiu com o aumento da dose de vinhaça, provavelmente devido às perdas por desnitrificação. Se desvantajoso, do ponto de vista da nutrição de plantas, o processo de desnitrificação assume conotação especial sob o ângulo da poluição que o nitrato ocasiona em águas subterrâneas. O teor máximo de nitrato em águas de lixiviação de solo, estipulado pela Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente é de 10 mg N-NO_3^- /litro de água percolada.

As perdas de NH_4 do solo aumentaram com doses maiores de vinhaça. Doses crescentes de vinhaça acrescentam teores de potássio mais elevados em relação ao de NH_4^+ . O potássio passa a ser preferencialmente adsorvido, deslocando o NH_4^+ para a solução do solo e este íon torna-se mais susceptível à lixiviação.

AMARAL SOBRINHO et alii (1987) chegaram a conclusões semelhantes quando aplicaram conjuntamente vinhaça e adubo nitrogenado à camada superficial de um Podzólico Vermelho-Amarelo.

2.2. Potássio

2.2.1. Importância do potássio na produção de culturas

O potássio é essencial a todas as formas de vida, tanto animal quanto vegetal.

Segundo ELLINGTON (1980), é o sétimo elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo encontrado não só em organismos animais e vegetais, como também em rochas, minerais, solos, lagos, oceanos e rios.

Por ser um nutriente essencial às plantas, estas não alcançam um crescimento e produção máxima sem potássio, nem as funções das quais ele participa podem ocorrer na sua ausência.

O papel do potássio nos processos bioquímicos e fisiológicos das plantas que contribuem para a sua produção final tem sido estudado por diversos autores, entre eles: BERINGER (1982), PRETTY (1982), WALLINGFORD (1980), MALAVOLTA & CROCOMO (1982), MENGEL (1982).

Entre outras funções, o potássio participa de:

- fotossíntese e respiração;
- regulação osmótica e funcionamento dos estômatos;
- síntese de carboidratos;
- ativação de numerosos sistemas enzimáticos;
- estimulação na formação de proteínas e na redução do conteúdo de compostos N não proteicos;
- aumento da taxa e da duração do armazenamento de assimilados;
- reforço dos caules, colmos e raízes, reduzindo aca-

- mamento e senescência prematura;
- melhor lignificação e composição bioquímica alterada para reduzir infecções de doenças.

Devido à importância do potássio no metabolismo, fisiologia e nutrição de plantas, torna-se necessário compreender os fatores relacionados à sua disponibilidade e absorção pelo sistema radicular.

2.2.2. Formas de potássio no solo e sua disponibilidade

Cada solo, por ser uma unidade dinâmica e única, possui características físicas, químicas e biológicas próprias, que afetam a disponibilidade do potássio. De acordo com MUNSON (1980), estas características variam com: (a) material de origem do solo e a forma como este se deposita ao longo do tempo; (b) topografia do local; (c) vegetação sob a qual o solo se desenvolveu; (d) condições climáticas, tanto na atualidade quanto em épocas passadas; (e) período de tempo em que estes fatores vêm interagindo.

Segundo LOPES (1982), a disponibilidade de potássio para as diversas culturas depende, entre outros fatores, da natureza e quantidade de minerais primários ricos em potássio e do tipo e quantidade dos minerais secundários ou argilo-minerais. Como estes fatores estão relacionados à mineralogia dos solos, o conhecimento dos minerais passíveis de fornecerem potássio por intemperização e dos colóides argilosos importantes na dinâmica do potássio no solo, são fundamentais ao estudo deste nutriente no sistema solo-planta-atmosfera.

RITCHEY (1982) descreve o potássio total no solo como:

- a) componente estrutural de feldspatos potássicos e micas, disponível apenas quando estes minerais são decompostos;
- b) potássio temporariamente fixado entre lâminas de argilas expansivas, tais como a illita e a montmorilonita;
- c) potássio facilmente trocável por um sal neutro, não tamponado, como acetato de amônio;
- d) pequena quantidade de potássio presente na solução do solo.

As duas últimas formas são imediatamente disponíveis às plantas e são comumente medidas em testes de solos.

Jã Goedert (1973)¹, citado por LOPES (1982), classifica o potássio total no solo de três formas:

- a) potássio estrutural - de 90 a 98%;
- b) potássio trocável, que contribui com 2 a 8% do K-total;
- c) potássio na solução do solo, com valores de 0,1 a 0,2% do K-total.

Os solos tropicais, altamente intemperizados, normalmente não contêm muito dos minerais de argila expansível e têm muito pouco, ou quase nada, de minerais primários capazes de decomposição. Assim sendo, o potássio extraível é a única fonte importante de potássio no solo para as culturas (RITCHEY, 1982; MIELNICZUK, 1978).

As plantas absorvem o potássio da solução do solo, na forma de íon hidratado positivo monovalente, (K^+). Através da solução

¹GOEDERT, W.J. Cation equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. Tese Ph.D., University of Wisconsin, Madison (não publicado). 1973.

do solo, ocorrem as adições e retiradas de potássio.

MIELNICZUK (1978) representa esquematicamente a dinâmica do potássio no solo, da seguinte forma:

A reserva imediata de potássio no solo é representada pelo K-trocável e o K-solução. Quando a concentração de potássio em solução diminui, seja por absorção radicular ou lixiviação, parte do potássio adsorvido aos minerais de argila (K-trocável) passa à solução do solo. Pode-se dizer que:

$$\text{K-disponível} = (\text{K-trocável}) + (\text{K-solução})$$

2.2.3. Ganhos e perdas de potássio no sistema solo

Segundo SCHROEDER (1975), os ganhos e perdas de potássio por movimento lateral de água, erosão ou ascensão capilar, são desprezíveis em condições normais.

SILVA & RITCHEY (1982a) relatam que, devido às dificuldades encontradas nos processos de amostragem de solos em profundidade, a maior parte dos trabalhos em pesquisa com adubação potássica não leva em consideração o movimento do nutriente no perfil do solo. Sendo a lixiviação um fenômeno de ocorrência comprovada, perdem-se muitas informações, dificultando a interpretação de resultados e o estudo do balanço do potássio no solo.

SOUZA et alii (1979) realizaram um balanço de potássio em solo cultivado com milho, utilizando a equação:

$$K_0 + K_1 = K_2 + K_3$$

onde: K_0 = potássio trocável do solo; K_1 = potássio adicionado como fertilizante; K_2 = potássio absorvido pela planta; K_3 = potássio trocável após a colheita.

KOFOED (1979) apresentou as vantagens de se realizar um balanço de potássio, enfatizando seu retorno ao solo após a colheita. Como ganhos, computou a adubação com fertilizantes potássicos, incorporação de resíduos vegetais e animais e adição de potássio pelas precipitações. Como perdas, considerou a porcentagem do nutriente removido pelas plantas e também a quantidade perdida por lixiviação.

A adição de potássio ao solo pela precipitação depende:

- da intensidade da precipitação (mm/h);
- do conteúdo de potássio na água da chuva (entre 0,2 e 1,5 ppm).

Tal adição é considerada um ganho muito pequeno.

SCHROEDER (1975), analisando precipitações anuais de 400 mm, com concentrações de potássio em torno de 1 ppm, estimou este

ganho em cerca de 7 Kg de K/ha.ano. Segundo o autor, isto corresponderia às perdas de potássio por lixiviação em solos argilosos.

Os ganhos de potássio devido à adubação potássica variam de acordo com as exigências da cultura. MALAVOLTA & CROCOMO (1982) calcularam que para uma colheita de 100 t/ha de cana-de-açúcar (cana-planta), são necessários cerca de 110 Kg de K/ha.

O fertilizante potássico mais comumente utilizado hoje em dia é o cloreto de potássio, pois apresenta um menor preço por unidade de K_2O . Outra fonte muito utilizada no Estado de São Paulo como adição de potássio ao solo é a vinhaça. A vinhaça, resíduo líquido da destilação do álcool, possui alto teor de potássio em sua composição, variável com o tipo de mosto destilado (ESPIRONELO, 1979).

Quanto à remoção de potássio pelas culturas, varia com a espécie da planta, seu estado nutricional e produção. Em cana-de-açúcar, o potássio e o nitrogênio são os nutrientes absorvidos e exportados em maiores quantidades (CLEMENTS, 1980).

Segundo revisão de ORLANDO FILHO (1982), os valores de potássio absorvidos pelos colmos de cana-de-açúcar variam muito, de 0,27 a 3,72 Kg de K/t de colmos. VON UEXKUELL (1968) encontrou valores de absorção de 0,4 a 2,5 Kg de K/t de colmos de cana-de-açúcar.

ORLANDO FILHO et alii (1980), trabalhando em três tipos de solo do Estado de São Paulo, encontraram valores de absorção médios de 0,64 Kg de K/t de colmos no 16º mês de idade para cana-planta e 0,71 Kg de K/t de colmos no 12º mês de idade para cana-soca. Analisando as quantidades de potássio absorvidas pelas folhas+colmos, os mesmos autores encontraram valores de 153,45 a 194,42 Kg

de K/ha para cana-planta e de 159,09 a 226,51 Kg de K/ha para cana-soca. Os autores enfatizam que, do potássio extraído pela parte aérea da planta, a quantidade referente às folhas (cuja absorção de potássio é superior à dos colmos) retorna ao solo através das cinzas, pois visando facilitar a operação da colheita da cana-de-açúcar, os canaviais sofrem um processo de queima.

Em relação ao potássio removido por lixiviação, não encontramos perdas tão significativas quanto as do N-NO_3^- pelo perfil do solo, pelo fato do primeiro permanecer no solo na forma de cátion trocável (MALAVOLTA & CROCOMO, 1982).

A lixiviação de potássio no perfil do solo depende de vários fatores, tais como: tipo de solo, teor de argila, CTC do solo, saturação de bases, pH do solo, precipitação, evapotranspiração, temperatura, cobertura vegetal (KOFOED, 1979).

SOUZA et alii (1979) trabalharam com cultura de milho em Latossolo Vermelho-Escuro álico, onde foram incorporadas, a lanco, doses crescentes de potássio (0, 75, 150, 300 e 600 Kg de K_2O /ha). Devido à CTC e ao poder tampão do potássio no solo em estudo serem valores baixos, dando a este solo condições desfavoráveis a uma elevada retenção do nutriente, os tratamentos que receberam 300 e 600 Kg de K_2O /ha apresentaram perdas acentuadas de potássio por lixiviação. Cerca de 25% do potássio aplicado foi perdido por lixiviação no tratamento que recebeu 600 Kg de K_2O /ha.

FRANCO & MEDINA (1960), estudando o desenvolvimento de cafeeiros em dois tipos de solo ("arenito de Bauru" e "terra roxa legítima"), determinaram o teor de potássio trocável em diferentes pro-

fundidades, no 1º, 2º, 3º e 4º ano após a aplicação de 180 Kg de KCl/10 m de sulco. No primeiro ano, o potássio aplicado atingiu a profundidade de 61-100 cm. Após o terceiro ano, não constatarem efeito da adição superficial de potássio, nas profundidades analisadas.

KOFOED (1979) constatou que o potássio é mais facilmente lixiviado em solos arenosos ou com alta porcentagem de húmus. Trabalhando com lisímetros e solos de diferentes texturas, o autor obteve perdas de até 25 Kg de K/ha.ano por lixiviação, em solos com predominância da fração areia.

Jã Hansen & Pedersen (1975)¹, citados por KOFOED (1979), trabalharam com quinze solos de textura argila na Dinamarca e, analisando a água de drenagem destes solos, encontraram perdas ao redor de 1 Kg de K/ha.ano. Concluíram que estes valores mais baixos tenham sido devidos aos drenos interceptarem apenas parte da água lixiviada.

Uma dose de 100 Kg de K/ha, aplicada a lanço e incorporada a uma profundidade de 20 cm, adicionará, aproximadamente, 0,12 meq de K/100 g ao solo, quantidade esta que poderá ser retida sem muita dificuldade (RITCHEY, 1982). Porém, segundo o autor, é comum aplicar-se potássio em faixas, no sulco de semeadura, incorporando o equivalente a 1,0 meq de K/100 g, quantidade esta que não pode ser retida com facilidade no solo. Desta forma, uma proporção considerável de potássio permanecerá na solução do solo, sendo passível de lixiviação quando chover. Assim sendo, torna-se necessário eliminar restri-

¹HANSEN, L. & PEDERSEN, F.: Tidsskrift for Planteavl, 79: 670-688, 1975.

ções ao aprofundamento do sistema radicular, para que seja possível recuperar perdas potenciais por lixiviação de nutrientes, como o potássio e o nitrogênio.

Um fato que tem gerado discussão sobre os mecanismos através dos quais o potássio se mantém no solo sendo, posteriormente, aproveitado pelas plantas, é o chamado "efeito residual do potássio".

SILVA & RITCHEY (1982b) supõem que, após lixiviação e distribuição do potássio no perfil do solo, este possa ser absorvido por raízes que penetram em camadas mais profundas.

Outra hipótese, discutida por estes autores, é a reciclagem do potássio no sistema solo-planta. Esta reciclagem se dá através dos mecanismos de absorção, mobilização pela planta e lavagem do nutriente nas folhas e colmos pela água das chuvas, fazendo com que o potássio permaneça sempre nas camadas superficiais do solo, onde é mais intensa a atividade de absorção pelas raízes.

Ao trabalharem com plantas de milho, SILVA & RITCHEY (1982b) verificaram que num período de 30 dias, quando ocorreram precipitações equivalentes a 372 mm, as folhas e colmos perderam 42,5 Kg de K/ha. Enquanto isso, na camada de solo de 0-15 cm de profundidade, acumularam-se, em média, 34,5 Kg de K/ha. Esse acúmulo corresponde a uma aplicação de 41,5 Kg de K_2O /ha. O experimento recebeu inicialmente, adubação correspondente a 120 Kg de K_2O /ha. Provavelmente, com aplicação de doses mais elevadas, haja maior mobilização do potássio pelas culturas e, portanto, maior retorno ao solo por lavagem.

2.2.4. Movimento de potássio no solo e sua absorção pelas raízes

A mobilidade do potássio é extremamente baixa em minerais de argila, muito maior quando este se encontra na forma de íon trocável e maior ainda se o potássio estiver como íon livre na solução do solo.

NYE (1972), utilizando a equação de Nernst-Einstein para cálculo do coeficiente de difusão de um íon, estimou que o potássio tem índices de $2 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ em solução aquosa e $10^{-23} \text{ cm}^2/\text{s}$ quando fazendo parte da estrutura de uma mica, como a ilita. Em termos práticos, isso significa uma mobilidade de 1 mm/250 s para o potássio em solução e de 1 nm/ $5 \cdot 10^8$ s (16 anos) para o potássio que faz parte da ilita.

O suprimento de nutrientes até a superfície da raiz dá-se por três mecanismos (BARBER, 1974):

- intercepção radicular: as raízes, crescendo, entram em contato com o íon presente no solo;
- fluxo de massa: o íon é transportado às raízes com o fluxo de água;
- difusão: o íon move-se devido a um gradiente de concentração.

A intercepção radicular depende do volume de solo deslocado pelas raízes, durante seu crescimento. Isto pode ser constatado pela relação volume de raízes : volume de solo. Esta relação é muito pequena e, além da dificuldade de determinação, o volume de raízes não excede 2 - 3% do volume de solo (SCHROEDER, 1975; BARBER, 1982). Portanto, parte do potássio que pode ser absorvido por intercepção radicular corresponde ao volume de raízes, sendo um valor muito pequeno.

Uma proporção do potássio pode ser transportado às raízes por fluxo de massa. Porém, apenas este meio de transporte não é capaz de suprir as necessidades de potássio das plantas. Segundo vários autores (BARBER, 1968; NYE, 1972; SCHROEDER, 1975), a quantidade de potássio suprida por fluxo de massa depende da concentração de potássio na solução do solo e da taxa de transpiração da planta. Estes mesmos autores estimaram que o fluxo de massa pode suprir cerca de 10% do potássio necessário às plantas.

Desta forma, torna-se evidente que cerca de 90% do potássio é transportado às raízes pelo mecanismo de difusão, dados estes também confirmados por MENGEL & VON BRAUNSCHWEIG (1972).

BARBER (1968), trabalhando com raízes de soja e três níveis de transpiração, observou que, aumentando-se a taxa de transpiração, é maior a absorção de potássio por fluxo de massa e menor a absorção do nutriente por difusão.

O trabalho de Barber & Olson (1968)¹, citado por MALAVOLTA & CROCOMO (1982), mostra a contribuição relativa dos processos de contato íon-raiz (intercepção radicular, fluxo de massa e difusão), no fornecimento de nutrientes para o milho. Observa-se que o íon potássio ocupa uma posição intermediária entre o nitrogênio e o fósforo. O principal processo de contato é o da difusão, mas uma proporção relativamente alta caminha na solução do solo até encontrar a raiz. Pos-

¹ BARBER, S.A. & OLSON, E.A. Fertilizer use on corn. In: NELSON, L. B. et alii, ed. Changing patterns in fertilizer use. Madison, Soil Science Society American, 1968.

sivelmente, em solos de regiões tropicais, onde quase não ocorre (ou mesmo não ocorre) fixação de potássio em comparação com solos de regiões temperadas, o fluxo de massa participe em maior proporção, em detrimento do mecanismo de difusão.

Sendo a difusão fundamental para o processo de absorção de potássio, o fornecimento deste à raiz dependerá dos fatores da equação de Fick para difusão (BARBER, 1968).

A velocidade de difusão do potássio é influenciada pelo teor de água do solo e pela concentração do nutriente no solo. A umidade do solo e a velocidade de difusão são diretamente proporcionais, porque o caminho até a raiz torna-se menos tortuoso e há diminuição dos poros ocupados pelo ar, aumentando assim a área disponível à difusão (BARBER, 1968; MENGEL & VON BRAUNSCHWEIG, 1972; DIEST, 1979).

Segundo BALIGAR (1985), a transferência de potássio no solo para as raízes ocorre principalmente por difusão (induzida por uma mudança da concentração de potássio na superfície da raiz) e por fluxo de massa (induzido pela absorção de água pela planta). As plantas absorvem potássio da solução do solo e, para manter o equilíbrio iônico, o potássio adsorvido ao complexo de troca (argilas) é liberado para a solução do solo.

O autor acima citado trabalhou com trigo em diferentes densidades de plantio; milho e cebola, sendo que as duas últimas culturas foram semeadas em uma densidade apenas. A tensão da água no solo foi mantida constante e igual a 0,3 bar, em todos os tratamentos. Observou que, no trigo, quanto maior a densidade de plantio, menor a

absorção de potássio pelas plantas (devido à competição) e maior a contribuição da difusão na transferência dos nutrientes às raízes. A difusão também foi o processo mais atuante na absorção de potássio pelas plantas de milho, chegando a 99%. Ao contrário, o fluxo de massa foi o mecanismo de transporte mais utilizado pela cebola na absorção de potássio.

Como concluiu o autor, o mecanismo de absorção de potássio para os diversos tipos de plantas é atribuído às diferenças nas necessidades de potássio, taxas de fluxo de água e diferenças nos parâmetros radiculares. Comparando os sistemas radiculares do trigo, cebola e milho, o autor observou que o último possui uma maior área radicular ($\text{cm}^2/\text{planta}$) e suas raízes possuem maior diâmetro.

GIANELLO & MIELNICZUK (1981), trabalhando com plantas de milho em três tipos de solos do Rio Grande do Sul, três níveis de água no solo e três concentrações de potássio, concluíram que o aumento no teor de água no solo proporcionou um aumento significativo na absorção de potássio. O aumento do teor de água no solo diminuiu a distância do trajeto íon-raiz, aumenta a área transversal disponível à difusão e a superfície de contato da raiz com a solução do solo, resultando maior absorção de potássio. Os acréscimos na absorção de potássio devido ao maior teor de água no solo foram superiores àqueles ocasionados pela maior concentração de potássio na solução do solo, principalmente quando o teor de água correspondeu ao índice de capacidade de campo de cada solo.

No mesmo experimento, o teor de argila de cada solo atuou sobre a absorção de potássio pelo milho. Quanto maior o teor de

argila, maior a absorção de potássio. Segundo os autores, o efeito observado deveu-se, principalmente, à maior capacidade de retenção de água do solo argiloso em relação ao solo arenoso.

NELSON (1980) cita vários exemplos onde se comprova que o aumento da água disponível no solo, até próximo de sua capacidade de campo, aumenta a difusão do potássio para as raízes. Porém, níveis muito elevados de umidade reduzem o espaço poroso disponível à aeração do solo, dificultando a absorção de potássio pelas plantas. Resultados semelhantes foram observados por DIEST (1979).

Estudando o efeito da umidade do solo sobre a disponibilidade de potássio e sua influência no crescimento de plantas de milho, MENGEL & VON BRAUNSCHWEIG (1972) obtiveram resultados interessantes.

O experimento consistiu na utilização de quatro níveis de umidade do solo e cinco níveis de potássio, em vasos que, posteriormente, foram plantados com milho. O máximo crescimento de plantas foi observado no tratamento com tensão de água no solo $pF = 2,0$. Tratamentos com tensões menores de água no solo não mostraram bons resultados, devido provavelmente à deficiência de oxigênio. Com níveis maiores de tensão da água no solo, a difusão de potássio às raízes foi restringida, diminuindo a absorção do íon pelas plantas e, consequentemente, afetando a produção de matéria seca por tratamento.

O conteúdo de potássio absorvido pela planta resultou das condições de disponibilidade deste no solo, sendo estas condições controladas pelo conteúdo de K-trocável, concentração de potássio na solução do solo e porcentagem de poros preenchidos com água.

Desta forma, para um dado nível de K-trocável no solo, sua disponibilidade às plantas pode ser alterada pelas condições ambientais que influem na umidade do solo. O aumento da tensão da água no solo diminui o espaço poroso preenchido com água, inibindo os processos de difusão e fluxo de massa do íon potássio.

Neste trabalho, MENGEL & VON BRAUNSCHWEIG (1972) concluíram que não foi a deficiência hídrica que ocasionou menor absorção de potássio pelas plantas e menor produção, visto que os valores utilizados ocorrem frequentemente em condições de campo. Mas que o aumento na tensão da água no solo inibiu a difusão de potássio às raízes. Concluíram também que a difusão do potássio para as raízes é diretamente proporcional à densidade destas. Portanto, as gramíneas, devido ao seu sistema radicular, são mais eficientes quanto à capacidade de absorverem potássio. A mesma conclusão foi observada por BARBER (1972).

SANZONOWICZ & MIELNICZUK (1985) estudaram o deslocamento do potássio no perfil do solo, a partir de três fontes: kalsilita (KAlSiO_4), sulfato de potássio (K_2SO_4) e cloreto de potássio (KCl).

Segundo os autores, o conteúdo de potássio que percola abaixo do volume de solo ocupado pelas raízes depende do volume de água percolada e da concentração do nutriente na solução do solo. Em solos de baixa C.T.C., o potássio aplicado na forma de adubo solúvel permanece em grande parte na solução do solo e, se não for absorvido pelas plantas, desloca-se para camadas mais profundas do perfil com a água de percolação. As perdas de potássio por lixiviação podem ser reduzidas com o emprego de fontes menos solúveis e/ou portadoras de

ânions pouco móveis no solo, métodos de aplicação que evitem altas concentrações do nutriente na solução e elevação da C.T.C. do solo pela calagem.

Neste trabalho, os autores observaram que a kalsilita provocou um menor deslocamento de potássio no perfil do solo, porque não contém íons Cl^- e SO_4^{2-} em sua estrutura. Estes ânions, por serem muito móveis na solução do solo, promovem a lixiviação do potássio no perfil do solo. Até 40 cm de profundidade, o KCl promoveu alterações significativas no conteúdo de K-trocável no solo, em relação à testemunha.

Os métodos de aplicação do fertilizante potássico (no sulco de semeadura e a lanço com posterior incorporação) também influenciaram a lixiviação de potássio. A lanço, com posterior incorporação, o potássio permaneceu em contato com um maior volume de solo. Desta forma, tendo maior chance de ser adsorvido aos complexos de troca, fica em menor quantidade na solução do solo. Quando aplicado no sulco de plantio, o potássio fica concentrado em menor volume de solo, a concentração na solução do solo aumenta, favorecendo a sua lixiviação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Características do local

O experimento foi desenvolvido em área próxima ao Posto Agrometeorológico, pertencente ao Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), município de Piracicaba (SP).

As coordenadas geográficas do local onde foi instalada a parcela experimental, são:

- latitude: $22^{\circ}42'30''$ S;
- longitude: $47^{\circ}38'00''$ W;
- altitude: 576 m acima do nível do mar.

De acordo com CERVELLINI et alii (1973), as normais meteorológicas que caracterizam a área experimental são:

- precipitação: $1247,1 \text{ mm.ano}^{-1}$;
- umidade relativa: 69%;
- temperatura média: $20,8^{\circ}\text{C}$;
- velocidade do vento: $2,5 \text{ m.s}^{-1}$;
- horas de brilho solar: $6,0 \text{ horas.dia}^{-1}$.

Os dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (p), irrigação (i) e evapotranspiração potencial (ETP), durante o desenvolvimento da cultura nos períodos cana-planta e cana-soca, estão repre-

sentados nas Figuras 1 e 2.

3.2. Características físicas e químicas do solo

A unidade do solo no qual se instalou o experimento foi identificada pela Comissão de Solos do SNPEA (BRASIL, 1960) como Terra Roxa Estruturada, série "Luiz de Queiroz", por RANZANI et alii (1966). De acordo com o sistema americano de classificação (E.U.A., 1975), este solo está dentro da ordem dos Alfisols, sendo, mais precisamente, classificado como um Paleudalf óxico. É um Alfisol com horizonte B-textural desenvolvido, sendo a caulinita o mineral de argila predominante na fração argila (diâmetro de partícula menor que 0,002 mm) (MARCOS, 1971).

Segundo RANZANI et alii (1966), a Terra Roxa Estruturada representa cerca de 6,1% dos solos do município de Piracicaba (1,1% do Estado de São Paulo), sendo hoje em dia intensivamente utilizada no cultivo de cana-de-açúcar.

Suas características físicas e químicas encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

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

- pH em água, na relação 1:2,5 e para o pH em KCl, solução normal de KCl;
- carbono orgânico, pelo método de Walkley e Black, descrito por JACKSON (1976);
- nitrogênio total, pelo método semi-micro-Kjeldahl, descrito por

Figura 1 - Valores diários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (p), irrigação (i) e evapotranspiração potencial (ETP), durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar no período cana-planta.

Figura 2 - Valores diários de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (p), irrigação (i) e evapotranspiração potencial (ETP), durante o desenvolvimento da cana-de-açúcar no período cana-soca.

Tabela 1 - Resultados das análises de algumas características físicas do solo em estudo.

Profundidade (cm)	Análise Mecânica (mm) (%) ¹						
	areia m. grossa (2-1)	areia grossa (1-0,5)	areia média (0,5-0,25)	areia fina (0,25-0,10)	areia m. fina (0,10-0,05)	limo (0,005-0,002)	Argila disp. H ₂ O <0,002
0-15	0,1	1,6	5,9	15,3	7,8	27,9	41,4
15-30	0,1	1,2	5,9	14,8	6,8	24,5	25,6
30-45	0,1	1,0	4,0	10,9	5,2	20,1	46,7
45-60	0,1	0,8	4,1	10,2	4,8	19,5	58,7
60-75	0,1	0,9	3,7	10,6	5,9	18,3	60,5
75-90	0,2	1,0	3,7	10,7	6,6	21,6	60,5
90-105	0,2	1,0	4,1	11,3	7,1	21,2	56,3
105-120	0,2	1,1	4,5	11,8	6,4	23,5	55,1
							52,5
							1,8

Profundidade (cm)	Densidade ² (g.cm ⁻³)		Porosidade ³		Classe Textural
	d _g	d _p	Total α (%)		
0-15	1,32	2,81	53,02		argila
15-30	1,30	2,84	54,22		argila
30-45	1,27	2,86	55,59		argila
45-60	1,21	2,90	58,27		argila
60-75	1,25	2,89	56,75		argila
75-90	1,27	2,87	55,75		argila
90-105	1,27	2,85	55,44		argila
105-120	1,28	2,85	55,09		argila

¹ Laboratório do Depto. de Solos, Geologia e Fertilizantes da ESALQ/USP (método da pipeta; dispersante Calgon).

² Densidade global ou aparente (d_g), pelo método do cilindro volumétrico; densidade de partícula (ou real), d_p, pelo método do álcool etílico (EMBRAPA, 1979).

³ Calculada a partir de d_g e d_p, ou $\alpha = (1 - d_g/d_p)$.

Tabela 2 - Resultados da análise química do solo em estudo.

Profundidade (cm)	pH		Δ pH	C Org. (%)	N Total (%)	C/N	meq / 100 g T.F.S.A.*							V (%)
	H ₂ O	KCl					PO ₄ ³⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺ + Al ³⁺	CTC**	
0-30	5,70	4,90	-0,80	0,73	0,11	6,64	0,13	0,47	0,04	4,10	0,92	6,40	11,92	46,39
30-60	6,00	5,30	-0,70	0,57	0,08	7,12	0,06	0,31	0,02	3,48	0,99	4,40	9,20	52,17
60-90	6,00	5,40	-0,60	0,46	0,06	7,67	0,06	0,31	0,03	3,74	0,88	3,90	8,86	55,98
90-120	6,10	5,50	-0,60	0,40	0,05	8,00	0,04	0,28	0,02	2,96	0,80	4,00	8,06	50,37

* T.F.S.A. = terra fina seca ao ar

** C.T.C. = capacidade de troca catiônica

BREMNER (1965a);

- fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio e alumínio+hidrogênio, pela metodologia descrita em EMBRAPA (1979);
- capacidade de troca catiônica (C.T.C.), resultante da somatória dos cátions trocáveis analisados.

3.3. Parcela experimental

A parcela experimental constou de uma área plana de 1274 m^2 (19,6 x 65,0 m), onde foi instalada uma cultura de cana-de-açúcar (Saccharum spp.), variedade NA 56-79, com espaçamento de 1,40 m entre fileiras, totalizando, assim, 15 fileiras.

Nesta parcela, foram estudados os períodos cana-planta e cana-soca, modificando-se o delineamento experimental de um e outro estágio da cultura, a fim de tornar mais abrangentes as informações propiciadas pelo experimento.

Os delineamentos experimentais dos dois períodos estão representados nas Figuras 3 e 4.

3.3.1. Cultura

A cultura utilizada foi a cana-de-açúcar (Saccharum spp.), variedade NA 56-79, selecionada por sua precocidade nas condições do Estado de São Paulo, ocupando, segundo COPERSUCAR (1984), uma área de aproximadamente 35,08% de suas usinas cooperadas.

Figura 3 - Esquema da primeira fase do experimento (cana-planta), destacando-se as parcelas adubadas com ^{15}N ($P_{1,2}$), vinhaça (P_5) e testemunha (P_6).

De acordo com inúmeros autores, tais como BASSINELLO (1976) e SCOTTI (1977), é uma variedade que apresenta P.U.I. (período útil de industrialização) de médio a longo, fácil despalha, medianamente exigente quanto à água e fertilidade, baixa produção na cana-planta e alta nas socas, com tolerância à deterioração pelo frio. Por ter maturação precoce, torna-se mais indicada para corte no início da safra, aproveitando-se da alta percentagem de sacarose aparente apresentada nessa época.

BRINHOLI (1975), em experimentos em casa-de-vegetação, elegeu a variedade NA 56-79 como a mais resistente à seca.

3.3.2. Instrumental de campo

Como instrumental de campo, utilizaram-se tensiômetros com manômetro de mercúrio, para medidas do potencial matricial da água no solo e amostradores de solução do solo com cápsula porosa de cerâmica, para determinação da concentração de N-NO_3^- e K^+ na solução do solo, ao longo do perfil.

Para construção dos tensiômetros, foram utilizados:

- tubos de plástico PVC rígido, com diâmetro externo de 21 mm e interno de 15 mm, sendo o comprimento variável de acordo com a profundidade de interesse;
- tubos de nylon flexível transparente, com diâmetro interno de 2,0 mm e comprimento variável;
- cápsula porosa de cerâmica, com 6 cm de comprimento e diâmetro equivalente ao do tubo de PVC;

- rolha de borracha;
- cuba plástica com mercúrio.

Estes mesmos materiais, excluindo-se o último item e acrescentando-se frascos de vidro para coleta de amostras, constituíram os extratores de solução do solo.

Na construção dos tensiômetros, cola-se a cápsula porosa a uma das extremidades do tubo PVC e ajusta-se a rolha de borracha a outra. Cerca de 10 cm abaixo da parte superior do tubo PVC é inserida uma das extremidades do tubo de nylon, sendo que a outra é imersa na cuba de mercúrio.

Para o extrator de solução do solo, a disposição da cápsula porosa no corpo do tubo de PVC é idêntica à do tensiômetro. Quanto aos tubos de nylon flexível, uma das extremidades, cortada em bísel, alonga-se até tocar o fundo da cápsula, enquanto a extremidade externa é conectada a um frasco de vidro coletor. Ajustado à rolha de vedação, na parte superior do tubo PVC, um tubo de nylon conecta o extrator a uma fonte de vácuo.

Maiores detalhes do instrumental de campo são visualizados na Figura 5.

3.3.3. Cana-planta

Após preparo convencional do solo (aração e gradagem), dividiu-se a área experimental em três sub-parcelas, as quais receberam os seguintes tratamentos:

Figura 5 - Corte longitudinal, esquemático, de um extrator de solução do solo e de um tensiômetro com manômetro de mercúrio, utilizados no experimento.

- 1a. sub-parcela (área = $9,8 \times 15,0 \text{ m} = 147,0 \text{ m}^2$): recebeu vinhaça em uma dosagem equivalente a $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (P-05). A composição química da vinhaça utilizada, cedida pela Usina Costa Pinto, Piracicaba, encontra-se na Tabela 3;
- 2a. sub-parcela (área = $9,8 \times 15,0 \text{ m} = 147,0 \text{ m}^2$): parcela testemunha, recebeu apenas água, em uma dosagem equivalente a $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ (P-06)
- 3a. sub-parcela (área = $19,6 \times 50,0 \text{ m} = 980 \text{ m}^2$): recebeu adubação N-P-K (P-01 e P-02).

Logo após a incorporação da vinhaça na sub-parcela pré-estabelecida, procedeu-se ao sulcamento do solo, adubação e plantio dos rebolos de cana-de-açúcar (variedade NA 56-79), com cana-dupla, cruzando-se o pê com ponta.

Na sub-parcela adubada, empregou-se uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, como fontes de N, P_2O_5 e K_2O , respectivamente, nas seguintes dosagens, de acordo com a análise de fertilidade do solo:

- uréia = $100 \text{ kg de N} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- superfosfato simples = $125 \text{ Kg de } \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$;
- cloreto de potássio = $100 \text{ Kg de } \text{K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Metade da dose de adubo nitrogenado foi colocada nos sulcos de plantio, juntamente com os totais dos fertilizantes fosfatado e potássico, sendo que a metade restante de N foi aplicada em cobertura, 90 dias após o plantio (D.A.P.). Dentro desta mesma área, duas sub-áreas, de dimensões $5 \times 5 \text{ m}$, foram selecionadas para o estudo do movimento do nitrogênio original do solo e do proveniente do fertilizante, em cinco profundidades do perfil de solo. Para tanto,

Tabela 3 - Composição química da vinhaça utilizada no período cana-planta.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Na	Cl
ppm	107	63	1458	601	185	525	65	2,7	6,0	<2,0	<0,5	20	18

a fonte nitrogenada (urêia) foi enriquecida em 3,63 ($\pm 0,0094516$) % de átomos de ^{15}N , material este fornecido pela International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena, Áustria.

O movimento do potássio proveniente do fertilizante (KCl) e da vinhaça também foi estudado, a diversas profundidades do perfil de solo.

Como se pode visualizar na Figura 3, instalou-se uma bateria de tensiômetros com manômetro de mercúrio, na linha central do experimento, às profundidades de 15, 25, 50, 75, 100, 125 e 150 cm. Em cada uma das sub-parcelas, foram instalados cinco extratores de solução do solo, às profundidades de 25, 50, 75, 100 e 125 cm.

O delineamento experimental nesta primeira fase, portanto, foi representado por:

P-05 : sub-parcela que recebeu apenas vinhaça;

P-06 : sub-parcela testemunha; recebeu apenas água;

P-01 e P-02 : sub-parcelas que receberam adubação N-P-K, sendo a fonte nitrogenada enriquecida com átomos de ^{15}N .

Quanto à coleta de dados, estabeleceu-se:

- leitura diária de tensiômetros
- coleta semanal de solução do solo por meio dos extratores;
- coleta de amostras de solo, antes e após cada plantio.

O cronograma de atividades do período referente à cana-planta, encontra-se na Tabela 4.

3.3.4. Cana-soca

Após o corte da cana-planta e subsequente avaliação da produtividade resultante dos diversos tratamentos, algumas mudanças foram realizadas no delineamento experimental inicial. Isto propiciou um estudo mais detalhado da influência da aplicação de vinhaça na dinâmica do fertilizante nitrogenado no perfil do solo.

Assim, no novo delineamento (Figura 4), adicionou-se vinhaça e fertilizante marcado com ^{15}N à sub-parcela que, na cana-planta, recebera apenas água (P-06), e fertilizante marcado com ^{15}N à sub-parcela que na primeira fase recebera vinhaça (P-05). Foram introzidas duas novas sub-parcelas com ^{15}N (P-03 e P-04), onde se instalaram extratores de solução do solo, às mesmas profundidades das demais sub-parcelas.

Nas sub-parcelas P-01 e P-02, estudou-se o efeito residual do fertilizante marcado com ^{15}N na cana-soca.

No período cana-soca, toda área experimental recebeu adubação N-P-K, sendo que apenas as sub-parcelas P-03, P-04, P-05 e P-06 tiveram o adubo nitrogenado enriquecido com 4,73 ($\pm 0,06$)% de átomos de ^{15}N .

Tabela 4 - Cronograma das atividades realizadas durante o período cana-planta, em D.A.P. (dias após o plantio).

D.A.P.	Incorporação de Vinhaça	Adubação N-P-K	Plantio	Amostragem de Solução do Solo	Amostragem de Solo
-	09-09-82	16-09-82 P,K + 50% N	16-09-82	-	-
98	-	50% N	-	-	-
161	-	-	-	-	X
167	-	-	-	X	-
176	-	-	-	X	-
182	-	-	-	X	-
189	-	-	-	X	-
210	-	-	-	X	-
215	-	-	-	X	-
223	-	-	-	X	-
236	-	-	-	X	-
243	-	-	-	X	-
252	-	-	-	X	-
254*	-	-	-	-	-
280**	-	-	-	-	-

X: atividade executada.

11 a 21-01-83: instalação de tensiômetros e extratores de solução do solo, nas parcelas P-01, P-02, P-05 e P-06.

*: acamamento total da cana-planta.

** : colheita da cana-planta.

A sub-parcela P-06 recebeu uma dosagem de vinhaça equivalente a $200 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. A composição química da vinhaça adicionada ao solo, cedida pela Usina Costa Pinto, Piracicaba, encontra-se na Tabela 5.

Quanto à adubação N-P-K, utilizou-se uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio nas seguintes dosagens:

- uréia: $50 \text{ Kg de N} \cdot \text{ha}^{-1}$;
- superfosfato simples: $45 \text{ Kg de P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$;
- cloreto de potássio: $90 \text{ Kg de K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$.

A única sub-parcela a não receber adubação potássica (KCl) foi a P-06, pois este íon foi incorporado ao solo através da vinhaça.

Quanto à coleta de dados, fez-se:

- leitura diária dos tensiômetros;
- coleta semanal de solução do solo, através dos extratores;
- coleta de amostras de solo, antes e após o brotamento da cana-soça.

Como pode ser visualizado na Figura 2, o período em que a cana-soça se desenvolveu foi de baixa pluviosidade. Portanto, fez-se necessário o uso de irrigação em determinados períodos. Com o rápido desenvolvimento vegetativo da cana-soça, a partir de um certo período tornou-se impossível o uso do sistema de aspersores para irrigação da área experimental.

Com um potencial matricial menor que $-0,75 \text{ bar}$, calculado através das leituras dos tensiômetros, tornava-se difícil coletar quantidades suficientes de solução do solo, para posteriores análises de K^+ e N-NO_3^- . Com o passar do tempo, sem precipitações sig-

Tabela 5 - Composição química da vinhaça utilizada no período cana-soca.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Na	Cl
ppm	823	51	3047	877	294	907	503,3	1,0	10,7	5,4	<0,05	83	15

nificativas, desativou-se gradualmente as baterias de extratores de solução do solo. Para contornar o problema, coletou-se mensalmente, em cada sub-parcela, amostras de solo às mesmas profundidades onde estavam instalados os extratores (25, 50, 75, 100 e 125 cm). A partir das amostras de solo, foram feitas análises de K^+ e $N-NO_3^-$.

Também devido ao baixo potencial matricial do solo foi necessário desativar a bateria de tensiômetros. A partir disso, coletaram-se amostras semanais de solo, para cálculo da umidade volumétrica (θ), às mesmas profundidades de instalação dos tensiômetros (15, 25, 50, 75, 100, 125 e 150 cm). Com os valores da umidade volumétrica (θ) e a curva característica do solo em estudo, determinou-se o potencial matricial (ψ_m) de cada amostra, substituindo-se, assim, as leituras tensiométricas.

O cronograma de atividades realizadas durante o período cana-soca encontra-se na Tabela 6.

3.4. Medidas, amostragens e determinações

3.4.1. Drenagem profunda

A quantificação do termo drenagem profunda depende do conhecimento das propriedades hídricas do perfil.

A equação diferencial geral que descreve o movimento da água no solo pode ser derivada combinando-se a equação de Darcy com a equação da continuidade, resultando na equação de Richards para fluxo

Tabela 6 - Cronograma das atividades realizadas durante o período cana-soca, em D.A.P. (dias após o plantio).

D.A.P.	Incorporação de Vinhaça	Adubação N-P-K	Amostragem de Solução do Solo	Amostragem de Solo
336	-	-	X	-
342	-	-	-	X
343	X	-	-	-
349	-	X	-	-
350	-	-	X	-
357	-	-	X	-
370	-	-	X	-
377	-	-	X	-
386	-	-	X	-
390	-	-	X	-
397	-	-	X	-
404	-	-	X	-
414	-	-	X	-
427	-	-	X	-
434	-	-	X	-
455	-	-	X	-
460	-	-	X	-
463	-	-	-	X
504	-	-	-	X
540	-	-	-	X
585	-	-	-	X
658	corte da cana-soca			

não saturado (RICHARDS, 1931; LIBARDI, 1978).

Para fluxo vertical, não saturado, e profundidade L, a equação de Darcy pode ser escrita como:

$$q_L = -K(\theta) \frac{\partial \psi_h}{\partial z} \quad (2)$$

onde: q_L = densidade de fluxo (cm.s^{-1});

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica não saturada ou condutividade capilar (cm.s^{-1});

ψ_h = potencial hidráulico (cm de coluna d'água);

$\partial \psi_h / \partial z$ = gradiente de potencial hidráulico (adimensional); é a força propulsora que atua sobre a água do solo, determinando seu movimento.

Para cálculo do potencial matricial (ψ_m) da água do solo, utilizaram-se os dados diários medidos da coluna de mercúrio dos tensiômetros (h_1), juntamente com as distâncias da superfície do solo ao nível superior do mercúrio na cuba (h_c) e à metade do comprimento da cápsula porosa (z), como mostra a Figura 5.

A equação (3) para este cálculo é:

$$\psi_m = -12,6 \cdot h_1 + h_c + z \quad (\text{cm de coluna d'água}) \quad (3)$$

O potencial matricial (ψ_m), somado ao potencial gravitacional (ψ_g) (distância z , em cm), permite a obtenção do potencial hidráulico (ψ_h), com o qual se visualiza o movimento da água na forma líquida, no elemento de volume considerado.

Em resumo, o potencial hidráulico é a combinação de potenciais que atuam como força propulsora no fluxo de água no solo.

3.4.2. Condutividade hidráulica

Para o cálculo da condutividade hidráulica do solo à profundidade de 100 cm, a partir das leituras dos tensiômetros, utilizaram-se a curva característica e a função $K(\theta)$, obtidas a campo, no mesmo local onde se desenvolveu o presente experimento, por PREVEDELLO (1987). A curva característica pode ser vista na Figura 6 e a relação entre a condutividade hidráulica e a umidade volumétrica do solo (função $K(\theta)$) constitui-se na equação (4), abaixo:

$$\ln K(\theta) = -61,9 + 145,9 \theta \quad (r = 0,99) \quad (4)$$

obtida pelo referido autor pelo procedimento de HILLEL et alii (1972) de obtenção da função $K(\theta)$.

3.4.3. Dinâmica do nitrogênio e do potássio no perfil de solo

3.4.3.1. Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas às profundidades de 0-25, 25-50, 50-75, 75-100 e 100-125 cm, na linha central das sub-parcelas P-01, P-02, P-05 e P-06, durante o período cana-planta, e sub-parcelas P-01, P-02, P-03, P-04, P-05 e P-06 no período cana-soca.

As amostragens foram tomadas antes e após cada corte, a não ser nos períodos de baixa pluviosidade, quando o solo era amostrado mensalmente, substituindo, assim, as baterias de extratores de solução do solo que foram desativadas.

Empregou-se um trado de caneca de 2,5 polegadas de diâ-

Figura 6 - Curva característica $\psi_m \times \theta$ do solo em estudo.

metro interno, sendo que no solo amostrado, analisou-se o teor de N-total (%) e de potássio trocável (K^+ , em ppm).

3.4.3.2. Análise do N-total no solo

O teor (%) de N-total no solo foi determinado em um grama de terra fina seca ao ar (T.F.S.A.), pelo método semi-micro-Kjeldahl, de acordo com a técnica descrita por BREMNER (1965a).

A quantidade de nitrogênio total contido em cada camada do perfil de solo, em cada época de amostragem, foi calculada pelas seguintes expressões:

$$\frac{\text{g N}}{100 \text{ g solo}} \times \rho = \frac{\text{g N}}{\text{cm}^3 \text{ solo}} \quad (5)$$

onde: ρ = densidade global do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

$$\frac{\text{g N}}{\text{cm}^3 \text{ solo}} \times z = \frac{\text{g N}}{\text{cm}^2 \text{ solo}} \quad (6)$$

onde: z = profundidade do solo (cm).

3.4.3.3. Análise de potássio trocável no solo

O potássio trocável foi extraído das amostras de solo, segundo metodologia de PRATT (1965), determinando-se, posteriormente, o teor de K^+ (ppm) em um fotômetro de chama (B-262) da Micronal, pertencente à Seção de Radioquímica e Química Analítica do CENA/USP.

A quantidade de potássio trocável contido em cada camada do perfil de solo, nas diversas épocas de amostragem, foi calculada pelas seguintes expressões:

$$\frac{\text{g K}}{100 \text{ g solo}} \times \rho = \frac{\text{g K}}{\text{cm}^3 \text{ solo}} \quad (7)$$

onde: ρ = densidade global do solo ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

$$\frac{\text{g K}}{\text{cm}^3 \text{ solo}} \times z = \frac{\text{g K}}{\text{cm}^2 \text{ solo}} \quad (8)$$

onde: z = profundidade do solo (cm).

3.4.4. Dinâmica do nitrogênio e do potássio na solução do solo

3.4.4.1. Amostragem da solução do solo

Com o intuito de avaliar a dinâmica do nitrogênio e do potássio no perfil do solo e possíveis perdas destes nutrientes por lixiviação, procedeu-se à extração da solução do solo, às profundidades de 25, 50, 75, 100 e 125 cm.

As amostras de solução do solo foram obtidas aplicando-se vácuo ao sistema de extratores, equivalente a -0,75 atm. Dependendo do estado de umidade do solo em contato com a cápsula porosa, a solução se move para o interior da cápsula, em resposta ao gradiente de tensão parede da cápsula-matriz do solo. Desconectada a fonte de vácuo, a solução acumulada na cápsula desloca-se para o frasco coletor através do capilar de nylon por diferença de pressão.

O sistema era acionado semanalmente, com vácuo de - 0,75 atm, durante cinco minutos, após o que, o sistema extrator permanecia vedado por 24 horas.

3.4.4.3. Análise do N-NO_3^- na solução do solo

A concentração (ppm) de N-NO_3^- nas amostras de solução do solo foi determinada segundo o método de BREMNER (1965a), pelo qual todo o nitrogênio combinado presente na solução é reduzido a amônia (N-NH_3), usando liga de Devarda. Esta é destilada pela ação do óxido de magnésio, sendo recebida em ácido sulfúrico, seguida de titulação com soda.

Nesta solução final, foi analisada a composição isotópica (^{14}N - ^{15}N) do N na solução do solo, de acordo com o método de Rittenberg (1946)¹, citado por TRIVELIN et alii (1973). A composição isotópica do N_2 produzido foi determinada por espectrometria de massa, de acordo com a metodologia de BREMNER (1965b). Para tal, utilizou-se o espectrômetro de massa Atlas-Variant, modelo CH-4, pertencente ao CENA/USP.

A percentagem de átomos de ^{15}N foi calculada pela expressão:

$$\text{átomos \% } ^{15}\text{N} = \frac{\text{át. } ^{14}\text{N}}{(\text{át. } ^{14}\text{N} + \text{át. } ^{15}\text{N})} \times 100 \quad (9)$$

O cálculo percentual do excesso de átomos de ^{15}N é obtido subtraindo da percentagem de ^{15}N calculada na amostra (equação 11), o valor da abundância natural do isótopo no meio, que, no caso da solução do solo, foi de 0,366% de átomos de ^{15}N .

Nas amostras do fertilizante marcado (uréia), a determinação da percentagem de átomos de ^{15}N foi feita através da técnica desenvolvida por RITTENBERG (1946), modificada (IAEA, 1976), encontrando-se os seguintes valores:

¹RITTENBERG, G.D. Preparation and measurements of the isotopic tracers.
Ann. Arbor., Wilson, D.W., ed., 1946, 31p.

- fertilizante usado na cana-planta: 3,63 ($\pm 0,0094516$) át. % de ^{15}N em excesso;
- fertilizante usado na cana-soca: 4,73 ($\pm 0,06$) át. % de ^{15}N em excesso.

3.4.4.3. Análise do K^+ na solução do solo

Quanto à análise de potássio trocável, a solução extraída do solo tinha sua concentração (ppm) prontamente determinada no fotômetro de chama, segundo RICH (1965).

3.5. Cálculo das perdas de N-NO_3^- por lixiviação

Assumindo que todo o nitrogênio que se move no perfil de solo seja transportado por fluxo de massa, sua perda por drenagem profunda a 100 cm pode ser estimada pela equação (10):

$$q_{(\text{NO}_3^-)} = q_L \cdot \text{NO}_3^-_L \quad (10)$$

onde: $q_{(\text{NO}_3^-)}$ = fluxo de N-NO_3^- na profundidade $L = 100$ cm;

q_L = fluxo de água na profundidade $L = 100$ cm.

$(\text{NO}_3^-)_L$ = concentração de N-NO_3^- na solução do solo, obtida nas mesmas condições de tempo e profundidade.

3.6. Cálculo das perdas de potássio por lixiviação

Da mesma maneira que para o N-NO_3^- , o fluxo de potássio trocável a 100 cm de profundidade no perfil do solo foi calculado pela equação (11), reescrita abaixo:

$$q_{(\text{K}^+)} = q_L \cdot K_L^+ \quad (11)$$

onde: $q_{(\text{K}^+)}$ = fluxo de potássio na profundidade $L = 100$ cm;

q_L = fluxo de água na profundidade $L = 100$ cm;

K_L^+ = concentração de potássio na solução do solo, obtida nas mesmas condições de tempo e profundidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analizou-se o comportamento do nitrogênio e do potássio no solo e na solução do solo, em função da profundidade e do tempo, e a quantificação da dinâmica destes elementos no perfil do solo, para a cana-planta e a cana-soca.

Quanto à extração de amostras de solução do solo, alguns imprevistos ocorreram, dificultando a observância dos intervalos regulares de coletas de dados. A alta pluviosidade no período de outubro de 1982 a fevereiro de 1983 (1171,1 mm) atrasou a instalação dos tensiômetros e extratores de solução do solo em relação ao plantio, conforme se observa na Tabela 4.

Aos 254 D.A.P., intensa precipitação de granizo levou ao acamamento da cana-planta, o que antecipou o seu corte em cerca de três meses em relação ao prazo previsto. A cana-planta foi colhida, portanto, aos 280 D.A.P.

O período de desenvolvimento da cana-soca, desde o corte da cana-planta (281 a 658 D.A.P.) não contou com um alto índice de pluviosidade, alcançando 869,9 mm. A cana-planta, em seu período de desenvolvimento (1 a 280 D.A.P.), recebeu precipitação equivalente a 2088,9 mm.

Dessa forma, o período cana-planta não alcançou o fi-

nal do ciclo devido ao acamamento das plantas. Em alguns dias, a intensa pluviosidade prejudicou a coleta de dados.

No período cana-soca, devido ao baixo índice pluviométrico, e conseqüentemente, à baixa umidade do solo, nem sempre foi possível extrair solução do solo para as análises de N-NO_3^- e K^+ nos intervalos pré-estipulados. A partir de 404 D.A.P. foram retiradas amostras de solo e nelas analisadas os teores de N-total e K^+ .

Quanto às análises isotópicas para ^{15}N , tanto nas amostras de solo quanto nas amostras de solução do solo não se encontrou quantidade mínima suficiente de nitrogênio para que fossem realizadas. Quando a análise pôde ser realizada, os resultados ficaram bastante próximos da abundância natural.

4.1. Nitrogênio total no solo

As Tabelas 1 a 6 do Apêndice apresentam os resultados de nitrogênio total ao longo do perfil do solo, nas diversas épocas de amostragem, para as diversas parcelas do experimento.

A partir dos dados de concentração (g N. cm^{-3} solo) de nitrogênio constantes nestas tabelas, construíram-se os perfis de concentração de nitrogênio total para cada época de amostragem.

Analisando-se, inicialmente, os dados referentes à primeira fase do experimento (161 e 342 D.A.P.) observa-se, a despeito da variabilidade espacial que deve influenciar muito os resultados, que, durante este período, para o tratamento que recebeu adubação nitroge-

nada ($P_{1,2}$), houve uma diminuição da concentração de nitrogênio do solo até aproximadamente 65 cm de profundidade (Figura 7). Esta diminuição deve, provavelmente, ter sido causada pela absorção de nitrogênio pela cultura de cana-de-açúcar do 161º D.A.P. ao 280º D.A.P., data da colheita (Tabela 4). Em termos de variação de armazenagem de nitrogênio no período, isto corresponderia, aproximadamente, a $-0,02283 \text{ g N.cm}^{-2}$ solo ou -2283 Kg N/ha até a profundidade de 65 cm.

Para o tratamento que recebeu apenas vinhaça (P_5), embora não de forma exatamente igual, o comportamento dos perfis de concentração de nitrogênio foi semelhante ao tratamento com adubo nitrogenado. Neste caso (Figura 8), observa-se uma extração pela cultura a uma profundidade maior ($\approx 75 \text{ cm}$) e uma tendência de um possível maior carreamento de nitrogênio abaixo desta profundidade, em função do alto valor ($1,623 \cdot 10^{-3} \text{ g.cm}^{-3}$) obtido para a camada 75-100cm (ver Tabela 2 do Apêndice). Até a profundidade de 75cm, a absorção ou diminuição de nitrogênio no período 161-342 D.A.P. foi da ordem de 2595 Kg/ha .

Com relação ao tratamento testemunha para a cana-planta (P_6), supõe-se que há um maior aprofundamento do sistema radicular da cultura com maior extração de nitrogênio de profundidades maiores (Figura 9), situação que, de fato, parece ocorrer com a maioria das culturas agrícolas, face à menor disponibilidade de nitrogênio nas camadas superficiais do perfil do solo, em relação aos tratamentos que recebem nitrogênio. O pequeno aumento de nitrogênio na camada 0-30 cm, no período 161-342 D.A.P., que se nota na Figura 9, é difícil de ser explicado e pode ser atribuído a erros de amostragem, de análise e à variabilidade espacial do solo.

Analisando-se os perfis de concentração de nitrogênio total no solo para cana-soca (segunda fase do experimento), nos diversos períodos, para o tratamento com adubação nitrogenada nas parcelas que também receberam adubo nitrogenado por ocasião do plantio ($P_{1,2}$), verifica-se, claramente (Figura 7) que no 463º D.A.P., isto é, 144 dias após a segunda adubação das referidas parcelas (cana-soca), a concentração de nitrogênio total decresce de maneira aproximadamente linear com a profundidade. Em relação às amostragens anteriores (161 e 342 D.A.P.), nota-se que, em termos médios (Figura 7) houve uma diminuição da concentração de nitrogênio ao longo de todo o perfil de solo (0 - 125 cm), apesar da adubação no 349º D.A.P.

Especificamente, entre 161 e 463 D.A.P., esta diminuição foi aproximadamente proporcional em todas as profundidades. Isto deve estar revelando, novamente, extração de nitrogênio pela cultura e possíveis perdas por lixiviação que poderão ser computadas mais adiante quando da análise da solução do solo.

Nas amostragens seguintes, isto é, aos 504, 540 e 585 D.A.P., nota-se, de uma maneira geral, um aumento na concentração de nitrogênio total, em relação aos valores do 463º D.A.P. Isto pode ser explicado pela incorporação de nitrogênio através das folhas que foram deixadas no terreno por ocasião da colheita da cana-planta, no 280º D.A.P. (não houve queima da cana nesta colheita). É por isso que no 342º D.A.P. a concentração de nitrogênio abaixo da profundidade de 30 cm ainda se mostrava maior que no 463º D.A.P. Provavelmente, as palhas de cana deixadas sobre a superfície do solo ainda não haviam sido decompostas, com conseqüente não incorporação do nitrogê-

nio orgânico no solo e daí também a sua não mineralização. Estes fatos devem ter ocorrido após o 463º D.A.P., uma vez que nos períodos que se seguiram a esta data, além do aumento da concentração do nitrogênio total ao longo do perfil, percebe-se certa mobilidade descendente do nitrogênio, de acordo com os perfis de concentração.

Ainda para a cana-soca, no tratamento P_5 , o mesmo fenômeno não ocorreu na mesma época, uma vez que já aos 463º D.A.P., o solo estava armazenando mais nitrogênio total que aos 342 D.A.P. (Figura 8). Isto é, parece ter ocorrido uma antecipação no processo de decomposição da matéria orgânica da palha resultante do primeiro corte. Daí para frente, apesar da dificuldade de se poder bem interpretar os resultados, em termos gerais, o comportamento do nitrogênio parece não mostrar muita diferença em relação ao tratamento $P_{1,2}$.

Considerando em termos globais, para todo o perfil, a variação de armazenagem de nitrogênio no período 342 - 585 D.A.P., ou seja, no período compreendido entre o 62º dia após a colheita da cana-planta e 73º dia antes do corte da cana-soca (246 dias), nota-se que para o tratamento que só recebeu adubação nitrogenada ($P_{1,2}$), esta variação foi da ordem de -1080 Kg N/ha. Neste período, uma quantidade da ordem de 1 tonelada de nitrogênio deixa o perfil de 0 - 125 cm, ou por absorção pela cultura ou por outras perdas.

Entretanto, para o tratamento P_5 , que recebeu adubação apenas na soca (por ocasião do plantio recebeu vinhaça com dosagem equivalente de potássio), esta variação de armazenagem já foi da ordem de -3371 Kg N/ha. Ou seja, praticamente três vezes mais que o tratamento $P_{1,2}$.

Lembrando que estes números (1080 e 3371 Kg N/ha) tratam de uma diferença, o que até certo ponto pode atenuar o aspecto da variabilidade do terreno na sua interpretação comparativa, este maior esgotamento do solo (-3371 Kg N/ha) no tratamento P_5 poderia ser interpretado como algum tipo de influência da vinhaça na "fixação" do nitrogênio no solo. Apesar de nas duas épocas (342 e 585 D.A.P.) o solo do tratamento $P_{1,2}$ estar armazenando sempre mais nitrogênio total (3370 e 5660 Kg N/ha, aos 342 e aos 585 D.A.P, respectivamente) do que o solo do tratamento P_5 , que mostra que, de fato, a variabilidade espacial deve existir.

Deve ser enfatizado que o nitrogênio adicionado com o adubo ou com a vinhaça pouca diferença traz, face à grande armazenagem que o perfil do solo em estudo possui deste elemento.

Usando o mesmo raciocínio para o tratamento P_6 , no período 342 - 585 D.A.P., o resultado para a variação de armazenagem de N-total até a profundidade de 125 cm foi ao redor de -1780 Kg N/ha. Um valor intermediário entre $P_{1,2}$ e P_5 , o que parece comprovar o efeito da vinhaça discutido no parágrafo anterior. O valor menor no tratamento P_6 (-1780 Kg N/ha) em relação ao tratamento P_5 (-3370 Kg N/ha) talvez possa ser devido ao fato de no P_6 o adubo nitrogenado e a vinhaça terem sido colocados na mesma época, o que pode ter retardado o possível efeito da vinhaça.

Com relação ao aumento da concentração de nitrogênio total aos 504 e 540 D.A.P., que também ocorreu no tratamento P_6 (Figura 9), a mesma explicação que foi dada para o tratamento P_5 permanece válida, uma vez que, neste aspecto, os dois tratamentos se mos-

traram semelhantes. Há diferenças quanto às formas dos perfis de concentração, mas, em termos gerais, o comportamento foi semelhante.

Para o tratamento $P_{3,4}$, existente só na cana-soca e que corresponde à sua adubação tradicional, também foram elaborados os perfis de concentração de nitrogênio total do solo que podem ser vistos na Figura 10. Neste tratamento, ao contrário dos outros ($P_{1,2}$, P_5 e P_6), aos 342 D.A.P. (primeira amostragem de solo), até a profundidade aproximada de 80 cm, a concentração de nitrogênio é maior do que na época seguinte (463 D.A.P.). Isto pode ser interpretado como absorção pela cultura, voltando a subir novamente aos 504 D.A.P. pela incorporação de nitrogênio orgânico a partir das palhas da cana-planta e cana-soca, como aconteceu nos outros casos.

Nas amostragens seguintes, percebe-se novamente a absorção pelas plantas e outras pequenas alterações nas formas dos perfis de concentração de nitrogênio. Em termos de variação de armazenagem até a profundidade de 125 cm no período 342-585 D.A.P., como se fez para os outros tratamentos, o valor que se encontra é de -1730 Kg N/ha. Este valor é bem semelhante ao do tratamento P_6 , que recebeu na mesma época (349 D.A.P.) igual quantidade de adubo nitrogenado, além da vinhaça aos 343 D.A.P. Ou seja, neste caso, a vinhaça parece não ter interferido na absorção de nitrogênio pela cultura da cana-soca.

Figura 7 - Concentração de nitrogênio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{1,2}$, nos períodos cana-planta e cana-soca.

Figura 8 - Concentração de nitrogênio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_5 , nos períodos cana - - planta e cana-soca.

Figura 9 - Concentração de nitrogênio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_6 , nos períodos cana-planta e cana-soca.

Figura 10 - Concentração de nitrogênio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{3,4}$, no período cana-soca.

4.2. Potássio no solo

Com as amostras coletadas para as quais se determinou a porcentagem de nitrogênio total, determinou-se também o potássio. Os resultados estão dispostos, nas diversas épocas de amostragem, nas Tabelas 7 a 12 do Apêndice e representados na forma de perfis de concentração de potássio (g K/cm^3 solo) nas Figuras 11 a 14.

Analizando-se estas figuras, verifica-se, de uma forma geral, para todos os tratamentos, uma maior concentração de potássio nas camadas superficiais do solo.

Estes resultados estão de acordo com SILVA & RITCHEY (1982b), pois, devido à lavagem do nutriente nas folhas e colmos pela água das chuvas este tende a permanecer nas camadas superficiais do solo. Sendo menor a mobilidade do potássio no solo, em relação ao nitrogênio, sua tendência é permanecer próximo à superfície do solo, onde é mais intensa a atividade de absorção pelas raízes.

Analizando-se os dados referentes à primeira fase do experimento (161 e 342 D.A.P.), nas parcelas $P_{(1,2)}$, que receberam 100 Kg de $\text{K}_2\text{O/ha}$ no período cana-planta como cloreto de potássio, observa-se um decréscimo gradual da concentração de potássio (g K/cm^3 solo) em relação à profundidade e ao tempo de amostragem.

Observando a Figura 11, nota-se que as curvas de concentração de potássio a 161 e 342 D.A.P. seguem a mesma tendência. Apenas na camada de 0-25 cm, nota-se uma menor concentração do nutriente, devido provavelmente à maior absorção pela planta. Segundo SAMPAIO et alii (1984), a absorção mais intensa ocorre nesta região (de 0-20 cm), onde se concentra cerca de 60% do sistema radicular da

cultura.

Na parcela P_5 , que recebeu potássio na forma de vinhaça, na primeira fase do experimento, observou-se até aproximadamente 43 cm de profundidade, uma maior concentração do nutriente a 342 D.A.P., ou seja, 62 dias após o corte da cana-planta. Observa-se também que a parcela P_5 , em relação às parcelas $P_{(1,2)}$, apresenta, em todas as profundidades, concentrações muito menores de potássio. Os conteúdos de potássio incorporados ao solo da parcela P_5 pela vinhaça, e o incorporado às parcelas $P_{1,2}$ pelo fertilizante, foram similares. Não se sabe explicar, ao certo, o que pode ter ocorrido. Quanto a maior concentração de potássio após o corte da cana-planta, pode ser explicada pela deposição de folhas durante a fase final da primeira parte do experimento e à alta pluviosidade na época (1920 mm de outubro de 1982 a maio de 1983). Convém acrescentar que, devido, a forte temporal, a parcela experimental acamou, sendo cortada após 26 dias. Neste período, grande conteúdo de potássio pode ter se mobilizado da planta para os primeiros volumes do perfil do solo (≈ 43 centímetros).

Na parcela $P_{1,2}$, entre 161 e 342 D.A.P., houve uma variação de 142,21 Kg K/ha, e é de se supor que este tenha sido absorvido pelas plantas.

Na parcela P_5 , entre 161 e 342 D.A.P., considerando-se todo o perfil, houve um acréscimo de 375,15 Kg K/ha (Figura 12).

A parcela P_6 , que recebeu apenas água na primeira fase do experimento, apresentou valores de concentração de potássio bem inferiores aos dos outros tratamentos. Entretanto, como o conteúdo

inicial de potássio no solo era um valor elevado ($\approx 687,4$ Kg K/ha de 0 a 25 cm de profundidade), a planta não deve ter sofrido deficiências deste nutriente. No período de 161 a 342 D.A.P., em todo o perfil, houve um acréscimo muito pequeno de potássio, da ordem de 32,78 Kg/ha.

Já nas parcelas $P_{3,4}$, que receberam a mesma adubação N-P-K das parcelas $P_{1,2}$, o perfil de concentração de potássio aos 342 D.A.P. apresentou tendência semelhante, mas os valores foram menores. Na mesma época, nas parcelas $P_{1,2}$, foram armazenados 1632,5 Kg K/ha e nas parcelas $P_{3,4}$, 853,3 Kg K/ha. Estas diferenças podem ser devidas à variabilidade espacial que deve influenciar muito os resultados.

Na segunda fase do experimento, as parcelas $P_{1,2}$ e $P_{3,4}$ receberam a mesma quantidade de fertilizante potássico (90 Kg de K_2O /ha). No entanto, analisando as figuras 11 e 14, observam-se diferenças na concentração de potássio no perfil do solo. Aos 463 D.A.P., ou seja, 114 dias após adubação da cana-soca, a parcela $P_{3,4}$ estava armazenando 192 Kg de K/ha a mais do que a parcela $P_{1,2}$. Esta tendência da parcela $P_{3,4}$ armazenar mais K do que a parcela $P_{1,2}$ ocorreu até o final do experimento.

Comparando a variação de armazenagem de potássio no período de 342 a 585 D.A.P. para as duas parcelas, observou-se esta variação foi da ordem de 938,15 Kg de K/ha na parcela $P_{1,2}$ e de 195,74 Kg de K/ha na parcela $P_{3,4}$. Apesar da parcela $P_{1,2}$ estar armazenando mais potássio aos 342 D.A.P. em relação à parcela $P_{3,4}$ ($\approx 827,5$ Kg de K/ha), isto não ocorre no final do experimento, aos 585 D.A.P. ($\approx 85,1$ Kg de K/ha).

Figura 11 - Concentração de potássio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{1,2}$, nos períodos cana-planta e cana-soca.

Figura 12 - Concentração de potássio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_5 , nos períodos cana-planta e cana-soca.

Figura 13 - Concentração de potássio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento P_6 , nos períodos cana-plant e cana-soca.

Figura 14 - Concentração de potássio no solo, às diferentes profundidades, para o tratamento $P_{3,4}$, no período cana-soca.

4.3. Drenagem profunda e dos íons NO_3^- e K^+ à profundidade de 100 cm

Com os dados de potencial matricial (ψ_m), calculados a partir das leituras tensiométricas e da equação (3), estimou-se a umidade volumétrica do solo (θ) para cada período considerado, por meio do gráfico $\psi_m \times \theta$ da Figura 6. Estes valores encontram-se na Tabela 7.

A condutividade hidráulica foi calculada pela equação (4) e pelos dados de θ da Tabela 7. A partir da estimativa da condutividade hidráulica, calculou-se a drenagem profunda a 100 cm no perfil do solo, utilizando-se a equação (2). Os valores de condutividade hidráulica e drenagem profunda ($z = 100$ cm) encontram-se nas Tabelas 8 (médias mensais) e 9 (médias dos decêndios).

Seguindo a metodologia descrita no capítulo "Material e Métodos", calcularam-se, a partir dos fluxos de água e das concentrações de N-NO_3^- e K^+ , à profundidade de 100 cm, os fluxos mensais destes íons, cujos resultados encontram-se na Tabela 10.

Observa-se, pelos dados de drenagem (Tabelas 8 e 9) que no período de março de 1983 a março de 1984 sempre houve, todo mês, um pouco de drenagem, mas foi muito pequena. Tanto é assim, que considerando o período todo, dos 1618,4 mm de precipitação, apenas 3,3 mm passaram abaixo da profundidade de 100 cm de solo.

Apesar da baixa drenagem profunda em $z = 100$ cm, mesmo assim os íons K^+ e NO_3^- foram carregados para baixo desta profundidade (Tabela 10) e com muito maior intensidade o NO_3^- , como era de se esperar.

Analisando inicialmente a drenagem de K^+ no período

como um todo, o tratamento que apresentou maior lixiviação deste íon foi o $P_{3,4}$ (85 g/ha.ano). Entretanto, como este tratamento pertence só à soca, pode-se, para fins de comparação, dobrar este valor para 170 g/ha.ano. A seguir, vem o tratamento $P_{1,2}$ com 24,5 g/ha.ano, depois o P_5 , com 18 g/ha.ano e, finalmente, o P_6 , com 11,5 g/ha.ano.

Independente dos tratamentos que, provavelmente, não devem ter influido nesta drenagem e também porque o delineamento experimental utilizado não permite uma análise estatística pode-se dizer que, em termos médios, houve uma drenagem de potássio no período de março de 1983 a março de 1984, a qual variou de 11,5 a 170 g/ha.

As mesmas considerações podem ser feitas com relação à drenagem do NO_3^- no período, à profundidade de 100 cm, mas com valores, embora pequenos, muito maiores que os do íon potássio. No caso do NO_3^- também no tratamento $P_{3,4}$ foi onde houve a maior drenagem (556 g/ha) seguido do $P_{1,2}$ (474 g/ha), depois o P_5 (242 g/ha) e, finalmente, o P_6 com 154 g/ha, resultando, portanto, numa drenagem de NO_3^- que variou de 154 a 556 g/ha no período de março de 1983 a março de 1984, à profundidade de 100 cm de solo.

Tabela 7 - Valores médios mensais do potencial matricial (ψ_m) e da umidade volumétrica do solo (θ).

Mês	ψ_m (cm H ₂ O)	θ (cm ³ .cm ⁻³)
março/1983	-112,28	0,3710
abril/1983	-118,64	0,3703
maio/1983	-115,71	0,3706
junho/1983	-	-
julho/1983	-	-
agosto/1983	-96,44	0,3740
setembro/1983	-73,20	0,3793
outubro/1983	-93,37	0,3747
novembro/1983	-124,59	0,3697
dezembro/1983	-122,61	0,3700
janeiro/1984	-154,95	0,3657
fevereiro/1984	-156,10	0,3653

Tabela 8 - Drenagem profunda (D) a 100 cm de profundidade, calculada a partir dos valores médios mensais de umidade (θ), condutividade hidráulica (K) e gradiente de potencial hidráulico (g_d).

Mês	$\bar{\theta}$	P (mm)	$\bar{K}$ (cm/dia)	$\bar{g}_d$	D (mm)
março/1983	0,3710	207,5	0,0004217	1,96	0,26
abril/1983	0,3703	189,5	0,0003808	1,54	0,18
maio/1983	0,3706	334,7	0,0003978	2,25	0,28
junho/1983	-	174,0	-	-	-
julho/1983	-	24,0	-	-	-
agosto/1983	0,3740	2,2	0,0006533	2,79	0,56
setembro/1983	0,3793	197,4	0,0014157	2,20	0,93
outubro/1983	0,3747	129,1	0,0007236	2,57	0,58
novembro/1983	0,3697	88,4	0,0003488	3,05	0,32
dezembro/1983	0,3700	161,4	0,0003644	1,08	0,12
janeiro/1984	0,3657	91,5	0,0001946	1,36	0,08
fevereiro/1984	0,3653	18,7	0,0001836	0,07	0,004

Tabela 9 - Drenagem profunda (D) a 100 cm, calculada a partir dos valores médios decenduais de Θ , K e gradiente de potencial hidráulico (Gd).

Dias (D.A.P.)	P (mm)	$\bar{\Theta}$ (cm^3/cm^3)	$\bar{\psi}_m$ ($\text{cm H}_2\text{O}$)	$\bar{K}$ (cm / dia)	Gd	q (cm / dia)	D_T (mm)
166 - 175	111,7	0,3743	-94,17	0,0006825	1,79	0,0012216	0,122
176 - 185	66,0	0,3687	-131,06	0,0003015	2,32	0,0006995	0,070
186 - 195	47,9	0,3710	-111,97	0,0004217	1,83	0,0007718	0,077
196 - 205	56,7	0,3683	-131,93	0,0002844	1,59	0,0004522	0,045
206 - 215	22,8	0,3670	-144,03	0,0002352	1,81	0,0004258	0,042
216 - 225	110,0	0,3770	-82,37	0,0010121	1,20	0,0012145	0,121
226 - 235	5,3	0,3693	-125,09	0,0003291	2,23	0,0007339	0,073
236 - 245	68,5	0,3697	-123,33	0,0003488	2,22	0,0007745	0,077
246 - 255	199,5	0,3763	-84,90	0,0009138	2,31	0,002111	0,211
256 - 265	222,4						
316 - 325	2,2	0,3690	-129,80	0,0003150	3,37	0,0010615	0,106
326 - 335	-	0,3733	-98,65	0,0005899	3,07	0,0018109	0,181
336 - 345	-	0,3793	-73,13	0,0014157	2,20	0,0031115	0,311
346 - 355	50,9	0,3790	-74,38	0,0013550	2,41	0,0032655	0,327
356 - 365	38,9	0,3773	-81,20	0,0010574	2,41	0,0025483	0,255
366 - 375	107,6	0,3807	-68,10	0,0017365	1,85	0,0032125	0,321
376 - 385	4,1	0,3740	-95,28	0,0006533	2,56	0,0016724	0,167
386 - 395	56,5	0,3727	-102,10	0,0005404	2,69	0,0014536	0,145
396 - 405	65,3	0,3770	-82,1	0,0010121	2,44	0,0024695	0,247
406 - 415	33,5	0,3713	-110,1	0,0004406	2,73	0,0012028	0,120
416 - 425	20,5	0,3693	-127,9	0,0003291	3,01	0,0009905	0,099
426 - 435	37,6	0,3687	-129,6	0,0003015	3,25	0,0009798	0,098
436 - 445	7,0	0,3627	-186,1	0,0001256	-9,39	-0,0011793	-0,118
446 - 455	46,7	0,3683	-135,4	0,0002844	1,38	0,0003924	0,039
456 - 465	46,9	0,3717	-109,4	0,0004670	2,19	0,0010227	0,102
466 - 475	78,9	0,3760	-87,4	0,0008747	2,42	0,0021167	0,212
476 - 485	2,3	0,3687	-131,9	0,0003015	2,32	0,0006994	0,070
486 - 495	17,6	0,3657	-157,3	0,0001946	-2,49	-0,0004845	-0,048
496 - 505	58,2	0,3667	-148,2	0,0002252	1,22	0,0002747	0,027

Tabela 10 - Concentração dos íons K^+ e NO_3^- (ppm) na solução do solo e respectivas drenagens, à profundidade de 100 cm ($mg\ ion / m^2\ solo$).

Mês	D (mm)	C _K (ppm)				D _K (mg K ⁺ / m ²)			
		P _{1,2}	P _{3,4}	P ₅	P ₆	P _{1,2}	P _{3,4}	P ₅	P ₆
março/1983	0,26	1,77	-	1,38	0,87	0,4602	-	0,3588	0,2262
abril/1983	0,18	1,00	-	0,84	0,40	0,1800	-	0,1512	0,0720
maio/1983	0,28	0,70	-	0,60	0,71	0,1960	-	0,1680	0,1988
junho/1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-
julho/1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-
agosto/1983	0,56	1,87	4,16	0,69	-	1,0472	2,3296	0,3864	-
setembro/1983	0,93	0,61	2,45	0,44	0,27	0,5673	2,2785	0,4092	0,2511
outubro/1983	0,58	-	4,34	0,57	0,50	-	2,5172	0,3306	0,2900
novembro/1983	0,32	-	0,95	-	-	-	0,3040	-	-
dezembro/1983	0,12	-	8,92	-	0,94	-	1,0704	-	0,1128
janeiro/1984	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-
fevereiro/1984	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-

(continua)

Tabela.10 (continuação) - Concentração dos íons K^+ e NO_3^- (ppm) na solução do solo e respectivas drenagens, à profundidade de 100 cm ($mg\ ion / m^2\ solo$).

Mês	D (mm)	$C_{NO_3^-}$ (ppm)						$D_{NO_3^-}$ ($mg\ NO_3^- / m^2$)					
		P _{1,2}	P _{3,4}	P ₅	P ₆	P _{1,2}	P _{3,4}	P ₅	P ₆	P _{1,2}	P _{3,4}	P ₅	P ₆
março/1983	0,26	13,94	-	10,56	2,70	3,6244	-	2,7456	0,7020				
abril/1-83	0,18	2,87	-	1,45	0,85	0,5166	-	0,2610	0,1530				
maio/1983	0,28	24,50	-	0,97	12,55	6,8600	-	0,2716	3,5140				
junho/1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
julho/1983	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
agosto/1983	0,56	35,23	25,88	17,78	-	19,7288	14,4928	9,9568	-				
setembro/1983	0,93	17,91	8,26	4,55	3,18	16,6563	7,6818	4,2315	2,9574				
outubro/1983	0,58	-	8,26	11,54	13,97	-	4,7908	6,6932	8,1026				
novembro/1983	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-				
dezembro/1983	0,12	-	6,39	-	-	-	0,7668	-	-				
janeiro/1984	0,08	-	1,29	-	-	-	0,1032	-	-				
fevereiro/1984	0,004	-	-	-	-	-	-	-	-				

5. CONCLUSÕES

As análises de N-total nas amostras de solo mostraram grande variabilidade quanto à armazenagem de nitrogênio ($\text{g N} / \text{cm}^2$ solo).

No tratamento P_5 (vinhaça na cana-planta e adubação ^{15}N -P-K na cana-soca), a variação de armazenagem de nitrogênio, no período de 342 a 585 D.A.P. foi três vezes maior do que nos tratamentos que não receberam vinhaça ($P_{1,2}$ e $P_{3,4}$).

Poderíamos interpretar este resultado como algum tipo de influência da vinhaça na "fixação" do nitrogênio no solo. Entretanto, o tratamento P_6 (testemunha na cana-planta e ^{15}N -P-vinhaça na cana-soca), apresentou variação de armazenagem de nitrogênio semelhante aos tratamentos $P_{1,2}$ e $P_{3,4}$. Talvez este resultado possa ser devido ao fato de que no tratamento P_6 o adubo nitrogenado e a vinhaça tenham sido incorporados na mesma época.

A variabilidade espacial, provavelmente, influenciou os resultados obtidos, não sendo possível uma conclusão definitiva quanto à armazenagem de nitrogênio no solo.

Aos 504 e 585 D.A.P. houve, de maneira geral, aumento na concentração de N-total nas amostras de solo em relação aos valores do 463º D.A.P. Tal resultado pode ser, provavelmente, expli-

cado pela incorporação de nitrogênio através das folhas em decomposição sobre o solo na colheita da cana-planta e mesmo durante o experimento. Estas folhas em decomposição incorporaram N-orgânico ao solo, o qual, sofrendo mineralização, movimentou-se no perfil do solo.

Quanto à armazenagem de potássio no solo, observou-se para todos os tratamentos uma maior concentração do elemento nas camadas superficiais do solo. Conclui-se que tal resultado seja devido à lavagem de potássio nas folhas e colmos da cana-de-açúcar pela água da chuva e à menor mobilidade do elemento no perfil do solo, em relação ao N-NO_3^- .

O sistema radicular da cana-de-açúcar, fasciculado e muito profundo, impediu drenagem de água no perfil do solo abaixo de 100 cm de profundidade. Dos 1618,4 mm de precipitação, cerca de 3,0 mm ultrapassaram $z = 100$ cm.

Em termos de drenagem de N-NO_3^- , no período de um ano (março de 1983 a março de 1984), à profundidade de 100 cm, os tratamentos que não receberam vinhaça sofreram maiores perdas. Provavelmente, a vinhaça inibiu a lixiviação do íon N-NO_3^- .

O potássio sofreu maiores perdas nos tratamentos que não receberam vinhaça, à profundidade de 100 cm, indicando a influência desta.

De maneira geral, a cana-de-açúcar mostrou alta eficiência de utilização dos fertilizantes nitrogenado e potássico, dada a pequena lixiviação destes íons abaixo de 100 cm de profundidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.R.; RANZANI, G.; VALSECHI, O. La vinasse dans l'agriculture.

Boletim do Instituto Zimotécnico, Piracicaba, (1): 1-21, 1950.

ALMEIDA, M.T.; VICTORIA, R.L.; CERRI, C.C. Destino do nitrogênio

aplicado $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ como complementação à vinhaça em um solo

ácido de Piracicaba, São Paulo. In: COLÓQUIO REGIONAL SOBRE MATÉRIA

ORGÂNICA DO SOLO, Piracicaba, 1982. Anais, São Paulo, PROMOCET,

1982. p. 193-196.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; LUISI, M.V.V.; ROSSIELLO, R.O.P.; VELLOSO, A.

C.X.; LEAL, J.R. Transformações do nitrogênio mineral em solo

podzólico vermelho-amarelo tratado com vinhaça. Pesq. agropec. bras.,

Brasília, 22(3): 249-256, maio, 1987.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; LEAL, J.R.; ROSSIELLO, R.O.P.

Denitrificação e imobilização de nitrogênio em solo tratado com

vinhaça. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7: 263-268, 1983.

ANJOS, J.T. & TEDESCO, M.J. Volatilização de amônia proveniente de dois

fertilizantes nitrogenados aplicados em solos cultivados.

Científica, Jaboticabal, 4: 49-55, 1976.

BALIGAR, V.C. Potassium uptake by plants, as characterized by root

density, species and K/Rb ratio. Plant and Soil, The Hague, 85: 43-53, 1985.

BARBER, S.A. Mechanism of potassium absorption by plants. In: KILMER, V.S.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C., ed. The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1968. p. 293-310.

BARBER, S.A. Mechanism of potassium absorption by plants. In: KILMER, V.S.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C., ed. The role of potassium in agriculture. 2a. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1972. p. 305-306.

BARBER, S.A. Influence of the plant root on ion movement in soil. In: CARSON, E.N. ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p. 525-564.

BARBER, S.A. Mecanismos de absorção de potássio pelas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 213-226.

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

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

BASSINELLO, A.I. Características agroindustriais de algumas variedades comerciais. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 87(4): 8-10, 1976.

- BERINGER, H. O potássio na produção das culturas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 163-175.
- BITTENCOURT, V.C.; FAGANELLO, B.F. ; SALATA, J.C. Eficiência da adubação nitrogenada em cana-de-açúcar (planta). STAB, Piracicaba, 5(1): 25-29, set.-out. 1986.
- BRASIL. Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas. Comissão de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1960. 634 p. (Boletim nº 12).
- BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. et alii, ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965a. 83: 1149-1178.
- BREMNER, J.M. Isotope ratio analysis of nitrogen in nitrogen-15 tracer investigation. In: BLACK, C.A. et alii, ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965b. 86: 1256-1286.
- BRIEGER, F. Observações sobre a distribuição de vinhaça ou caldo de destilaria no Estado de São Paulo. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 90: 23-30, 1977.
- BRINHOLI, O. Resistência à seca de variedades de cana-de-açúcar (Saccharum spp.). Piracicaba, 1975. 48 p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- CAMARGO, R. de. O desenvolvimento da flora microbiana nos solos tratados com vinhaça. Boletim do Instituto Zimotécnico, Piracicaba, 1954. 44 p. (Boletim nº 9).
- CAMBUIM, F.A. & CORDEIRO, D.A. Ação da vinhaça sobre pH, acidez total, acumulação e lixiviação de nutrientes em solo arenoso. STAB, Piracicaba, 4(4): 27-33, março-abril 1986.
- CATANI, R.A.; ARRUDA, H.C.; PELEGRINO, D.; BERGAMIN FILHO, H. Absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana-de-açúcar, Co 419, e o seu crescimento em função da idade. Anais da ESALQ, Piracicaba, 16: 167-190, 1959.
- CERVELLINI, A.; SALATI, E.; BARROS FERRAZ, E.S.; VILLA NOVA, N.A.; REICHARDT, K.; DECICO, A.; OMETTO, J.C.; PEDRO Jr., M.J. Análise dos dados meteorológicos de Piracicaba. Piracicaba, ESALQ/USP, 1973. 26 p. (Boletim Científico nº 36).
- CLAY, D.E.; CLAPP, C.E.; MOLINA, J.A.E.; LINDEN, D.R. Nitrogen-tillage-residue management. I. Simulating soil and plant behavior by the model NC5WAP. Plant and Soil, The Hague, 84: 67-77, 1985.
- CLEMENTS, H.F. Sugarcane nutrition and culture. Luncheon, Ind. Inst. Sug. Cane Res., 1959. 189 p.
- CLEMENTS, H.F. Sugarcane crop logging and crop control: principles and practices. Honolulu, University Press of Hawaii, 1980. 520 p.
- COPERSUCAR. Resultados obtidos pelo "Centro Técnico Agrônômico" na safra 83/84. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRÔNOMICA, 2, Piracicaba,

1984. Anais, São Paulo, COPERSUCAR, 1984. p. 416-423.
- DELWICHE, C.C. The nitrogen cycle. Scient. Am., New York, 233: 136-146, 1970.
- DIEST, A. van. Factors affecting the availability of potassium in soils. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11, Bern, 1978. Proceedings: Potassium Research - Review and Trends. Bern, International Potash Institute, 1979. p. 75-97.
- ELLINGTON, C.P. The production and use of potassium. In: Potassium for agriculture - A situation analysis. Atlanta, Potash & Phosphate Institute, 1980. p. 3-9.
- 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, São Paulo, Livros Técnicos e Científicos e EDUSP, 1975. p. 286-324.
- ESPIRONELO, A. Adubação da cana-de-açúcar. Campinas, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1979. 34 p. (Boletim Técnico nº 118).
- E.U.A. - U.S.D.A. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification to making and interpreting soil surveys. Washington, Agricultural Handbook nº 436, 1975. 754 p.

FRANCO, C.M. & MEDINA, H.P. Arrastamento de potássio e fósforo pela água de infiltração do solo. Bragantia, Campinas, 19: LXXIII-LXXVI, 1960.

GIANELLO, C. & MIELNICZUK, J. Características químicas e físicas de solo que afetam a absorção de potássio por plantas de milho. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 5: 109-114, 1981.

HILLEL, D.; KRENTOS, V.D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 114: 395-400, 1972.

I.A.E.A. - International Atomic Energy Agency. Fertilizer management practices of maize: results of experiments with isotopes. Vienna, 1970. 78 p. (Technical Report Series, nº 121).

I.A.E.A. - International Atomic Energy Agency. Tracer manual on crops and soils. Vienna, 1976. 277 p. (Technical Report Series, nº 171).

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

JACKSON, M.L. Analisis quimico de suelos. 3a. ed., Barcelona, Omega, 1976. 662 p.

KINJO, T. & PRATT, P.J. Nitrate adsorption: I - In some acid soils of Mexico and South America. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 35:

722-725, 1971.

KINJO, T.; KIEHL, E.J.; PRATT, P.J. Movimento do nitrato em colunas de terra de um latossolo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 106-109, 1978.

KOFOED, A.D. The potassium cycle in cropping systems. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 11, Bern, 1978. Proceedings: Potassium Research - Review and Trends. Bern, International Potash Institute, 1979. p. 435-449.

LEAL, J.R.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; ROSSIELLO, R.O.P. Potencial redox e pH: variações em um solo tratado com vinhaça. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 7: 257-261, 1983.

LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica do solo em condições de campo. Piracicaba, 1978. 113 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

LIBARDI, P.L. & REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 40-44, 1978.

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

LOPES, A.S. Mineralogia do potássio em solos do Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 51-65.

- MAGRO, J.A. Uso da vinhaça em cana-de-açúcar na Usina da Pedra - Serrana. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, 92: 40-48, 1978.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo, Ceres, 1976. p. 203-252.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola. Adubos e adubação. 3a. ed., São Paulo, Ceres, 1981. p. 31-95.
- MALAVOLTA, E. & CROCOMO, O.J. Funções do potássio nas plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 95-162.
- MARCOS, Z.Z. Morphologic and physical properties of fine-textured Oxisols, State of São Paulo. Columbus, 1971. 272 p. (Ph.D. thesis - Ohio State University).
- MENGEL, K. Fatores que afetam a demanda de potássio pelas culturas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 195-212.
- MENGEL, K. & VON BRAUNSCHWEIG, L.C. The effect of soil moisture upon the availability potassium and its influence on the growth of young maize plants (Zea mays L.). Soil Science, Madison, 114(2): 142-148, 1972.
- MIELNICZUK, J. ed. O potássio no solo. Piracicaba, Instituto da Potassa. 1978. 79 p. (Boletim Técnico nº 2).

MILLS, H.A.; BARKER, A.V.; MAYNARD, D.N. Ammonia volatilization from soils. Agronomy Journal, Madison, 66: 355-358, 1974.

MOUSTAFA, A.T.A. & KHADR, M.S. Fertilizer nitrogen leaching in relation to water regime and the fertilizer placement method. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES, Aix-en-Provence, 1983. Proceedings, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1983. p. 275-281.

MUNSON, R.D. Potassium availability and uptake. In: Potassium for agriculture - A situation analysis. Atlanta, Potash & Phosphate Institute, 1980. p. 28-66.

NELSON, W.L. Interactions of potassium with moisture and temperature. In: Potassium for agriculture - A situation analysis. Atlanta, Potash & Phosphate Institute, 1980. p. 108-122.

NG KEE KWONG, K.F. & DEVILLE, J. Nitrogen leaching from soils cropped with sugarcane under the humid tropical climate of Mauritius, Indian Ocean. Journal of Environmental Quality, Maryland, 13(3): 471-474, 1984.

NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W.; BARRADA, Y. Water and solute movement in field soils. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OF ISOTOPES AND RADIATION IN RESEARCH ON SOIL-PLANT RELATIONSHIPS, Colombo, 1978. Proceedings, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1979. p. 165-183.

NYE, P.H. Localized movement of potassium ions in soil. In: COLLOQUIUM

OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 9, Landshut, 1972. Proceedings: Potassium in Soil. Bern, International Potash Institute, 1972, p. 147-155.

ORLANDO FILHO, J. Nutrição e adubação potássica da cana-de-açúcar no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais, Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 393-419.

ORLANDO FILHO, J.; HAAG, H.P.; ZAMBELLO Jr., E. Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar, variedade CB 41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo. Boletim Técnico do PLANALSUCAR, Piracicaba, 2(1): 1-127, 1980.

PRATT, P.F. Potassium. In: BLACK, C.A. et alii, ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 1022-1030.

PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982. p. 177-194.

PREVEDELLO, C.L. Teoria do fluxo da água em solos não saturados: novos conceitos e aplicações. Piracicaba, 1987. 264 p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

RANZANI, G.; FREIRE, O.; KINJO, T. Carta de solos do município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, Piracicaba, ESALQ/USP, 1966. 85 p.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U.; CADIMA Z., A.

- Dinâmica da água em solo cultivado com milho. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 1-5, 1979a.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTORIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 17-20, 1979b.
- REYNOLDS, C.M. & WOLF, D.C. Effect of soil moisture and air relative humidity on ammonia volatilization from surface applied urea. Soil Science, Madison, 143(2): 144-152, 1987.
- RICH, C.I. Elemental analysis by flame photometry. In: BLACK, C.A. et alii, ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 849-865.
- RICHARDS, L.A. Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics, Minneapolis, 1: 318-333, 1931.
- RITCHEY, K.D., ed. O potássio nos Oxissolos e Ultissolos dos trópicos úmidos. Piracicaba, Instituto da Potassa, 1982. 67 p. (Boletim Técnico nº 7).
- RITTENBERG, D. The preparation of gass sample for mass-spectrometric analysis. In: WILSON, D.W., ed. Preparation and measure isotopic tracers. Ann Arbor, 1946. 31 p.
- RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Volatilização de amônia após emprego de uréia em diferentes doses e modos de aplicação. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 10: 37-43, 1986.

RUSCHEL, A.P. & VOSE, P.B. Nitrogen cycling in sugarcane. Plant and Soil, The Hague, 67: 139-146, 1982.

RUSSEL, A.E. & EWEL, J.J. Leaching from a tropical andept during big storms: a comparison of three methods. Soil Science, Madison, 139(2): 181-189, 1985.

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

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. Pesq. agropec. bras., Brasília, 19(9): 1103-1108, set. 1984.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; BETTANY, J. Dinâmica de nutrientes em cana-de-açúcar. I- Eficiência na utilização de uréia (^{15}N) em aplicação única ou parcelada. Pesq. agropec. bras., Brasília, 19(8): 943-949, ago. 1984.

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

SANTOS, G.A.; ROSSIELLO, R.O.P.; FERNANDES, M.S.; O'GRADY, P.C. Efeitos da vinhaça sobre o pH do solo, a germinação e o acúmulo de potássio em milho. Pesq. agropec. bras., Brasília, 16: 489-493, 1981.

SANZONOWICZ, C. & MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 9: 45-50, 1985.

- SCHROEDER, D. Relationships between soil potassium and the potassium nutrition of the plant. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 10, Budapest, 1974. Proceedings: Potassium Research and Agricultural Production. Bern, International Potash Institute, 1975. p. 53-63.
- SCOTTI, C.A. Variedades e viveiros de cana-de-açúcar. In: Recomendações técnicas para a cultura da cana-de-açúcar no Estado do Paraná. Londrina, Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1977. p. 29-32. (Circular nº 6).
- SILVA, J.E. da & RITCHEY, K.D. Adubação potássica em solos do Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, 1982. Anais. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1982a. p. 323-338.
- SILVA, J.E. da & RITCHEY, K.D. Acumulação diferencial de potássio em Oxisolos devido à lavagem do nutriente das plantas de milho para o solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 6: 183-188, 1982b.
- SOUZA, D.M.G. de; RITCHEY, K.D.; LOBATO, E.; GOEDERT, W.J. Potássio em solo de cerrado. II. Balanço no solo. R. bras. Ci. Solo, Campinas, 3: 33-36, 1979.
- STUTTE, C.A. & DA SILVA, P.R.F. Nitrogen volatilization from rice leaves. I. Effects of genotype and air temperature. Crop Science, Madison, 21: 596-600, jul.-ago., 1981.
- STUTTE, C.A. & WEILAND, R.T. Gaseous nitrogen loss and transpiration

of several crop and weed species. Crop Science, Madison, 4: 887-889, 1978.

STUTTE, C.A.; WEILAND, R.T.; BLEM, A.R. Gaseous nitrogen loss from soybean foliage. Agronomy Journal, Madison, 71: 95-97, 1979.

THENABADU, M.W. Isotope studies on loss of nitrogenous fertilizers from soils: a review. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OF ISOTOPES AND RADIATION IN RESEARCH ON SOIL-PLANT RELATIONSHIPS, Colombo, 1978. Proceedings, Vienna, International Atomic Energy Agency, 1979. p. 125-135.

THOMAS, G.W. Soil and climate factors which affect nutrient mobility. In: ENGESTAD, O.P., ed. Nutrient mobility in soils: accumulations and losses. Madison, Soil Science Society American, 1970. p. 1-21.

TRIVELIN, P.C.O.; SALATI, E.; MATSUI, E. Preparo de amostras para análise de ^{15}N por espectrometria de massa. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1973. 41 p. (Boletim Técnico nº 2).

VALDIVIA, V.S. Nitrogen gains and losses in sugarcane (Saccharum sp.) agroecosystems on the coast of Peru. Plant and Soil, The Hague, 67: 147-156, 1982.

VELLOSO, A.C.X.; NUNES, M.R.; LEAL, J.R. Efeito da vinhaça na lixiviação de nutrientes do solo. I. Nitrato e amônio. Pesq. agropec. bras., Brasília, 17(1): 51-55, jan. 1982.

VON UEXKUELL, H.R. Potassium nutrition of tropical crops. In: KILMER,

V.J.; YOUNTS, S.E.; BRADY, N.C., ed. The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1968. cap. 18, p. 385-421.

WAGENET, R.J.; BIGGAR, J.W.; NIELSEN, D.R. Tracing the transformations of urea fertilizer during leaching. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 41: 896-902, 1977.

WALLINGFORD, W. Functions of potassium in plants. In: Potassium for agriculture. Publ. by: Potash and Phosphate Institute, Atlanta, 1980. p. 10-27.

ZSOLDOS, F. Ammonium and nitrate ion uptake by plants. In: IAEA. Nitrogen-15 in soil-plant studies. Vienna, 1971, p. 81-89.

A P Ê N D I C E

Tabela 1 - Teor de nitrogênio total (%) (g/100 g solo), concentração de nitrogênio (g/cm³ solo) e armazenagem de nitrogênio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P_{1,2}, P_{3,4}, P₅ e P₆ aos 161 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (g/100g)	P.02 (g/100g)	P.12 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,186	0,000	0,186	0,0027900	0,0697500
25-50	1,52	0,128	0,000	0,128	0,0019456	0,0486400
50-75	1,44	0,118	0,000	0,118	0,0016992	0,0424800
75-100	1,33	0,069	0,000	0,069	0,0009177	0,0229425
100-125	1,23	0,067	0,000	0,067	0,0008241	0,0206025

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (g/100g)	P.04 (g/100g)	P.34 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000
25-50	1,52	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000
50-75	1,44	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000
75-100	1,33	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000
100-125	1,23	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)	P.06 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,151	0,0022650	0,0566250	0,128	0,0019200	0,0480000
25-50	1,52	0,102	0,0015504	0,0387600	0,086	0,0013072	0,0326800
50-75	1,44	0,080	0,0011520	0,0288000	0,126	0,0018144	0,0453600
75-100	1,33	0,080	0,0010640	0,0266000	0,074	0,0009842	0,0246050
100-125	1,23	0,095	0,0011685	0,0292125	0,060	0,0007380	0,0184500

Tabela 2 - Teor de nitrogênio total (%) (g/100 g solo), concentração de nitrogênio (g/cm³ solo) e armazenagem de nitrogênio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P.5 e P.6, aos 342 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (g/100g)	P.02 (g/100g)	P.12 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	(g/cm ²)
0-25	1,50	0,166	0,153	0,160	0,0023925	0,0598125
25-50	1,52	0,109	0,082	0,096	0,0014516	0,0362900
50-75	1,44	0,148	0,082	0,115	0,0016560	0,0414000
75-100	1,33	0,084	0,086	0,085	0,0011305	0,0282625
100-125	1,23	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (g/100g)	P.04 (g/100g)	P.34 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,144	0,129	0,137	0,0020475	0,0511875
25-50	1,52	0,146	0,187	0,167	0,0025308	0,0632700
50-75	1,44	0,117	0,088	0,103	0,0014760	0,0369000
75-100	1,33	0,054	0,081	0,068	0,0008978	0,0224438
100-125	1,23	0,000	0,000	0,000	0,0000000	0,0000000

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)	P.06 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,118	0,0017700	0,0442500	0,155	0,0023250	0,0581250
25-50	1,52	0,089	0,0013528	0,0338200	0,091	0,0013832	0,0345800
50-75	1,44	0,056	0,0008044	0,0201600	0,076	0,0010944	0,0273600
75-100	1,33	0,122	0,0016226	0,0405650	0,055	0,0007315	0,0182875
100-125	1,23	0,000	0,0000000	0,0000000	0,000	0,0000000	0,0000000

Tabela 3 - Teor de nitrogênio total (%) (g/100 g solo), concentração de nitrogênio (g/cm³ solo) e armazenagem de nitrogênio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P5 e P6, aos 463 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (g/100g)	P.02 (g/100g)	P.12 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,136	0,144	0,140	0,0021000	0,0525000
25-50	1,52	0,122	0,086	0,104	0,0015808	0,0395200
50-75	1,44	0,089	0,034	0,087	0,0012456	0,0311400
75-100	1,33	0,058	0,041	0,050	0,0006584	0,0164588
100-125	1,23	0,040	0,018	0,029	0,0003567	0,0089175

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (g/100g)	P.04 (g/100g)	P.34 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,145	0,174	0,160	0,0023925	0,0598125
25-50	1,52	0,065	0,142	0,104	0,0015732	0,0393300
50-75	1,44	0,058	0,108	0,083	0,0011952	0,0298800
75-100	1,33	0,063	0,083	0,073	0,0009709	0,0242725
100-125	1,23	0,034	0,136	0,085	0,0010455	0,0261375

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)	P.06 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,133	0,0019950	0,0498750	0,131	0,0019650	0,0491250
25-50	1,52	0,126	0,0019152	0,0478800	0,097	0,0014744	0,0368600
50-75	1,44	0,111	0,0015984	0,0399600	0,085	0,0012240	0,0306000
75-100	1,33	0,079	0,0010507	0,0262675	0,095	0,0012635	0,0315875
100-125	1,23	0,032	0,0003936	0,0098400	0,104	0,0012792	0,0319800

Tabela 4 - Teor de nitrogênio total (%) (g/100 g solo), concentração de nitrogênio (g/cm³ solo) e armazenagem de nitrogênio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P5 e P6, aos 504 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm3)	P.01 (g/100g)	P.02 (g/100g)	P.12 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm3)	z.Dg.C/100 (g/cm2)
0-25	1,50	0,080	0,086	0,083	0,0012450	0,0311250
25-50	1,52	0,153	0,163	0,158	0,0024016	0,0600400
50-75	1,44	0,157	0,140	0,149	0,0021384	0,0534600
75-100	1,33	0,090	0,077	0,084	0,0011106	0,0277638
100-125	1,23	0,072	0,116	0,094	0,0011562	0,0289050

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm3)	P.03 (g/100g)	P.04 (g/100g)	P.34 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm3)	z.Dg.C/100 (g/cm2)
0-25	1,50	0,062	0,088	0,075	0,0011250	0,0281250
25-50	1,52	0,140	0,138	0,139	0,0021128	0,0528200
50-75	1,44	0,078	0,270	0,174	0,0025056	0,0626400
75-100	1,33	0,118	0,109	0,114	0,0015096	0,0377388
100-125	1,23	0,116	0,136	0,126	0,0015498	0,0387450

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm3)	P.05 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm3)	z.Dg.C/100 (g/cm2)	P.06 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm3)	z.Dg.C/100 (g/cm2)
0-25	1,50	0,049	0,0007350	0,0183750	0,060	0,0009000	0,0225000
25-50	1,52	0,110	0,0016720	0,0418000	0,133	0,0020216	0,0505400
50-75	1,44	0,097	0,0013968	0,0349200	0,113	0,0016272	0,0406800
75-100	1,33	0,078	0,0010374	0,0259350	0,070	0,0009310	0,0232750
100-125	1,23	0,055	0,0006765	0,0169125	0,074	0,0009102	0,0227550

Tabela 5 - Teor de nitrogênio total (%) (g/100 g solo), concentração de nitrogênio (g/cm³ solo) e armazenagem de nitrogênio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P.5 e P.6, aos 540 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (g/100g)	P.02 (g/100g)	P.12 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,133	0,153	0,143	0,0021450	0,0536250
25-50	1,52	0,091	0,051	0,071	0,0010792	0,0269800
50-75	1,44	0,167	0,187	0,177	0,0025488	0,0637200
75-100	1,33	0,166	0,101	0,134	0,0017756	0,0443888
100-125	1,23	0,099	0,086	0,093	0,0011378	0,0284438

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (g/100g)	P.04 (g/100g)	P.34 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,065	0,077	0,071	0,0010650	0,0266250
25-50	1,52	0,097	0,119	0,108	0,0016416	0,0410400
50-75	1,44	0,000	0,169	0,085	0,0012168	0,0304200
75-100	1,33	0,095	0,181	0,138	0,0018354	0,0458850
100-125	1,23	0,079	0,086	0,083	0,0010148	0,0253688

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)	P.06 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,213	0,0031950	0,0798750	0,067	0,0010050	0,0251250
25-50	1,52	0,080	0,0012160	0,0304000	0,150	0,0022800	0,0570000
50-75	1,44	0,128	0,0018432	0,0460800	0,155	0,0022320	0,0558000
75-100	1,33	0,134	0,0017822	0,0445550	0,083	0,0011039	0,0275975
100-125	1,23	0,082	0,0010086	0,0252150	0,172	0,0021156	0,0528900

Tabela 6 - Teor de nitrogênio total (%) (g/100 g solo), concentração de nitrogênio (g/cm³ solo) e armazenagem de nitrogênio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P5 e P6, aos 585 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (g/100g)	P.02 (g/100g)	P.12 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,100	0,076	0,088	0,0013200	0,0330000
25-50	1,52	0,088	0,173	0,131	0,0019836	0,0495900
50-75	1,44	0,055	0,060	0,058	0,0008280	0,0207000
75-100	1,33	0,188	0,139	0,164	0,0021746	0,0543638
100-125	1,23	0,157	0,095	0,126	0,0015498	0,0387450

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (g/100g)	P.04 (g/100g)	P.34 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,083	0,112	0,098	0,0014625	0,0365625
25-50	1,52	0,059	0,112	0,086	0,0012996	0,0324900
50-75	1,44	0,067	0,160	0,114	0,0016344	0,0408600
75-100	1,33	0,178	0,138	0,158	0,0021014	0,0525350
100-125	1,23	0,102	0,142	0,122	0,0015006	0,0375150

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)	P.06 (g/100g)	Dg.C/100 (g/cm ³)	z.Dg.C/100 (g/cm ²)
0-25	1,50	0,056	0,0008400	0,0210000	0,090	0,0013500	0,0337500
25-50	1,52	0,074	0,0011248	0,0281200	0,092	0,0013984	0,0349600
50-75	1,44	0,059	0,0008496	0,0212400	0,115	0,0016560	0,0414000
75-100	1,33	0,108	0,0014364	0,0359100	0,062	0,0008246	0,0206150
100-125	1,23	0,109	0,0013407	0,0335175	0,079	0,0009717	0,0242925

Tabela 7 - Teor de potássio (mg/100 g solo), concentração de potássio (g/cm^3 solo) e armazenagem de potássio (g/cm^2 solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P.5 e P.6, aos 161 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.01 (mg/100g)	P.02 (mg/100g)	P.12 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	16,38	16,38	16,38	0,0002457	0,0061425
25-50	1,52	11,13	11,13	11,13	0,0001692	0,0042294
50-75	1,44	8,88	8,88	8,88	0,0001279	0,0031968
75-100	1,33	7,48	7,48	7,48	0,0000995	0,0024871
100-125	1,23	5,50	5,50	5,50	0,0000677	0,0016913

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.03 (mg/100g)	P.04 (mg/100g)	P.34 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000
25-50	1,52	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000
50-75	1,44	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000
75-100	1,33	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000
100-125	1,23	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.05 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)	P.06 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	8,52	0,0001278	0,0031950	7,36	0,0001104	0,0027600
25-50	1,52	4,04	0,0000614	0,0015352	3,63	0,0000552	0,0013794
50-75	1,44	3,05	0,0000439	0,0010980	1,43	0,0000206	0,0005148
75-100	1,33	1,12	0,0000149	0,0003724	1,24	0,0000165	0,0004123
100-125	1,23	1,05	0,0000129	0,0003229	1,36	0,0000167	0,0004182

Tabela 8 - Teor de potássio (mg/100 g solo), concentração de potássio (g/cm³ solo) e armazenagem de potássio (g/cm² solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P.5 e P.6, aos 342 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (mg/100g)	P.02 (mg/100g)	P.12 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)
0-25	1,50	10,70	13,13	11,92	0,0001787	0,0044681
25-50	1,52	7,84	11,55	9,70	0,0001474	0,0036841
50-75	1,44	5,21	10,27	7,74	0,0001115	0,0027864
75-100	1,33	2,95	9,84	6,40	0,0000851	0,0021263
100-125	1,23	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (mg/100g)	P.04 (mg/100g)	P.34 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)
0-25	1,50	10,70	10,27	10,49	0,0001573	0,0039319
25-50	1,52	3,31	3,95	3,63	0,0000552	0,0013794
50-75	1,44	2,21	1,60	1,91	0,0000274	0,0006858
75-100	1,33	1,46	1,22	1,34	0,0000178	0,0004456
100-125	1,23	0,00	0,00	0,00	0,0000000	0,0000000

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)	P.06 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)
0-25	1,50	13,70	0,0002055	0,0051375	5,50	0,0000825	0,0020625
25-50	1,52	4,58	0,0000696	0,0017404	3,26	0,0000496	0,0012388
50-75	1,44	2,21	0,0000318	0,0007956	1,51	0,0000217	0,0005436
75-100	1,33	1,67	0,0000222	0,0005553	2,42	0,0000322	0,0008047
100-125	1,23	0,00	0,0000000	0,0000000	0,00	0,0000000	0,0000000

Tabela 9 - Teor de potássio (mg/100 g solo), concentração de potássio (g/cm^3 solo) e armazenagem de potássio (g/cm^2 solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P.5 e P.6, aos 463 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.01 (mg/100g)	P.02 (mg/100g)	P.12 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	9,66	7,88	8,77	0,0001316	0,0032888
25-50	1,52	4,87	5,89	5,38	0,0000818	0,0020444
50-75	1,44	2,95	2,63	2,79	0,0000402	0,0010044
75-100	1,33	1,77	1,77	1,77	0,0000235	0,0005885
100-125	1,23	1,30	0,84	1,07	0,0000132	0,0003290

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.03 (mg/100g)	P.04 (mg/100g)	P.34 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	9,23	6,78	8,01	0,0001201	0,0030019
25-50	1,52	8,97	2,68	5,83	0,0000885	0,0022135
50-75	1,44	7,65	1,23	4,44	0,0000639	0,0015984
75-100	1,33	6,72	0,95	3,84	0,0000510	0,0012751
100-125	1,23	6,15	0,91	3,53	0,0000434	0,0010855

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.05 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)	P.06 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	9,45	0,0001412	0,0035288	5,97	0,0000896	0,0022388
25-50	1,52	6,22	0,0000945	0,0023636	1,89	0,0000287	0,0007182
50-75	1,44	4,07	0,0000586	0,0014652	1,32	0,0000190	0,0004752
75-100	1,33	2,26	0,0000301	0,0007515	1,14	0,0000152	0,0003791
100-125	1,23	0,88	0,0000108	0,0002706	0,95	0,0000117	0,0002921

Tabela 10 - Teor de potássio (mg/100 g solo), concentração de potássio (g/cm^3 solo) e armazenagem de potássio (g/cm^2 solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P.5 e P.6, aos 504 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.01 (mg/100g)	P.02 (mg/100g)	P.12 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	9,31	4,52	6,92	0,0001037	0,0025931
25-50	1,52	2,87	4,16	3,52	0,0000534	0,0013357
50-75	1,44	4,26	5,05	4,66	0,0000670	0,0016758
75-100	1,33	2,16	2,11	2,14	0,0000284	0,0007099
100-125	1,23	1,21	1,43	1,32	0,0000162	0,0004059

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.03 (mg/100g)	P.04 (mg/100g)	P.34 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	7,00	7,00	7,00	0,0001050	0,0026250
25-50	1,52	7,84	1,77	4,81	0,0000730	0,0018259
50-75	1,44	9,29	1,25	5,27	0,0000759	0,0018972
75-100	1,33	9,84	0,99	5,42	0,0000720	0,0018005
100-125	1,23	10,55	0,74	5,65	0,0000694	0,0017358

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.05 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)	P.06 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	8,45	0,0001268	0,0031688	9,66	0,0001449	0,0036225
25-50	1,52	4,05	0,0000616	0,0015390	3,62	0,0000550	0,0013756
50-75	1,44	1,45	0,0000209	0,0005220	1,62	0,0000233	0,0005832
75-100	1,33	0,77	0,0000102	0,0002560	1,28	0,0000170	0,0004256
100-125	1,23	0,67	0,0000082	0,0002060	1,32	0,0000162	0,0004059

Tabela 11 - Teor de potássio (mg/100 g solo), concentração de potássio (g/cm^3 solo) e armazenagem de potássio (g/cm^2 solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P5 e P6, aos 540 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.01 (mg/100g)	P.02 (mg/100g)	P.12 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	7,82	4,74	6,29	0,0000943	0,0023569
25-50	1,52	1,38	4,28	2,83	0,0000430	0,0010754
50-75	1,44	1,14	4,13	2,64	0,0000379	0,0009486
75-100	1,33	1,37	3,81	2,59	0,0000344	0,0008612
100-125	1,23	1,06	2,87	1,97	0,0000242	0,0006042

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.03 (mg/100g)	P.04 (mg/100g)	P.34 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	6,72	3,18	4,95	0,0000743	0,0018563
25-50	1,52	9,23	1,53	5,38	0,0000818	0,0020444
50-75	1,44	11,67	1,29	6,48	0,0000933	0,0023328
75-100	1,33	12,43	1,14	6,79	0,0000902	0,0022560
100-125	1,23	10,75	0,69	5,72	0,0000704	0,0017589

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm^3)	P.05 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)	P.06 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm^3)	z.Dg.C/100000 (g/cm^2)
0-25	1,50	8,45	0,0001268	0,0031688	6,48	0,0000972	0,0024300
25-50	1,52	4,75	0,0000722	0,0018050	2,48	0,0000377	0,0009424
50-75	1,44	3,42	0,0000492	0,0012312	0,74	0,0000107	0,0002664
75-100	1,33	1,93	0,0000257	0,0006417	0,83	0,0000110	0,0002760
100-125	1,23	0,83	0,0000102	0,0002552	0,67	0,0000082	0,0002060

Tabela 12 - Teor de potássio (mg/100 g solo), concentração de potássio (g/cm^3 solo) e armazenagem de potássio (g/cm^2 solo) no solo, nas parcelas P.12, P.34, P5 e P6, aos 585 D.A.P.

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.01 (mg/100g)	P.02 (mg/100g)	P.12 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)
0-25	1,50	7,30	6,46	6,88	0,0001032	0,0028800
25-50	1,52	2,51	4,48	3,50	0,0000531	0,0013281
50-75	1,44	4,18	3,12	3,65	0,0000526	0,0013140
75-100	1,33	3,19	2,66	2,93	0,0000389	0,0009726
100-125	1,23	1,98	2,89	2,44	0,0000300	0,0007488

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.03 (mg/100g)	P.04 (mg/100g)	P.34 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)
0-25	1,50	6,08	5,09	5,59	0,0000838	0,0020944
25-50	1,52	4,48	1,67	3,08	0,0000467	0,0011685
50-75	1,44	5,93	1,45	3,69	0,0000531	0,0013284
75-100	1,33	4,45	1,14	2,80	0,0000372	0,0009293
100-125	1,23	2,96	0,76	1,86	0,0000229	0,0005720

Prof. (cm)	Dens.Glob. (g/cm ³)	P.05 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)	P.06 (mg/100g)	Dg.C/100000 (g/cm ³)	z.Dg.C/100000 (g/cm ²)
0-25	1,50	6,46	0,0000969	0,0024225	9,35	0,0001403	0,0035063
25-50	1,52	3,93	0,0000597	0,0014934	1,75	0,0000266	0,0006650
50-75	1,44	1,90	0,0000274	0,0006840	0,76	0,0000109	0,0002736
75-100	1,33	1,45	0,0000193	0,0004821	0,61	0,0000081	0,0002028
100-125	1,23	1,07	0,0000132	0,0003290	0,84	0,0000103	0,0002583