

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

**ALEXANDRE MARTINS FERNANDES**

**Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais  
e sub-superficiais em área com cultivo de cana-de-açúcar.**

PIRACICABA  
2008

**ALEXANDRE MARTINS FERNANDES**

**Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais  
e sub-superficiais em área com cultivo de cana-de-açúcar.**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente  
Orientador: Prof. Dr. Jefferson Mortatti

PIRACICABA  
2008

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTES TRABALHOS, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Fernandes, Alexandre Martins

Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área com cultivo de cana-de-açúcar / Alexandre Martins Fernandes; orientador Jefferson Mortatti. - - Piracicaba, 2008.  
133 f. : fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Lixiviação do solo 2. Monitoramento ambiental 3. Nitrogênio  
4. Química ambiental 5. Risco ambiental I. Título

CDU 502.175:633.61

*Ao meu amor, Luciana Cordeiro de Souza Fernandes,  
esposa, companheira e amiga,  
por seu carinho, compreensão,  
confiança, presença e  
incansável apoio.*

**Dedico**

*A meus pais Caetano e Wilma, com muito carinho,  
pela educação e constante incentivo,  
exemplos de humildade  
e simplicidade.*

*À Marco Antônio, Carlos Magno e Ana Paula,  
irmãos e amigos, eternos companheiros  
de todas as jornadas.*

**Ofereço**

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jefferson Mortatti, orientador, professor e amigo, pela confiança depositada na realização deste trabalho e sua dedicação e ensinamentos para minha formação.

Ao Prof. Dr. Paulo César Ocheuze Trivelin, pela oportunidade em colaborar nas suas pesquisas.

Aos Prof. Dr. Helder de Oliveira e Prof. Dr. José Albertino Bendassoli, pelo apoio e ótimas condições de trabalho.

À equipe de Laboratório Isótopos Estáveis: José Aurélio Bonassi (Pingin), Miguel Luiz Baldessin, Hugo Henrique Battagello, Magda Mello G. Bartolomei, Bento Moçambique M. Neto, Clélber V. Prestes, Glauco A. Tavares, pelo auxílio constante, prazeroso convívio e companheirismo do dia a dia.

Aos amigos do Lab. 5 – Hidrogeoquímica: João Paulo Rambelli Bibian, Renato Alessandro Lopes, Diego Vendramini, Graziela Meneguel e Murilo Nolasco, pelos momentos compartilhados, ótima convivência e pelas pequenas e grandes ajudas de todos os dias.

Aos colegas de pós-graduação Carlos Roberto Sant'ana Filho, Juliana Giovannini, Henrique Coutinho Junqueira Franco, Carlos Eduardo Faroni, Rafael Oto, Virgínia Damin, Alexsandra Rossette e Josiane Carneiro.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, CENA/USP, pelos momentos de descontração e amizade.

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação, Cláudia M. F. Corrêa, Neuda F. Oliveira e Sonia A. B. Campos, pela atenção e dedicação neste importante período de minha formação.

À Marília Ribeiro Garcia Henyei, por sua atenção e presteza na normatização das referências bibliográficas.

Aos funcionários do Setor de Biblioteca e Cópias, Raquel C. T. Carvalho, Renata L. F. Mazzero e Celso Aguiar, pela dedicação e cordialidade no atendimento.

Ao CENA pelo ensino de qualidade e oportunidades.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de estudos concedida.

À Usina São Luiz - Dedini, por ceder a área para a pesquisa e disponibilizar sua equipe de campo, sem a qual este trabalho não seria realizado.

A todos aqueles que, embora não citados, participaram de mais essa etapa de minha vida.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

FERNANDES, A.M. **Comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área com cultivo de cana-de-açúcar.** 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

A cana-de-açúcar constitui-se em uma importante atividade agrícola no Brasil, sendo que sua produtividade relaciona-se a vários fatores, entre os quais a disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes, com destaque para o nitrogênio. Entretanto, o constante uso de fertilizantes aumentam a possibilidade de contaminação ambiental, principalmente de corpos de água. No presente trabalho foram avaliados o comportamento do N inorgânico e demais íons majoritários dissolvido presentes nas águas superficiais e sub-superficiais em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, considerando as contribuições atmosféricas, e suas implicações ambientais. Em área experimental localizada no município de Santa Cruz das Palmeiras, SP, foram coletadas amostras de água em quatro pontos: pluviômetro, Ribeirão dos Cocais, extrator de solução do solo e lençol freático; e analisadas por cromatografia iônica e microtitulação de Gran. Os principais íons majoritários foram caracterizados para cada ponto de amostragem considerando além de suas concentrações, a variabilidade sazonal e os transportes de carga dissolvida e potencial de perdas por lixiviação ao longo do período estudado. Observou-se que as águas de chuva e do Ribeirão dos Cocais apresentaram as menores concentrações iônicas, com um Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) médio de 5,28 e 3,71 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente; a solução do solo as maiores concentrações, com TDS médio variando de 78,67 a 130,56 mg L<sup>-1</sup>; e, as águas do lençol freático concentrações com valores intermediários, com TDS médio de 12,72 mg L<sup>-1</sup>. A participação dos íons nitrogenados dissolvidos no TDS foi de 17,87% para as águas de chuva, com picos de concentração dos íons NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup> no início dos períodos chuvosos; para os demais pontos de amostragem essa participação foi inferior a 5%, sem variações significativas ao longo do período estudado. Entre os íons nitrogenados, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi a espécie de maior participação no TDS em todos os pontos de amostragem, com aportes atmosféricos na ordem de 35,68 kg a<sup>-1</sup> em 2006 e 34,66 kg a<sup>-1</sup> em 2007, e um transporte fluvial médio estimado de 46,16 kg para o período de cheia em 2007, o que representou o dobro da estimada para o período de estiagem do mesmo ano e correspondeu a 82% do NID transportado no período. Foi possível verificar também que durante o período de amostragem de solução do solo, janeiro a abril de 2006, os fluxos de água foram sempre descendentes, indicando um potencial de perdas por lixiviação na ordem de 2,94 kg ha<sup>-1</sup> no período para os íons nitrogenados, com destaque para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com 1,59 kg ha<sup>-1</sup> no período. As razões íon/Cl<sup>-</sup> estabelecidas mostraram que houve influência dos aportes terrestres locais nas águas de chuva e evidenciaram o controle dos aportes atmosféricos totais (chuva) sobre as águas do Ribeirão dos Cocais e do lençol freático, além de indicarem que não ocorreu a lixiviação da solução do solo para o lençol freático. Ainda assim, os riscos de contaminação associadas à cultura da cana-de-açúcar não podem ser desconsiderados, indicando a necessidade de mais estudos.

Palavras-chave: Hidroquímica, nitrogênio, cana-de-açúcar, lixiviação de solutos.

## ABSTRACT

FERNANDES, A.M. **Behavior of dissolved inorganic N in surface and sub-surface waters in a cultivated sugar cane area.** 2008. 133 f. Dissertação (Master) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

The sugar cane is an important agricultural activity in Brazil and its productivity is related to several factors, such as the availability of suitable nutrients quantities, with emphasis on the nitrogen. However, the constant use of fertilizers increases the possibility of environmental contamination, mainly in water bodies. In this study were evaluated the inorganic N performance and other major dissolved ions present in surface and sub-surface waters in sugar cane areas, considering the atmospheric contributions and its environmental implications. In the experimental area, located in the municipality of Santa Cruz das Palmeiras, Brazil, were collected water samples in four points: pluviometer, Cocais stream, soil solution extractors and groundwater, which were analyzed by ionic chromatography and Gran microtitration. The major ions were characterized for each sampling point considering, beyond their concentrations, their seasonal variability and the dissolved loads transports and potential for loss by leaching during the studied period. It was observed that the waters samples from rain and Cocais stream had the lowest ionic concentrations, with average Total Dissolved Solids (TDS) of 5.28 and 3.71 mg L<sup>-1</sup>, respectively; soil solution presented the greatest concentrations, with average TDS ranging from 78.67 to 130.56 mg L<sup>-1</sup>, and in the groundwater samples the concentrations presented intermediate values, with TDS mean of 12.72 mg L<sup>-1</sup>. The participation of dissolved nitrogen ions in TDS was 17.87% for the rain waters, with concentration peaks for NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> at the beginning of the rainy periods; for other sampling points such participation was less than 5%, without significant changes over the studied period. Among the nitrogen ions, the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> had the higher participation in TDS for all the sampling points, with atmospheric inputs of 35.68 kg y<sup>-1</sup> in 2006 and 34.66 kg y<sup>-1</sup> in 2007, and an average stream transport of 46.16 kg for the high water period in 2007, which was twice higher than the estimative for the low water period in the same year corresponding to 82% of the transported NID in this period. It was also verified that during the soil solution sampling, January to April 2006, the water flows had always descending movement, indicating a loss potential by leaching about 2.94 kg ha<sup>-1</sup> for the nitrogen ions in the period emphasizing the NO<sub>3</sub><sup>-</sup> with 1.59 kg ha<sup>-1</sup>. The ion/Cl<sup>-</sup> ratios showed that there was influence of the local land contributions in the rain waters and they demonstrated the control of the atmospheric total contributions (rain) in the waters of Cocais stream and groundwater, in addition, they also indicated that there was not soil solution leaching to the groundwater. Yet, the risks of contamination associated with the sugar cane plantations can not be disregarded, indicating the need for more studies.

Keywords: Hydrochemistry, nitrogen, sugar cane, leaching of solutes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Legenda	Pg.
1	Ciclo do Nitrogênio no solo: entradas, transformações e saídas. Modificado a partir de Birkinshaw e Ewen (2000).....	20
2	Localização do talhão experimental, na Fazenda São Sebastião do Morro Alto Grotão, no município de Santa Cruz das Palmeiras, SP. Fontes: (1, 2) <a href="http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/sp/img0/sp31_52.jpg">http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/sp/img0/sp31_52.jpg</a> , (3) Prof. Dr. Paulo C. O. Trivelin.....	38
3	Precipitação média mensal para o posto DAEE prefixo C4-033 (SIGRH - 1973 a 2003), localizado no município de Pirassununga, SP (SIGRH, 2007).....	42
4	Mapa planimétrico da Fazenda São Sebastião do Morro Alto Grotão, município de Santa Cruz das Palmeiras, SP. Os pontos de amostragem foram plotados pelo autor deste trabalho. Fonte: Usina São Luiz – Dedini.....	43
5	Ponto de amostragem Pluviômetro, com o conjunto pluviômetro + coletor amostrador, no dia de sua instalação (1) e após a colocação da tela de proteção (2).....	44
6	Ribeirão dos Cocais, com a direção do fluxo de água e a identificação do local de amostragem.....	45
7	Ponto de medida da velocidade do fluxo de água do Ribeirão dos Cocais.....	46
8	Croqui do talhão experimental de cana-de-açúcar, com o delineamento dos blocos e parcelas e a localização das quatro baterias de 3 tensiômetros + 1 extrator de solução do solo.....	47
9	Extrator de solução do solo, instalado em 16 de agosto de 2005, junto às microparcels adubada com <sup>15</sup> N-uréia, dose de 120 kg ha <sup>-1</sup> .....	48
10	Detalhe da bateria de tensiômetros, instalados em 16 de agosto de 2005, junto às microparcels adubada com <sup>15</sup> N-uréia, dose de 120 kg ha <sup>-1</sup> .....	48
11	Perfuração do poço de amostragem de água do lençol freático em 24/01/2007.....	50
12	Perfuração e instalação do poço de amostragem de água do lençol freático em 13/02/2007.....	50
13	Perfil esquemático do poço de amostragem de água do lençol freático.....	51
14	Detalhe do conjunto pluviômetro + coletor-amostrador de água de chuva instalado na área experimental em 24 de maio de 2005 (Lat. 21°56'06''S, Long. 47°10'46''W)	54
15	Extrator de solução do solo e seu respectivo esquema.....	55
16	Esquema do coletor de amostras de água do lençol freático.....	57
17	Sistema de filtração manual a vácuo.....	57
18	Cromatógrafo Iônico Dionex ICS-90 e seus principais componentes: (1) reservatório de eluente (vermelho) e regenerante (azul), (2) coluna de separação, (3) bomba isocrática, (4) válvula de injeção de amostras, (5) célula supressora e (6) célula de condutividade.....	59
19	Telas do software Chromeleon exibindo (1) o registro do sinal enviado pela célula de condutividade do Cromatógrafo Iônico Dionex ICS-90 e (2) o cromatograma final de uma amostra analisada e os resultados das concentrações de cada analito em mg L <sup>-1</sup> , destacados em vermelho.....	61

20	Microtitulação de Gran.....	62
21	Esquema para medida da área da seção transversal de vertedouro tubular (GLOBAL WATER INSTRUMENTATION INC, 2004).....	67
22	Comparativo entre a precipitação média mensal obtida a partir dos dados da estação C4-033 para o período de 1970 a 2003 (SIGRH, 2007) e a precipitação mensal verificada na área experimental, através do pluviômetro instalado ao lado do talhão experimental de cana-de-açúcar, durante o período de Set/05 a Dez/07.....	72
23	Equilíbrio iônico das amostras de água de chuva, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/09/05 a 09/12/07.....	87
24	Equilíbrio iônico das amostras de água do Ribeirão dos Cocais, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 21/10/05 a 11/12/07.....	87
25	Equilíbrio iônico das amostras de Solução do Solo, por extrator, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	88
26	Equilíbrio iônico das amostras de água do Lençol Freático, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/03/07 a 11/12/07.....	88
27	Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de água de chuva, para o período de 01/09/05 a 09/12/07.....	90
28	Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de água do Ribeirão dos Cocais, para o período de 21/10/05 a 11/12/07.....	91
29	Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de água do Lençol Freático, por extrator, para o período de 01/03/07 a 11/12/07.....	91
30	Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de solução do solo, por extrator, para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	93
31	Participação percentual dos íons $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Pluviômetro, no período de 01/09/05 a 09/12/07.....	94
32	Participação percentual dos íons $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Ribeirão dos Cocais, no período de 21/10/05 a 11/12/07.....	94
33	Participação percentual dos íons $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Extrator de Solução do Solo, por extrator, no período de 03/01/06 a 28/04/06.....	95
34	Participação percentual dos íons $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Lençol Freático, no período de 01/03/07 a 11/12/07.....	95
35	Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{NH}_4^+$ , Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para o ponto Pluviômetro e da precipitação (mm), para o período de 01/09/05 a 09/12/07.....	98
36	Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos demais ânions ( $\text{HCO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ e $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cátions ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{Ca}^{2+}$ ) para o ponto Pluviômetro e da precipitação (mm), para o período de 01/09/05 a 09/12/07.....	99

37	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para o ponto Ribeirão dos Cocais e da precipitação (mm), para o período de 21/10/05 a 11/12/07.....	101
38	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) dos demais ânions (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> e SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) e cátions (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> e Ca <sup>2+</sup> ) para o ponto Ribeirão dos Cocais e da precipitação (mm), para o período de 21/10/05 a 11/12/07.....	102
39	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> e NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores (mg L <sup>-1</sup> ) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	103
40	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores (mg L <sup>-1</sup> ) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	104
41	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) dos demais ânions (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> e SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores (mg L <sup>-1</sup> ) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	105
42	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) dos demais cátions (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> e Ca <sup>2+</sup> ), por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores (mg L <sup>-1</sup> ) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	106
43	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) de NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para o ponto Lençol Freático e da precipitação (mm), para o período de 01/03/07 a 11/12/07.....	109
44	Variação temporal das concentrações (mg L <sup>-1</sup> ) dos demais ânions (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> e SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) e cátions (Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> e Ca <sup>2+</sup> ) para o ponto Lençol Freático e da precipitação (mm), para o período de 01/03/07 a 11/12/07.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela	Legenda	Pg.
1	Caracterização química e física do Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico (Typic Eutrustox), Usina São Luiz – Dedini, Santa Cruz das Palmeiras, SP (OTTO, 2007)....	40
2	Precipitação média mensal, obtida a partir dos dados da estação C4-033 para o período de 1970 a 2003 (SIGRH, 2007) e precipitação mensal verificada na área experimental, através do pluviômetro instalado ao lado do talhão experimental de cana-de-açúcar, durante o período de Set/05 a Dez/07.....	72
3	Resultado das análises das amostras de água de chuva, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L <sup>-1</sup> , para o período de 01/09/05 a 09/12/07.....	74
4	Resultado das análises das amostras de água de chuva, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/09/05 a 09/12/07.....	75
5	Resultado das análises das amostras de água do Ribeirão dos Cocais, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L <sup>-1</sup> , para o período de 21/10/05 a 11/12/07.....	78
6	Resultado das análises das amostras de água do Ribeirão dos Cocais, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 21/10/05 a 11/12/07.....	79
7	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 1, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L <sup>-1</sup> , para o período de 03/01/06 a 24/04/06.....	80
8	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 1, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 24/04/06.....	80
9	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 2, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L <sup>-1</sup> , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	81
10	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 2, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	81
11	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 3, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L <sup>-1</sup> , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	82
12	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 3, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	82

13	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 4, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	83
14	Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 4, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.....	84
15	Resultado das análises das amostras de água do Lençol Freático, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 01/03/07 a 11/12/07.....	85
16	Resultado das análises das amostras de água do Lençol Freático, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/03/07 a 11/12/07.....	86
17	Transporte pluvial de solutos para os anos de 2006 e 2007 e o período de janeiro a abril de 2006, correspondente ao período de amostragem de solução do solo.....	111
18	Transporte pluvial específico de solutos para os anos de 2006 e 2007 e o período de janeiro a abril de 2006, correspondente ao período de amostragem de solução do solo.....	112
19	Transporte pluvial específico de solutos para as cidades de Piracicaba, Santa Maria e Campo Grande.....	113
20	Dados de velocidade média da água, altura da lamina de água e da vazão diária calculada para o Ribeirão dos Cocais.....	114
21	Transporte fluvial médio de solutos para os períodos de estiagem, cheia e anual para 2007 e estimativa para o período de amostragem de Solução do Solo.....	115
22	Transporte fluvial específico de solutos para os períodos de estiagem, cheia e anual para 2007 e estimativa para o período de amostragem de Solução do Solo.....	116
23	Dados de densidade de fluxo de água no solo para cinco períodos, entre 22/12/05 a 15/05/06.....	117
24	Concentração média para cada extrator ( $\text{mg L}^{-1}$ ), para os cinco períodos de densidade de fluxo de água no solo, entre 22/12/05 a 15/05/06.....	118
25	Potencial de perdas por lixiviação calculados por extrator, para os cinco períodos de densidade de fluxo de água no solo, entre 22/12/05 a 15/05/06.....	119
26	Potencial de perdas por lixiviação, valor médio para os quatro extratores, para os cinco períodos de densidade de fluxo de água no solo, entre 22/12/05 a 15/05/06.....	119
27	Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados, NID e TDS, para de 22/12/05 a 15/05/06.....	121
28	Razão entre os íons $\text{SO}_4^-$ , $\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Mg}^{2+}$ e $\text{Ca}^{2+}$ e o $\text{Cl}^-$ , por ponto de amostragem e os observados para os sais cíclicos, com base na concentração média (mmol).....	122

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	19
3. ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1. Caracterização da área de estudo.....	38
3.1.1. Caracterização Geomorfológica.....	39
3.1.2. Solo.....	39
3.1.3. Vegetação.....	40
3.1.4. Hidrologia.....	41
3.2. Características dos pontos de amostragem.....	42
3.2.1. Pluviômetro.....	43
3.2.2. Ribeirão dos Cocais.....	44
3.2.3. Extratores de Solução do Solo.....	46
3.2.4. Lençol Freático.....	49
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	52
4.1. Materiais e equipamentos utilizados.....	52
4.2. Protocolo de Amostragem.....	53
4.2.1. Pluviômetro.....	54
4.2.2. Ribeirão dos Cocais.....	54
4.2.3. Extratores de Solução do Solo.....	55
4.2.4. Lençol Freático.....	56
4.3. Protocolo Analítico.....	57
4.3.1. Cromatografia Iônica.....	58
4.3.2. Microtitulação de Gran.....	62
4.4. Caracterização Pluviométrica.....	63
4.5. Caracterização Hidroquímica.....	64
4.5.1. Equilíbrio iônico.....	64
4.5.2. Íons majoritários.....	64
4.5.3. Participação do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS).....	65
4.5.4. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas.....	65
4.5.5. Transporte pluvial de solutos.....	65
4.5.6. Transporte fluvial de solutos.....	66
4.5.7. Potencial de perdas por lixiviação.....	69
4.5.8. Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados.....	69

4.5.9. Razão íon/Cl <sup>-</sup> .....	70
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
5.1. Caracterização Pluviométrica.....	71
5.2. Caracterização Hidroquímica.....	73
5.2.1. Equilíbrio iônico.....	86
5.2.2. Íons majoritários.....	89
5.2.3. Participação do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS).....	94
5.2.4. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas.....	96
5.2.4.1. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Pluviômetro.....	97
5.2.4.2. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Ribeirão dos Cocais.....	100
5.2.4.3. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Extratores de Solução do Solo.....	102
5.2.4.4. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Lençol Freático.....	108
5.2.5. Transporte pluvial de solutos.....	110
5.2.6. Transporte fluvial de solutos.....	114
5.2.7. Potencial de perdas por lixiviação.....	117
5.2.8. Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados.....	120
5.2.9. Razão íon/Cl <sup>-</sup> .....	122
6. CONCLUSÕES.....	124
REFERÊNCIAS.....	128
Anexo A.....	133

## 1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio e seus compostos existentes na natureza encontram-se distribuídos pelo planeta e apresentam um equilíbrio dinâmico entre a atmosfera, litosfera e hidrosfera. As atividades humanas têm causado alterações significativas nesse equilíbrio e, conseqüentemente, na sua distribuição, devido ao aumento de suas concentrações em determinadas regiões, principalmente nos adensamentos urbanos e em áreas com intensa atividade agrícola. Nestas últimas, as aplicações de defensivos, fertilizantes e resíduos derivados do processo produtivo e da criação intensiva de animais, amplamente empregadas, favorecem essas alterações.

A agroindústria canavieira é uma importante atividade sócio-econômica no Brasil, que se apresenta como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com mais de 5 milhões de hectares plantados e uma produção de 386,5 milhões de toneladas na safra 2005/2006, sendo que o Estado de São Paulo foi responsável por cerca de 60% dessa produção (UNICA, 2007). Sua produtividade está diretamente relacionada a fatores como radiação solar, temperatura, disponibilidade de água e de nutrientes minerais no solo. Segundo Trivelin e Vitti (2005), dentre as maiores limitações do meio à produtividade agrícola no Brasil, destacam-se as relacionadas à disponibilidade de quantidades adequadas de nutrientes no solo, principalmente nitrogênio (N) e enxofre (S).

O N situa-se entre os nutrientes mais importantes no crescimento e desenvolvimento de vegetais e, freqüentemente, é aproveitado pelas plantas sob a forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), cuja concentração natural no solo é, em geral, baixa, daí a necessidade da aplicação de fertilizantes

(REICHARDT et al., 1979). Para suprir essas deficiências nas condições agrícolas do Estado de São Paulo, o Instituto Agrônomo de Campinas criou o Boletim 100, o qual indica as recomendações para fertilizações com nitrogênio, fósforo e potássio, baseado em resultados de análise de fertilidade do solo e do rendimento esperado da cultura (ESPIRONELO et al., 1996).

Entretanto, segundo a International Atomic Energy Agency - IAEA (1976), resultados obtidos sob os mais diversos sistemas agrícolas do globo mostram que raramente uma cultura aproveita mais que 60% do N aplicado como fertilizante. O restante pode permanecer no solo, disponível para as culturas subseqüentes, ou perder-se por diversos mecanismos, tais como a volatilização, desnitrificação e lixiviação (REICHARDT et al., 1979).

Como os fertilizantes são aplicados todos os anos, é de se esperar que em muitas áreas os excessos se infiltrem e alcancem o nível freático (MANOEL FILHO, 2000), aumentando a possibilidade de contaminação dos corpos de água por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas e por agentes biológicos. Juntamente com as partículas arrastadas pela água durante o escoamento superficial (*runoff*) ou em outros processos erosivos e que acabam carregadas para os corpos de água superficiais, os nutrientes presentes no solo também são perdidos para os corpos de água subterrâneos, principalmente pela lixiviação.

Desta forma, a qualidade da água dos mananciais, superficiais e subterrâneos, tem uma estreita relação com o uso e ocupação do solo da região onde se encontram e com o volume e a circulação de água pelo ambiente. O cultivo agrícola do solo exerce uma grande influência na qualidade da água de recarga dos aquíferos e também na taxa de recarga dos mesmos (FOSTER; CHILTON; STUART, 1991; FOSTER et al., 2002), pois modificam os mecanismos de recarga das águas subterrâneas, tais como a distribuição, frequência, taxa e qualidade de recarga. Os modelos de circulação de água mostram que as águas de chuva recarregam os aquíferos em toda sua extensão não impermeabilizada e, uma vez ingressando

no aquífero, as águas fluem em direção às drenagens superficiais, suas áreas de descarga (HIRATA; FERREIRA, 2001). Assim, a água que penetra pelo solo, em áreas agrícolas, atinge o lençol freático e, após se movimentar em sub-superfície, retorna à superfície para alimentar os rios, o que garante sua perenidade nos períodos de estiagem.

Como o N de origem mineral ocorre em rochas denominadas evaporitos, para a qual não há registro de ocorrência no Estado de São Paulo, pode-se dizer que as espécies nitrogenadas observadas em águas superficiais e subterrâneas no Estado de São Paulo têm origem no ciclo biológico do N (CETESB, 2004) e são provenientes de áreas com intensa atividade agrícola (fontes difusas) e ou com sistemas de saneamento *in situ* (fontes pontuais), como tanques sépticos e ou fossas rudimentares (VARNIER; HIRATA, 2002).

O  $\text{NO}_3^-$  é a principal forma de nitrogênio associada à contaminação da água pelas atividades agropecuárias (VARNIER; HIRATA, 2002). O ânion nitrato, caracterizado por ser fracamente retido no solo, tende a permanecer mais em solução, principalmente nas camadas superficiais do solo, onde a matéria orgânica acentua o caráter eletronegativo das partículas de solo, que repelem o  $\text{NO}_3^-$  e facilitam que sejam deslocados pela lixiviação. A elevação de teores de  $\text{NO}_3^-$  na água é indicativo de risco potencial para a presença de outras substâncias indesejáveis, como moléculas sintéticas de defensivos agrícolas que apresentam comportamento semelhante ao  $\text{NO}_3^-$  no solo.

O enriquecimento das águas superficiais com  $\text{NO}_3^-$  pode levar à eutrofização das mesmas. Embora o homem adulto possa ingerir quantidades relativamente altas de  $\text{NO}_3^-$  através da alimentação e da água e excretá-lo pela urina sem maiores conseqüências prejudiciais à saúde, bebês de até seis meses de idade podem apresentar envenenamento devido à diminuição da capacidade do sangue em transportar oxigênio, conhecido como Metahemoglobinemia ou síndrome do bebê azul (FAQUIM; ANDRADE, 2004). Estudos em

andamento têm associado altas concentrações de  $\text{NO}_3^-$  à ocorrência de câncer estomacal ou de esôfago, mas até o presente não foram apresentados resultados conclusivos.

Face aos riscos que apresenta, a concentração de  $\text{NO}_3^-$  na água para consumo humano não deve exceder 10 mg de N- $\text{NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ , de acordo com os limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e adotados no Brasil – Resolução nº 357 CONAMA, de 17/03/2005; Portaria MS nº 518 de 25 de março de 2004 e Decreto Federal nº 79367 de 09/03/1977- e nos Estados Unidos da América, através de regulamentação da United States Environmental Protection Agency - USEPA (SANTOS, 2000).

De certa forma, esses riscos justificam os estudos conduzidos em áreas urbanas, que se concentram em águas subterrâneas e focam sua preocupação na qualidade da água para o consumo humano, avaliando principalmente as fontes pontuais com potencial poluidor, tais como sistemas de tratamento *in situ*, aterros sanitários e lixões, cemitérios etc.

Áreas com intensa atividade agrícola são estudadas há séculos, visando, em última análise, melhorar/aumentar a produtividade das mesmas. Diversos tipos de experimentos com N foram e ainda são conduzidos com esta finalidade, tais como os que envolvem técnicas de manejo e adubação do solo ou de avaliação de processos bioquímicos no solo e na planta, entre outros. Comparativamente, estudos com o objetivo de avaliar os impactos ambientais oriundos da atividade agrícola sobre os mananciais são mais recentes e em menor número na literatura.

Tendo em vista que grande parte da rede de drenagem que alimenta os mananciais de abastecimento das cidades, com destaque para as zonas de recarga de águas subterrâneas e os pequenos cursos de água, estão e ou passam em áreas agrícolas; e que, segundo Jank (2007), há uma expectativa de dobrar a área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil para a safra de

2015/16, ampliando-a para mais de 11 milhões de hectares plantados (informação verbal)<sup>1</sup>; estudos que visam ampliar os conhecimentos sobre as pressões que culturas importantes como a cana-de-açúcar exercem sobre o meio ambiente e, principalmente, sobre recursos tão essenciais como a água, tornam-se relevantes.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar do comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área cultivada com cana-de-açúcar, considerando as contribuições atmosféricas, e suas implicações ambientais.

---

<sup>1</sup> Informação fornecida por Marcos S. Jank no **Fórum Internacional sobre o Futuro do Alcool, FENASUCRO-AGROCANA**, Sertãozinho, SP, 2007.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

O nitrogênio encontra-se distribuído de forma desigual na natureza, estando presente na atmosfera, no solo, nos seres vivos e nos oceanos, seus principais repositórios. Apresenta-se em seis estágios de valência ou níveis de oxidação: amônia ( $\text{NH}_3$ ), com valência -3; hidroxilamina ( $\text{HONH}_2$ ), com valência -1; N elementar ( $\text{N}_2$ ), com valência 0; nitroxila ( $\text{HNO}$ ), com valência +1; nitrito ( $\text{NO}_2$ ), com valência +3; e, nitrato ( $\text{NO}_3$ ), com valência +5 (TRIVELIN; VITTI, 2005).

A atmosfera comporta a maior parte do N existente na Terra, estimado em  $3.9 \times 10^9$  Tg N<sup>(2)</sup>. Este se encontra principalmente na forma de  $\text{N}_2$ , que apresenta um tempo de residência médio na atmosfera de 10 milhões de anos e ocupa aproximadamente 78% do volume da atmosfera. Entre as outras formas de N presentes na atmosfera, podem-se destacar o monóxido ou dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Na forma de  $\text{NO}_x$  estima-se existir 1,3 Tg N, com um tempo de residência médio de um mês; já na forma de  $\text{N}_2\text{O}$ , esses valores são maiores,  $1,4 \times 10^3$  Tg N e tempo de residência médio de 100 anos. O segundo maior repositório são os oceanos, onde o N encontra-se tanto na superfície como no fundo em forma de sedimentos, num total aproximado de  $4,5 \times 10^8$  Tg N, dos quais  $2 \times 10^5$  Tg N encontram-se na superfície, dissolvido organicamente. Em plantas e animais estima-se existir cerca de  $3 \times 10^4$  Tg N, com um tempo de residência médio de 50 anos. No solo, esse valor é de aproximadamente  $9,5 \times 10^4$  Tg N, com tempo de residência médio de 2000 anos. (GALLOWAY, 1998; VITOUSEK et al., 1997; VITOUSEK et al., 2002)

Pelo exposto, dentre as formas de nitrogênio presentes na natureza, o  $\text{N}_2$  é a forma mais abundante, porém é quimicamente inerte e não pode ser utilizado pela maioria dos seres vivos (CAMARGO, 1989). Certas atividades do homem, tais como a fertilização agrícola, o

---

<sup>2</sup> Tg N = Teragrama de N =  $10^{12}$  g de N.

desmatamento e a geração de resíduos industriais, têm alterado o ciclo do N, aumentando sua disponibilidade e mobilidade. Naturalmente, a fixação biológica introduz entre 90 e 130 Tg N ano<sup>-1</sup> aos continentes, mas, pela ação antrópica são introduzidas 150 Tg N ano<sup>-1</sup> adicionais. Este excesso de N pode ocasionar desequilíbrio nutricional nas plantas, lixiviação de nutrientes, acidificação do solo e maior emissão de gases do efeito estufa (N<sub>2</sub>O) (CASTELLANOS BONILLA, 2005).

Muitos dos processos vitais estão associados à presença do N, que participa de inúmeros compostos importantes envolvidos no metabolismo dos seres vivos, tais como aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos. Para as plantas, a forma inorgânica do N presente no solo é praticamente a única assimilável. Como cerca de 90% do N presente no solo encontra-se na forma orgânica, provenientes dos resíduos vegetais e animais, algumas transformações tornam-se necessárias para que o N possa ser absorvido pelo sistema radicular das plantas (CAMARGO, 1989). Nessa situação, associa-se o ciclo do N no solo à cadeia de reações de oxi-redução (Fig. 1).

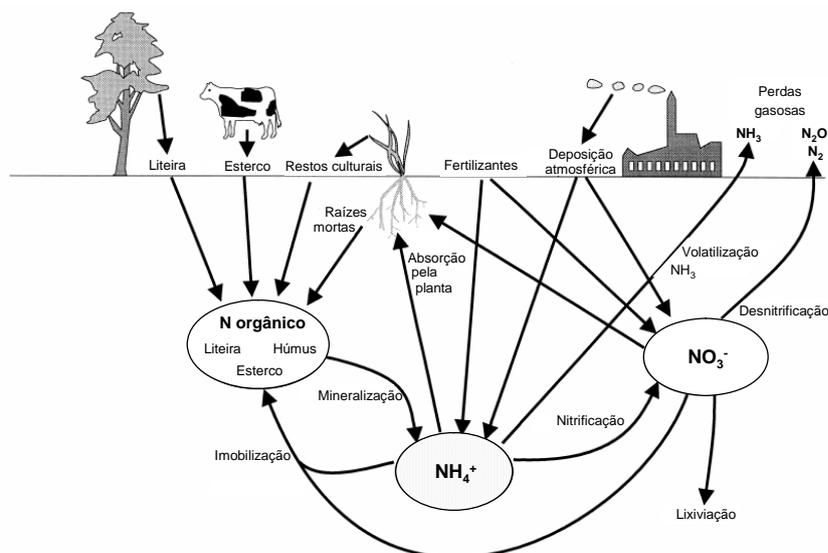


Figura 1. Ciclo do Nitrogênio no solo: entradas, transformações e saídas. Modificado a partir de Birkinshaw e Ewen (2000).

As principais transformações que o nitrogênio sofre nos agrossistemas são a amonificação e a nitrificação no solo, mediadas por microorganismos, e a imobilização, pelos microorganismos e vegetais (TRIVELIN; VITTI, 2005).

Dentre as principais entradas e saídas de N nos agrossistemas, Trivelin e Vitti (2005, p.1) destacaram, respectivamente:

[...] a fixação biológica do  $N_2$  da atmosfera, realizada por microorganismos presentes no solo ou que estão associados às culturas ou o N incorporado ao sistema pelas leguminosas; a adição de fertilizantes nitrogenados, obtidos a partir da fixação industrial do  $N_2$  atmosférico e que representa uma das vias mais importantes de reposição do nutriente no sistema; a fertilização orgânica com resíduos e subprodutos da agroindústria; o nitrato e amônio contido na água de chuva; e, o nitrato do lençol freático transportado no perfil do solo pelo movimento ascendente da água nos períodos de estiagem.

[...] a remoção pela colheita; óxidos nitrogenados ( $N_2O$ ,  $NO$  e  $NO_2$ ), a amônia ( $NH_3$ ) e o nitrogênio molecular ( $N_2$ ) lançados à atmosfera com a queima dos restos culturais; a lixiviação do nitrato do solo; as perdas gasosas de  $N_2O$ ,  $NO$  e  $NO_2$  do solo, mediada por microorganismos anaeróbios desnitrificadores ou na oxidação aeróbia do  $NH_4^+$  e pela volatilização da amônia; e, as perdas por deflúvio superficial nos solos, conhecida como runoff.

Apesar das dificuldades em se estudar o comportamento do N no ambiente, a literatura apresenta diversos trabalhos a esse respeito, contemplando desde o monitoramento do N no solo e nas águas superficiais e subterrâneas, em áreas urbanas e rurais; o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados; o transporte por *runoff* e lixiviação e os possíveis impactos nos corpos de água superficiais e subterrâneas; até o desenvolvimento e proposição de modelos teóricos para estudar esses efeitos e subsidiar a tomada de decisões. Entre os mais recentes na literatura internacional, podem-se citar os realizados por French et al. (2006), Borin et al. (2005), Muñoz-Carpena, Ritter e Li (2005), Liu, Wu e Zhang (2005), Almasri e Kaluarachchi (2004) e Krysanova e Haberlandt (2002).

French et al. (2006), propuseram um modelo conceitual de balanço de massa de  $\text{NO}_3^-$  para avaliar os efeitos das variações de nutrientes em Newport Bay / San Diego Creek, California, EUA, considerando as fontes urbanas e agrícolas presentes na bacia hidrográfica e a interação entre as águas de superfície e subterrânea. Através do modelo proposto, estimaram uma contribuição da área agrícola entre 2 e 8%, em termos de N total transportado para as águas superficiais, considerando o transporte superficial (*runoff*) e o proveniente da lixiviação de fertilizantes para as águas subterrâneas, que posteriormente chegaram às águas superficiais. Observaram também que o  $\text{NO}_3^-$  oriundo das águas subterrâneas se mostrou como um fator importante para os 30 anos posteriores ao estudo, em termos de contribuição para as águas superficiais; pois, mesmo que a atividade agrícola cessasse, os aportes de N continuariam ocorrendo devido à defasagem temporal associada ao transporte de sub-superfície.

Borin et al. (2005) avaliaram a eficácia de uma estreita faixa de vegetação na retenção do escoamento superficial e de contaminantes em áreas agrícolas. O estudo foi desenvolvido durante o período de 1998 a 2001, na região Nordeste da Itália, em área experimental com milho, soja e trigo. Os autores observaram que, ao longo desse período, o desenvolvimento da faixa de vegetação entre a área agrícola e o corpo de água possibilitou uma redução de 78% no total de escoamento superficial e uma queda na concentração média do total de sólidos em suspensão, nitrogênio total e fósforo total, em aproximadamente 80, 37 e 37%, respectivamente. Entretanto, verificaram que o efeito de filtragem proporcionado pela faixa de vegetação, com vistas a uma diminuição do risco de eutrofização, ocorreu mais em função da diminuição do volume do escoamento que chegou ao corpo de água do que pela melhoria da qualidade da água do mesmo.

Muñoz-Carpena, Ritter e Li (2005) estudaram a variabilidade da qualidade química das águas do lençol freático em uma área de 780 hectares, na fronteira oriental do Parque Nacional Everglades, sul da Flórida, EUA, utilizando a análise fatorial dinâmica, técnica de

estudo de séries temporais não estacionárias multivariadas. O acompanhamento e análise da variação da concentração química nas águas superficiais e subterrâneas proporcionaram uma melhor compreensão do uso da terra e das variáveis naturais que afetam a qualidade da água na região. Do ponto de vista prático, consideraram que a variação da química da água subterrânea era uma função da química de entrada, de saída e das transformações que ocorreram no sistema. Durante dois anos, a partir de 2002, coletaram amostras de água em 18 localidades, dois canais de drenagem e 16 poços de monitoramento, resultando em 772 amostras, nas quais analisaram as concentrações de flúor ( $F^-$ ), cloreto ( $Cl^-$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ), amônio ( $NH_4^+$ ), fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) e fósforo total (P Total). Posteriormente relacionaram essas concentrações com variáveis explicativas em potencial, tais como precipitação ( $mm\ dia^{-1}$ ), profundidade do lençol freático (m), concentração química no solo [ $mg\ (kg\ solo)^{-1}$ ] e concentração química nos canais limítrofes à área ( $mg\ L^{-1}$ ). Para o grupo que denominaram agrotóxicos ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  e P Total), constataram que as respectivas concentrações em águas subterrâneas foram dominadas pela lixiviação do solo, que por sua vez foi dependente das perdas da cultura, da mobilidade do produto, da saturação do solo superficial, das chuvas e da duração do fluxo até o lençol freático. No caso do  $NH_4^+$ , além da lixiviação, a concentração em águas subterrâneas também foi regida pelas trocas laterais com os canais de drenagem. Os autores concluíram que a lixiviação foi o principal mecanismo que explicou os picos de concentração em águas subterrâneas e sugeriram, para a minimização desses efeitos, a adoção de melhorias nas práticas de fertilização das diversas culturas presentes na área, distribuindo-as ao longo do calendário agrícola, e a gestão dos canais de drenagem, para manter o lençol freático mais baixo durante os períodos de chuva.

Liu, Wu e Zhang (2005) monitoraram duas fazendas com sistema produtivo rotacional de trigo e milho, uma com 66 e outra com 53 hectares, ambas situadas na zona transiente entre a planície aluvial do Shandong Central e o Rio Amarelo, na China. As áreas apresentavam

diferenças em termos de taxa de adubação, textura de solo e profundidade do lençol freático. As amostras foram coletadas em dois períodos, 1988/1989 e 2002/2003, visando investigar o processo de contaminação e de distribuição espacial da concentração de  $\text{NO}_3^-$  nas águas subterrâneas. A análise da interpolação dos resultados, baseada em um grande número de amostras de água subterrânea, indicou que os padrões de distribuição do  $\text{NO}_3^-$  foram influenciados pelo fluxo subterrâneo de sentido horizontal, sendo que as variações nesses padrões de distribuição foram atribuídos principalmente à difusão e à translocação do  $\text{NO}_3^-$ . No sentido vertical verificaram que a concentração de  $\text{NO}_3^-$  diminuiu conforme a profundidade de amostragem aumentou, com uma concentração maior nos primeiros 60 m da zona saturada.

Almasri e Kaluarachchi (2004) documentaram e avaliaram as tendências regionais de longo prazo e as ocorrências de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas, procurando identificar as prováveis fontes de elevada concentração de  $\text{NO}_3^-$ , em bacias hidrográficas com ocupação agrícola em Whatcom County, ao noroeste do Estado de Washington, EUA, região com intensa atividade agrícola, especialmente em relação à exploração da indústria leiteira. Para avaliar a variabilidade espacial e temporal da concentração de  $\text{NO}_3^-$ , compilaram os dados históricos referentes ao período de 1990 a 2000, obtidos junto a quatro agências de governo dos EUA (US Geological Survey, Whatcom County Department of Health, Washington State Department of Health, e Washington State Department of Ecology), reunindo em um único banco de dados 4247 poços de monitoramento, que apresentaram até 9842 medições de  $\text{NO}_3^-$  para o período avaliado. Isto permitiu a análise da área como um todo e também por bacia hidrográfica e por uso da terra, em diferentes classes, considerando variáveis como, por exemplo, o aporte de N no solo oriundo de fertilização, a distribuição espacial do uso do solo, o nível freático e a recarga de águas subterrâneas. Para as bacias hidrográficas com intensa atividade agrícola, os autores observaram que as principais fontes potenciais de  $\text{NO}_3^-$  para a

contaminação das águas subterrâneas foram a disposição do estrume proveniente dos rebanhos das indústrias de laticínios e a aplicação de fertilizantes inorgânicos; e, que o risco de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  aumentou quando houve aumento da recarga da água subterrânea. Observaram também que, em geral, a concentração de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas diminuiu com o aumento da profundidade de amostragem, o que foi atribuído a três fatores principais: desnitrificação, fluxo vertical de água subterrânea associado ao transporte de  $\text{NO}_3^-$  e à mistura (diluição). Apesar disso, constataram uma tendência, em longo prazo, de aumento da concentração de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas, principalmente próximo ao nível freático, em função da contínua carga de N no solo e das práticas agrícolas de utilização do solo na região.

Krysanova e Haberlandt (2002), baseados em um modelo dinâmico de um conjunto de condições representativas de uma grande bacia hidrográfica, propuseram um processo para simular os fluxos de água e de N, visando a criação de um metamodelo a ser usado na avaliação rápida da qualidade da água dentro de intervalos de parâmetros pré-estabelecidos, considerando as condições naturais e as práticas de gestão em uma determinada região. Para a simulação desse processo, adotaram como área experimental a bacia do rio Saale, um dos principais afluentes do Elba e que abrange uma área de 23687 km<sup>2</sup> na Europa Central. A simulação incorporou os fatores naturais e antropogênicos que afetariam a lixiviação de N para a bacia do rio Saale (solo, clima, taxa de adubação e rotação de culturas), sendo que o número de variantes e o tamanho das séries temporais foram limitados, sem prejuízo do conjunto de condições representativas para a bacia. Essa simplificação ocorreu para permitir a parametrização do modelo em escala regional. A análise dos fatores que influenciaram os fluxos de N no solo conduziram às seguintes conclusões: a) as perdas de N total com fluxos de água foram praticamente independentes da topografia, entretanto a elevação afetou a redistribuição dos fluxos; b) as perdas de N aumentaram com o aumento da precipitação; c) na maioria dos casos analisados, a desnitrificação ocorreu simultaneamente com a lixiviação

de N; e, d) os solos menos permeáveis apresentaram baixa lixiviação de N e tiveram aumentadas as perdas gasosas.

A caracterização das fontes naturais e antrópicas de N em ambientes aquáticos e no solo também foi e continua sendo o foco em diversas pesquisas, com estudos baseados na utilização do isótopo estável do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) e de dados de abundância isotópica das formas nitrogenadas ( $\delta^{15}\text{N}$ ) e de outros elementos como o carbono ( $^{13}\text{C}$ ), oxigênio ( $^{18}\text{O}$ ) e enxofre ( $^{34}\text{S}$ ). Entre os trabalhos publicados a partir dos anos 1970, podem ser citados os desenvolvidos por Cravotta (1997), Aravena, Evans e Cherry (1993), Bottcher et al. (1990), Heaton (1986), Flipse e Bonner (1985), Kreitler (1979), Kreitler, Ragone e Katz (1978), entre outros.

Cravotta (1997) apresentou extenso relatório referente ao estudo realizado pelo U.S. Geological Survey em cooperação com o Departamento de Proteção Ambiental da Pensilvânia, ambos dos EUA, que teve por objetivo determinar se uma fonte primária de N selecionada na sub-bacia do Baixo Susquehanna poderia ser identificada pela utilização de medições isotópicas de C, N e S nas frações dissolvida e particulada em suspensão presentes nas águas superficiais. Para isso foram coletadas amostras de solo de superfície e subsolo, do escoamento superficial de água perto da fonte de N, bem como foram medidos os fluxos de água para avaliar mudanças na composição isotópica do N transportado. A partir das análises químicas e isotópicas de seis diferentes fontes de N (água de chuva, floresta, fertilizantes sintéticos, estrume animal, efluentes e lodo de esgoto municipal, e, efluentes e lodo de fossa séptica), o autor fez uma discussão detalhada dos resultados obtidos, de onde se pôde destacar: a) para restos de animais, dejetos humanos e serapilheira de florestas, a maioria das fontes não puderam ser distinguidas com base no  $\delta^{13}\text{C}$ ; já com o  $\delta^{34}\text{S}$  associado ao  $\delta^{15}\text{N}$ , a distinção foi obtida com base na sobreposição das diferentes fontes de N; b) a razão C-org/N se mostrou útil para distinguir solos agrícolas de solos florestais; c) as medições isotópicas

forneceram informações qualitativas sobre reações importantes que poderiam afetar a concentração de N nas águas superficiais; d) as amostras de águas de escoamento superficial e de riachos apresentaram valores qualitativos para  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{34}\text{S}$  semelhantes aos das fontes de N, mas pareceram refletir mais as composições dos grandes reservatórios desses elementos na matéria orgânica do solo e nos minerais e não a composição do N da fonte; e) o cálculo do balanço de massas não foi suficientemente preciso para estimar as proporções de contribuição das várias fontes de N carreadas para os riachos por causa das variações nas composições químicas e isotópicas nas fontes, do comportamento não conservativo e do fracionamento ocorridos durante o transporte, aos quais se somaram as incertezas acarretadas pela propagação de erros associados às medições de vazão e às tendências de diluição da concentração química e isotópica em pequenos riachos. O autor concluiu que a utilização de isótopos como marcadores de fontes de N poderia ser uma ferramenta útil, desde que o fracionamento durante o transporte fosse mínimo e que os produtos transportados tivessem razão isotópica semelhante à da fonte.

Aravena, Evans e Cherry (1993) utilizaram os isótopos estáveis  $^{15}\text{N}$  e  $^{18}\text{O}$  como traçadores para diferenciar o  $\text{NO}_3^-$  proveniente de uma pluma de contaminação, emanada por um sistema séptico, em um sistema de água subterrânea, na Cambridge Agricultural Research Station, Ontario, Canadá. O estudo foi desenvolvido em um ambiente caracterizado por inúmeras fontes de  $\text{NO}_3^-$  para as águas subterrâneas, onde o elevado índice desse íon era similar ao da pluma de contaminação. Cada uma das fontes apresentou valores isotópicos característicos e o  $^{15}\text{N}$  se mostrou como um excelente indicador de N derivado de resíduos humanos. Permitiu também uma boa delimitação das plumas de nitrato de origem séptica, uma vez que o  $\delta^{15}\text{N}$  do nitrato contido fora da pluma estava de acordo com as outras possíveis fontes, tais como esterco bovino, fertilizantes sintéticos, N-orgânico e do solo. Já o isótopo  $^{18}\text{O}$  não forneceu contraste suficiente que permitisse essa separação.

Bottcher et al. (1990) também utilizaram os isótopos estáveis  $^{15}\text{N}$  e  $^{18}\text{O}$  do nitrato para avaliar o processo de desnitrificação, estudando o fracionamento isotópico dos mesmos em área experimental conhecida como “*Furberger Feld*”, próxima a Hannover, Alemanha. Para a amostragem, utilizaram cinco poços multiníveis situados em floresta de coníferas e em área agrícola, o que permitiu caracterizar o  $\text{NO}_3^-$  em função da profundidade. Os autores verificaram que em dois casos foi possível associar a diminuição quantitativa do grau de concentração de  $\text{NO}_3^-$  ao processo de desnitrificação. Porém, nos demais casos não obtiveram uma interpretação definitiva, pois os resultados do fracionamento isotópico do  $\text{NO}_3^-$  poderiam estar mascarados pela variabilidade tanto da concentração do  $\text{NO}_3^-$  quanto da razão isotópica do  $\text{NO}_3^-$  presente na água de recarga dos dois ambientes estudados.

Preocupado com a poluição da atmosfera e da hidrosfera por compostos de nitrogênio, Heaton (1986) fez uma revisão de como estudos de variação da abundância isotópica natural (razão  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) poderiam ser empregados para investigar as fontes e os mecanismos de poluição. Identificou como as três principais causas de excesso de  $\text{NO}_3^-$  em solos, e conseqüente poluição de águas, a conversão de terras nativas em terras aráveis e o subseqüente cultivo dessas terras, que promoveriam a mineralização do N-orgânico presente no solo; a adição de fertilizantes nitrogenados; e, a eliminação concentrada de resíduos de animais e esgoto doméstico. Os dados apresentados no trabalho indicaram que essas fontes de  $\text{NO}_3^-$  produziram razões de  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  características, diferenciáveis entre si, e que poderiam ser utilizadas com sucesso na identificação de fontes de poluição por  $\text{NO}_3^-$  na hidrosfera, em uma ampla variedade de ambientes de água subterrânea e superficial. Essas diferenças, em sua grande maioria, seriam proporcionadas pelo fracionamento isotópico do N associado às reações mediadas por bactérias no solo (desnitrificação). Já para a atmosfera, o uso da razão  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  para distinguir as fontes antropogênicas de gases  $\text{NO}_x$  das naturais apresentou um potencial de aplicação importante, embora os dados para as diferentes formas e fontes de

emissão de N fossem limitados. Entretanto, não comprovou esse potencial devido à série de reações complexas que o N está sujeito na atmosfera e também pela dificuldade em se estudar essas reações.

Flipse e Bonner (1985) analisaram amostras de água subterrânea de duas áreas que receberam grande quantidade de fertilizantes, uma fazenda de batatas e um campo de golfe, em Suffolk County, NY, EUA, com o objetivo de verificar se os valores de  $\delta^{15}\text{N}$  do fertilizante aumentavam, durante o trânsito da superfície até a água subterrânea, para a faixa característica dos dejetos de animais. Para a fazenda de batatas os autores observaram que o valor médio do  $\delta^{15}\text{N}$  do fertilizante utilizado foi de 0,2‰ e o valor médio do  $\delta^{15}\text{N}$  do  $\text{NO}_3^-$  presente na água subterrânea analisada foi de 6,2‰; e para o campo de golfe o valor médio do  $\delta^{15}\text{N}$  do fertilizante utilizado e o presente na água subterrânea analisada foram de -5,9‰ e 6,5‰, respectivamente. Os altos valores do  $\delta^{15}\text{N}$  do  $\text{NO}_3^-$  presente na água subterrânea foram associados a um provável fracionamento isotópico causado pelas perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  do N aplicado na forma reduzida ( $\text{NH}_4^+$  e N orgânico). Com base nos resultados obtidos, onde o  $\delta^{15}\text{N}$  da maioria das amostras estiveram abaixo de 10‰, limite superior da escala característica de  $\text{NO}_3^-$  oriundo da agricultura; e comparando-os a estudos precedentes, onde os valores característicos de  $\delta^{15}\text{N}$  para dejetos de humanos e de animais em geral excediam os 10‰, os autores concluíram que, apesar do aumento do  $\delta^{15}\text{N}$  observado, seria possível distinguir a fonte de  $\text{NO}_3^-$  de origem agrícola da fonte de  $\text{NO}_3^-$  oriundo de dejetos de animais.

Kreitler (1979) avaliou a concentração média de  $\text{NO}_3^-$  em dois aquíferos distintos no Texas, EUA, onde no primeiro as fontes dominantes de  $\text{NO}_3^-$  eram terras cultivadas que recebiam fertilizantes a base de  $\text{NH}_4^+$  e no segundo havia o descarte de rejeitos de animais domésticos. Os valores isotópicos médios de  $\delta^{15}\text{N}$  identificados previamente para o  $\text{NO}_3^-$  das terras cultivadas sem fertilizantes foi de +4,9‰; e para os restos dos animais de +14,4‰. Para amostras dos campos cultivados fertilizados com  $\text{NH}_4^+$ , a razão do  $\delta^{15}\text{N}$  foi de +8,8‰;

enriquecimento esse associado à volatilização do  $\text{NH}_4^+$  após a aplicação do fertilizante. O  $\delta^{15}\text{N}$  do  $\text{NO}_3^-$  presente nas águas subterrâneas de poços de irrigação foi de +7,3‰; sendo que os poços domésticos apresentaram concentrações de  $\text{NO}_3^-$  mais elevadas, com um  $\delta^{15}\text{N}$  de +11,1‰. Com base nesses resultados, o autor concluiu que a contaminação da água subterrânea nos campos cultivados estaria associada aos fertilizantes a base de  $\text{NH}_4^+$  e que, para os poços domésticos, a contaminação teria sua origem nos rejeitos de animais.

Kreitler, Ragone e Katz (1978) utilizaram os valores isotópicos do nitrogênio ( $\delta^{15}\text{N}$ ) em águas subterrâneas, relacionando-os com o uso e ocupação do solo e procurando identificar as faixas de  $\delta^{15}\text{N}$  das principais fontes de  $\text{NO}_3^-$  que contribuíram ao sistema de águas subterrâneas em três áreas distintas de Long Island, NY, EUA. Observaram um deslocamento dos valores de  $\delta^{15}\text{N}$  nas amostras analisadas, sendo mais baixos na parte oriental da ilha (-3 a +2‰), onde o uso do solo era predominante a agricultura com uso de fertilizantes a base de N-inorgânico; intermediários para os campos cultivados sem fertilizantes (+2 a +8‰); até atingir valores maiores próximos à cidade de Nova Iorque (+10 a +20‰), onde as residências da região possuíam sistemas sépticos para esgoto.

O comportamento do N no ambiente também tem sido objeto de estudos no Brasil, tanto em áreas urbanas quanto rurais. As áreas de intensa ocupação agrícola têm recebido uma atenção maior nas últimas décadas, tendo em vista a importância do setor agrícola na economia e no desenvolvimento do país e também pela sua estreita relação com a qualidade da água de recarga dos mananciais superficiais e subterrâneos utilizados para consumo humano.

Silva et al. (2007), ao avaliarem os fluxos de C, N e principais íons em córregos com diferentes usos do solo em região de Cerrado, no Estado de São Paulo, observaram que a cana-de-açúcar, em relação à vegetação e ao eucalipto, representaram um importante fator de

modificação da química e do transporte de íons em pequenas bacias de drenagem, apresentando os maiores valores em todos os parâmetros avaliados nas três áreas.

Nos anos de 1980/1990, estudos de aplicação de vinhaça em solos cultivados com cana-de-açúcar indicavam a melhoria das propriedades do solo (pH, CTC,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  etc). Nesse período, as pesquisas referentes à lixiviação de nitrogênio abordavam apenas o N mineral, usualmente empregado na cultura de cana-de-açúcar. Essas pesquisas foram encaminhadas por diversos autores e seus dados indicaram diferentes variações nos conteúdos de  $\text{NO}_3^-$  do solo.

Orlando Filho et al. (1995) realizaram um ensaio com fertilizante N mineral e vinhaça para avaliar a lixiviação de N e possível contaminação do lençol freático em solo arenoso. Concluíram que não ocorreram problemas de contaminação do lençol freático devido à provável imobilização microbiológica do N no solo.

Reichardt et al. (1979) estudaram aspectos da dinâmica do N fertilizante, na forma de sulfato de amônio, durante o período de desenvolvimento de uma cultura de milho (*Zea mays* L.), com o objetivo de estimar a eficiência de sua utilização e as perdas por lixiviação na forma de  $\text{NO}_3^-$ . Puderam verificar que, nas condições do experimento, a cultura aproveitou 89,1% do N aplicado e as perdas por lixiviação foram desprezíveis. Entretanto, afirmaram que o aproveitamento do N por uma cultura pode ser sensivelmente afetado pela dinâmica da água no solo. Vitousek (1983) e Reis e Barros (1990) também indicaram que as perdas de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviação em solos brasileiros seriam mínimas, devido à existência de cargas elétricas positivas em profundidade no solo (Dydia, 2000).

Ao estudarem o destino do N fertilizante aplicado como uréia a uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) estabelecida num solo tropical, duas doses distintas de fertilizante e uma testemunha, com o objetivo de determinar a repartição do N em quatro componentes: a) a perda para a atmosfera; b) a que permanece no solo no final do cultivo; c) a contida na

colheita e d) a que escapa para a água subterrânea, Libardi e Reichardt (1978) fizeram um balanço do N e concluíram que as principais entradas ocorreram através do N fertilizante (doses de 40 e 120 kg N ha<sup>-1</sup>) e do NH<sub>4</sub><sup>+</sup> presente na chuva (4,6 kg N ha<sup>-1</sup> para todo o período da cultura), e que as principais saídas se deram pelo N retirado pela cultura (79,1 kg N ha<sup>-1</sup> para a testemunha, 82,5 kg N ha<sup>-1</sup> para a taxa de aplicação média e 102,1 kg N ha<sup>-1</sup> para a taxa de aplicação alta) e pela percolação profunda (6,72 kg N ha<sup>-1</sup>, valor médio para todas as parcelas). Em relação ao armazenamento no solo, ressaltaram que o mesmo possuía um alto teor de matéria orgânica, o que possibilitou um alto armazenamento de N, porém em forma não disponível para a cultura. Consideraram como N perdido por percolação profunda aquele que passou além de 90 cm de profundidade, uma vez que o fluxo de água observado no experimento foi descendente e que todo N contido na solução do solo foi transportado com a água por fluxo de massa.

Ao analisarem o deslocamento do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em Latossolo Vermelho-Amarelo muito argiloso através da mensuração da concentração do íon ao longo do perfil em três períodos distintos após a irrigação (4, 48 e 120 horas), em experimento conduzido em laboratório com colunas de solo irrigadas, Ferreira et al. (1990) observaram que a cada período avaliado ocorreu uma redistribuição do íon, que se concentrou em determinada profundidade de solo, e que, a cada irrigação, houve o deslocamento vertical descendente do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em função do avanço da frente de umidade. Nesse deslocamento vertical descendente verificaram também a diminuição da concentração do NO<sub>3</sub><sup>-</sup> após cada irrigação, indicando a ocorrência de perdas por lixiviação.

Nesse mesmo sentido, o de avaliar as perdas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação, Oliveira et al. (2001) aplicaram lodo de esgoto e adubação nitrogenada convencional em um Latossolo Amarelo distrófico, em área experimental com cultura de cana-de-açúcar. Observaram que as

perdas por lixiviação ocorreram e que em algumas aplicações elas chegaram a ultrapassar  $100 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

Araújo et al. (2004) estudaram a movimentação de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  em colunas de solo e verificaram a ocorrência de lixiviação dos mesmos em Latossolos muito argilosos, com altos teores de ferro e gibbsita, o que implicaria em maiores cuidados no manejo da adubação nitrogenada, corroborando o já observado por Ferreira et al. (1990) e Oliveira et al. (2001), isto é, que mesmo Latossolos podem apresentar lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ .

Camargo (1989) desenvolveu um estudo sobre a dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes uréia e aquamônia no solo, sob cultivo de cana-de-açúcar, em área experimental localizada no município de Piracicaba. Para isso, avaliou as movimentações horizontais e verticais do N em solução no solo, quantificando as perdas para fora do sistema radicular da planta a partir de resultados de densidade de fluxo de água e de concentração do N na solução do solo; verificou também o destino do N dos fertilizantes, por meio da técnica isotópica com  $^{15}\text{N}$ , em relação à lixiviação, volatilização, extração pela cultura e resíduo do N dos adubos imobilizado no solo. O movimento lateral foi caracterizado pela avaliação de  $^{15}\text{N}$  (átomos %) ao longo do perfil do solo em dois locais distintos, no sulco de adubação e na entrelinha, sendo que os maiores valores médios de  $^{15}\text{N}$  foram obtidos para a camada mais superficial do solo no sulco de adubação e os resultados para as amostras colhidas na entrelinha evidenciaram o movimento lateral do  $^{15}\text{N}$  dos fertilizantes no solo. As chuvas intensas após a adubação contribuíram para uma maior movimentação dos fertilizantes no sentido vertical, ao longo do perfil do solo, sendo que o autor considerou como perdas por lixiviação o N dos fertilizantes presente na solução do solo a 1 m de profundidade, já fora do perfil de solo explorado pelo sistema radicular da cana-de-açúcar. As perdas por volatilização foram consideradas baixas, na ordem de  $0,15 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_3$  volatilizado, média de todos os tratamentos, para os 47 dias de amostragem após a adubação; o autor destacou que esses

resultados foram influenciados pela incorporação dos fertilizantes ao solo e pelo regime de chuvas no período de estudo. O destino do N dos fertilizantes no sistema solo-planta para o tratamento com uréia foi de 14,4% extração pela cultura, 0% de perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$ , 13,5% de N residual no solo e 28,2% lixiviado durante os 3 meses analisados e, para fechar o balanço, 43,9% foram consideradas como outras perdas. Para o tratamento com aquamônia, os resultados foram 18,4; 0; 22,8; 7,5 e 51,3%, respectivamente. O destino considerado como outras perdas evidenciaram as dificuldades em conduzir estudos dessa natureza e foram associados à lixiviação do N dos fertilizantes abaixo de 1 m de profundidade no solo durante todo o período de experimento, à desnitrificação e às perdas por volatilização foliar.

Além da adição de fertilizantes nitrogenados pelo homem, é importante considerar também os aportes atmosféricos, pois as deposições atmosféricas constituem um dos principais mecanismos de ciclagem e redistribuição dos vários elementos químicos sobre a superfície do planeta, exercendo papel fundamental nos processos biogeoquímicos continentais e oceânicos. A chuva precipita os materiais sólidos, líquidos e gasosos presentes na atmosfera, incorporados durante a condensação das nuvens, *rainout*, e na lavagem da atmosfera, *washout*, quando ocorre a precipitação (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; RÉ POPPI, 1997). Há uma relação inversa entre o total de íons dissolvidos e a quantidade de chuva precipitada, sugerindo que a maior parte dos íons presentes na água de chuva a ela se incorporam durante a precipitação (SOUZA et al. 2006). As concentrações dos constituintes químicos presentes na água de chuva são de natureza variável e dependem da fonte de origem, como, por exemplo, a poluição industrial ou a queima de biomassa, como ocorre nos canaviais durante a época de colheita; da direção predominante dos ventos; da sazonalidade e intensidade das chuvas; entre outros fatores.

Entre os estudos desenvolvidos no Brasil, visando compreender melhor a química das águas das chuvas e suas possíveis conseqüências no ambiente, pode-se destacar o de Moreira-Nordemann, Girard e Ré Poppi (1997), que, entre outros resultados, evidenciaram a influência da queima de biomassa na composição química das chuvas em área de cerrado, na região de Campo Grande, MS, e que, apesar da queima de biomassa ocorrer de forma sazonal, as taxas de deposição de  $\text{NO}_3^-$  ( $0,60 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) e  $\text{NH}_4^+$  ( $0,37 \text{ t km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ) foram consideradas altas.

As práticas agrícolas da cultura da cana-de-açúcar afetam sobremaneira a química da atmosfera, com reflexos diretos sobre a composição química das chuvas. A queima de pré-colheita da cana-de-açúcar pode provocar a emissão de poluentes na atmosfera em curto espaço de tempo, com a liberação de gases e particulados em suspensão, com destaque para o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e cinzas (RIPOLI; RIPOLI, 2004). Entre as contribuições da atividade agrícola em si, provenientes do manejo da cultura, há a liberação de gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{NH}_3$ ) oriundos do incremento da atividade microbiana no solo, em função de adubações e degradação de restos culturais, e também a suspensão de material particulado oriundos do preparo de solos e da erosão mecânica causada pelos ventos sobre o solo nú, entre outras.

Ao estudar duas microbacias hidrográficas no município de Agudos, São Paulo, localizadas nas proximidades de extensos canaviais, Oliveira (1989) verificou que o íon de maior concentração na água da chuva foi o  $\text{NO}_3^-$ , sendo que essa concentração aumentou sensivelmente durante os meses de ocorrência de queimadas nos canaviais da região; observou também que o balanço dos nutrientes nas bacias experimentais indicaram uma acumulação de  $\text{NO}_3^-$  nos ecossistemas, na ordem de  $3,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  para uma microbacia e de  $2,73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  para a outra microbacia.

Krusche et al. (2003), em estudo conduzido na bacia do Rio Piracicaba, São Paulo, região com extensos canaviais e pastos, observaram uma deposição de aproximadamente  $9,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  de N total na bacia.

Ainda na bacia do Rio Piracicaba, Lara et al. (2001) investigaram os efeitos de diferentes atividades antrópicas e suas emissões na composição química da chuva em quatro áreas ao longo do rio Piracicaba, onde a influência da cultura da cana-de-açúcar, presente em aproximadamente um terço da área total do estudo, se mostrou importante. As taxas de deposição anual observadas tanto para o  $\text{NH}_4^+$  quanto para o  $\text{NO}_3^-$  foram significativas nas quatro áreas (Bragança com  $22,4 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  e  $18,1 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ ; Campinas com  $19,8 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  e  $23,0 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ ; Piracicaba com  $7,7 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  e  $17,9 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ ; e Santa Maria com  $16,0 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NH}_4^+$  e  $14,8 \text{ meq m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  de  $\text{NO}_3^-$ )

Mais recentes são os estudos sobre o comportamento do N em áreas naturais sujeitas às pressões das atividades antrópicas, onde a aplicação de fertilizantes nitrogenados ainda é insipiente, como a que ocorre na região amazônica, na interface entre a floresta e as novas fronteiras agrícolas do Brasil. Castellanos Bonilla (2005) desenvolveu seu trabalho em duas microbacias pareadas, uma com cobertura florestal nativa e outra onde a floresta foi convertida a pasto, que nunca foi mecanizado ou adubado, na região central de Rondônia, a sudeste de Ariquemes, com o objetivo de estudar algumas alterações do ciclo do N em relação à concentração e às formas de N predominantes nas águas de chuva, precipitação interna na floresta, água subsuperficial, água subterrânea, escoamento superficial e água de igarapé. Procurou avaliar também a qualidade e as formas de N exportadas por cada microbacia e as vias hidrológicas pelas quais o N atinge os igarapés. A autora observou que os maiores fluxos de água ocorreram na microbacia coberta por pasto, como consequência de mudanças na estrutura física do solo, sendo que esse aumento de descarga acarretou em uma maior

exportação de N. Verificou também diferenças nas formas de N predominantes em cada compartimento estudado, onde as formas de N inorgânico observadas em cada compartimento indicaram diferentes condições de oxi-redução. A principal forma de N inorgânico dissolvido no igarapé da floresta foi o  $\text{NO}_3^-$ , enquanto que para o igarapé do pasto houve o predomínio do  $\text{NH}_4^+$ , indicando que o N foi processado de forma diferente em cada uma das microbacias e que as taxas de mineralização e nitrificação foram mais altas na floresta do que no pasto. Em relação às diferentes fontes de água em cada microbacia, o método utilizado não permitiu identificar um elemento que diferenciasse claramente as fontes. Entretanto, verificou que houve o predomínio de  $\text{NH}_4^+$  nas águas subsuperficial e subterrânea das duas microbacias, sugerindo a existência de condições de anóxia nessas duas fontes; destacando ainda que o predomínio de  $\text{NH}_4^+$  no igarapé do pasto representou aproximadamente 100% do N inorgânico dissolvido.

### 3. ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido em área com cultivo de cana-de-açúcar de propriedade da Usina São Luiz – Dedini. O talhão experimental de cana-de-açúcar (Lat. 21°56'07''S, Long. 47°10'54''W), localizado na quadra 2 da Fazenda São Sebastião do Morro Alto Grotão, no município de Santa Cruz das Palmeiras, SP, foi utilizado como referência geográfica para a localização da área de estudo (Fig. 2).

O talhão experimental é objeto de estudo do projeto temático “Rendimento da cana-de-açúcar em ciclos consecutivos associados ao efeito residual e às transformações do N e S no solo, em sistema conservacionista” (PROC. FAPESP N° 2002/10534-8) sob coordenação do Prof. Dr. Paulo César Ocheuze Trivelin, no qual este trabalho está inserido, visando ampliar o estudo do N inorgânico dissolvido também para os recursos hídricos.

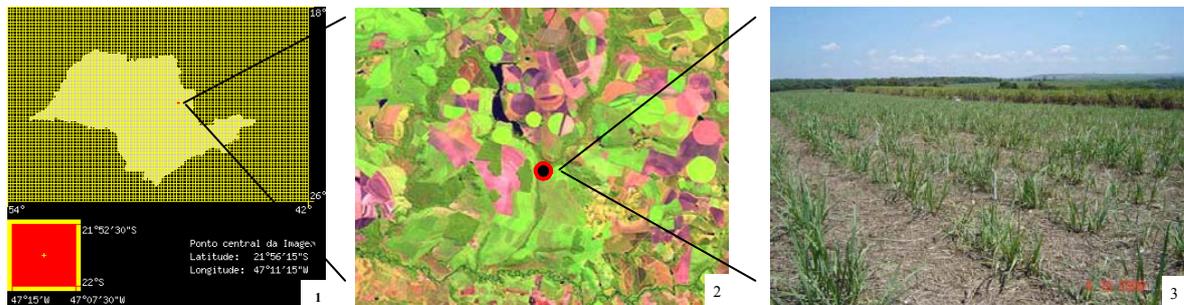


Figura 2. Localização do talhão experimental na Fazenda São Sebastião do Morro Alto Grotão, no município de Santa Cruz das Palmeiras, SP.

Fontes: (1, 2) [http://www.cdbrasil.cnpemembrapa.br/sp/img0/sp31\\_52.jpg](http://www.cdbrasil.cnpemembrapa.br/sp/img0/sp31_52.jpg), (3) Prof. Dr. Paulo C. O. Trivelin.

A região onde se insere o presente estudo está localizada sobre a Depressão Periférica do Estado de São Paulo, na unidade morfológica denominada Depressão de Moji-Guaçú, e se mostra intensamente modificada pela ocupação agropecuária, principalmente pela introdução

da cana-de-açúcar, de pastagens e de culturas temporárias, restando poucos remanescentes da vegetação nativa, que se encontram bastante fragmentados (INSTITUTO FLORESTAL, 2005).

### **3.1.1. Caracterização Geomorfológica**

A Depressão de Mogi-Guaçú localiza-se na porção centro norte do Estado de São Paulo e é delimitada pelo Planalto Atlântico a leste, o Planalto Ocidental Paulista a oeste, a Depressão do Médio Tietê ao sul e o Estado de Minas Gerais ao Norte. Sua litologia é representada basicamente por arenitos finos, arcóseos, argilitos, siltitos, calcáreos e folhelhos. Os solos são do tipo Latossolo Vermelho-amarelo, Latossolo Vermelho-escuro e Podzólico Vermelho-amarelo. A região apresenta relevo predominante de colinas de topos tabulares amplos e vales entalhados até 20 metros, altimetrias entre 500 e 650 m e declividades entre 5 e 10%. A drenagem, nesta unidade de relevo, apresenta um padrão dendrítico com algum condicionamento estrutural, tendo como principais rios o Moji-Guaçú e o Pardo (ROSS; MOROZ, 1997).

### **3.1.2. Solo**

O uso e ocupação do solo na área experimental e em seu entorno destinam-se principalmente ao cultivo de cana-de-açúcar. Segundo informações obtidas junto ao setor técnico da área agrícola da Usina São Luiz – Dedini, a área é de um Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico. O talhão experimental vem sendo cultivada com cana-de-açúcar desde 1977, num total de seis ciclos, de reforma a reforma. Antes disso, apresentava cobertura vegetal nativa.

O talhão nunca recebeu aplicação de torta de filtro nem de cinzas; e, devido à distância da Usina, somente baixas doses de vinhaça ( $50-60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foram aplicadas nas quatro safras anteriores à de 2003/2004. Por fim, a caracterização química do solo, realizada pela própria Usina, não indicou a necessidade de gessagem e recomendou a calagem em dose baixa.

Em novembro de 2004, Otto (2007) realizou a caracterização química e física do solo (Tabela 1), a partir de amostras coletadas em diferentes profundidades na parede de uma trincheira aberta na área de bordadura do experimento, sendo amostras indeformadas para a determinação de densidade do solo e amostras deformadas para análise química, corroborando as informações fornecidas pela área agrícola da Usina São Luiz.

Tabela 1 - Caracterização química e física do Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico (Typic Eutruxox), Usina São Luiz – Dedini, Santa Cruz das Palmeiras, SP (OTTO, 2007).

Horizonte	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V	Argila	$\rho^*$
diagnóstico	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$				$\text{mmol kg}^{-1}$			%	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{kg m}^{-3}$
Ap (0,2 m)	7,2	20	10	1,9	43	11	0	8	63,9	87	260	1641
BA (0,44 m)	6,5	8	1	2,6	7	3	0	11	23,6	53	269	1634
BW <sub>1</sub> (0,81 m)	6,9	6	2	2,5	11	4	0	10	27,5	64	248	1445
BW <sub>2</sub> (0,81+)	6,4	8	1	1,8	18	7	0	11	37,8	71	231	1373

\* $\rho$  = densidade do solo.

### 3.1.3. Vegetação

A cobertura vegetal característica da macro-região é a Savana e a Savana Florestada (INSTITUTO FLORESTAL, 2005; IBGE, 1991), que apresentam uma riqueza florística e grande variação fisionômica, indo desde um campo limpo, com predomínio de herbáceas, até o cerrado, com formas predominantemente arbóreas.

A região encontra-se numa zona intermediária entre esses dois ecótonos, identificada como campo de cerrado (BATALHA; ARAGAKI; MANTOVANI, 1997). Sua vegetação é representada por um conjunto de plantas de estrutura semelhante, adaptadas a ambientes secos, composta por espécies lenhosas e ou herbáceas que apresentam duplo modo de sobrevivência ao período desfavorável, um subterrâneo, através de xilopódios ou órgãos de reserva subterrâneos, e outro aéreo, com gemas e brotos de crescimento protegidos por catafilos.

Com uma fisionomia típica, essas plantas apresentam-se com alturas variáveis, desde 0,25 até cerca de 15 metros, sendo que as espécies lenhosas apresentam troncos tortuosos com ramificações irregulares, revestidos de súber ou cortiça. Entre as espécies dominantes podem-se destacar o pequi (*Caryocar brasiliense*), o pau de colher (*Salvertis convallariodora*), a sucupira preta (*Boldichia virgilioides*), o faveiro (*Dimorphandra mollis*), o pau terra de folhas grandes (*Qualea grandiflora*), o pau terra de folhas miúdas (*Qualea parviflora*), o angico preto (*Anadenanthera peregrina*) e o pau santo (*Kielmeyera coriacea*) (INSTITUTO FLORESTAL, 2005; IBGE, 1991).

#### **3.1.4. Hidrologia**

A caracterização do regime pluviométrico da região onde a área de estudo se encontra foi realizada a partir dos dados hidrológicos referentes à precipitação obtidos junto ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - SIGRH. A figura 3 apresenta a precipitação média mensal na região, que foi calculada a partir da série histórica de dados referente ao período de 1972 a 2003 para o Posto DAEE prefixo C4-033, localizado no município de Pirassununga (Lat. 22°02'00"S, Long. 47°25'00"W), a uma altitude de 670 m.

O clima da região é tipo AW, tropical de savana, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por estação chuvosa nos meses de outubro a março, com precipitação pluvial média anual de 1303 mm, umidade relativa média de 73% e temperatura média compensada de 23°C (SIGRH, 2007).

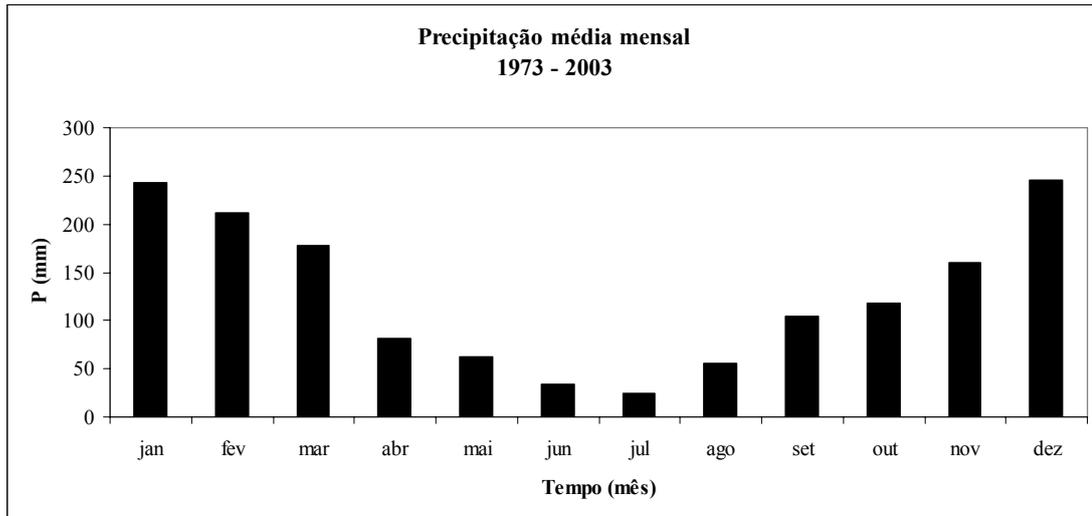


Figura 3. Precipitação média mensal para o posto DAEE prefixo C4-033 (SIGRH - 1973 a 2003), localizado no município de Pirassununga, SP (SIGRH, 2007).

### 3.2. Características dos pontos de amostragem

Para a execução deste trabalho foram definidos quatro pontos de amostragem: Pluviômetro, Ribeirão dos Cocais, Extratores de Solução de Solo e Lençol Freático, sendo o primeiro para coleta de águas de chuvas e mensurar o volume precipitado na área experimental, o segundo para coleta de águas superficiais e o terceiro e quarto para coleta de águas sub-superficiais. Todos os pontos foram georreferenciados em campo, utilizando-se um GPS portátil Garmin modelo Etrex e a localização de cada um deles está representada na figura 4.

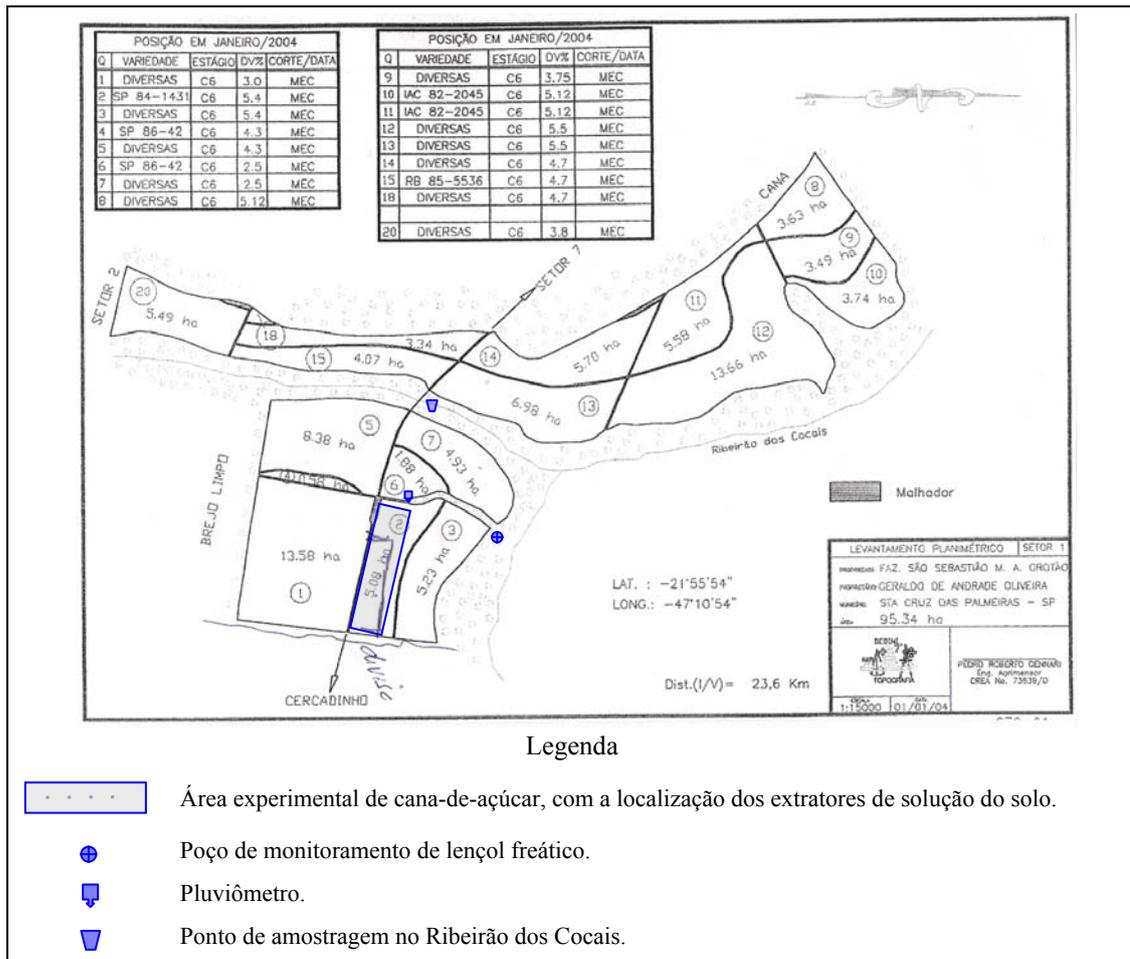


Figura 4. Mapa planimétrico da Fazenda São Sebastião do Morro Alto Grotão, município de Santa Cruz das Palmeiras, SP. Os pontos de amostragem foram plotados pelo autor deste trabalho. Fonte: Usina São Luiz – Dedini.

### 3.2.1. Pluviômetro

O ponto de amostragem denominado Pluviômetro compreende um conjunto composto por um pluviômetro e um coletor-amostrador (Fig. 5), que foram instalados em 25 de maio de 2005, no entroncamento dos carregadores que margeiam os talhões 2 e 6 (Lat 21°56'06"S, Long 47°10'46"W), sendo o primeiro o talhão experimental de cana-de-açúcar em estudo, a 590 m de altitude em relação ao nível do mar. O local escolhido apresentou um raio mínimo de 5 m de área limpa, evitando-se assim possíveis interferências dos talhões de cana-de-açúcar quando dos eventos de chuva. Além da proximidade ao talhão experimental de

cana-de-açúcar, considerou-se também na escolha do local a facilidade de acesso para a coleta de amostras de águas de chuva, leitura da pluviosidade e a limpeza e manutenção dos equipamentos.

O carreador foi utilizado pela equipe técnica do projeto temático e pelos funcionários da fazenda como área de apoio para a condução do talhão experimental de cana-de-açúcar, apresentando um fluxo periódico de veículos e pessoas próximo ao pluviômetro. Por questões de segurança, instalou-se uma tela de proteção (sombrite) a 0,8 m do pluviômetro.



Figura 5. Ponto de amostragem Pluviômetro, com o conjunto pluviômetro + coletor amostrador, no dia de sua instalação (1) e após a colocação da tela de proteção (2).

### 3.2.2. Ribeirão dos Cocais

O ponto de amostragem Ribeirão dos Cocais (Fig. 6) localizou-se à esquerda da estrada que liga o setor 7 à localidade de Cercadinho, distante 8 m à jusante do ponto onde cruza a estrada (Lat 21°56'07"S, Long 47°10'56"W), a uma altitude de 580 m em relação ao nível do mar. Esse ponto de amostragem está a 300 m do talhão experimental de cana-de-açúcar, conforme apresentado na figura 4. A montante do ponto de coleta, a área de drenagem da microbacia do Ribeirão dos Cocais é de 3,5 km<sup>2</sup>.



Figura 6. Ribeirão dos Cocais, com a direção do fluxo de água e a identificação do local de amostragem.

Em seu entorno verificou-se a ocupação por cana-de-açúcar (talhões 15, 18 e 20 na margem esquerda e talhão 5 na margem direita) e um brejo limpo à montante do ponto de amostragem, que apresentou água somente nos meses de chuva. Na área ciliar do Ribeirão dos Cocais, de aproximadamente 10 m em cada margem, encontraram-se poucos indivíduos arbóreos, sendo sua quase totalidade ocupada por gramíneas que avançavam até o leito do ribeirão.

Após a limpeza do local de amostragem, o Ribeirão dos Cocais apresentou um canal estreito de 1,0 m de largura, com leito irregular e pouco profundo no eixo central do canal (0,1 m, aproximadamente). Devido à pouca profundidade do Ribeirão dos Cocais, as medidas de vazão foram feitas no interior de um tubo que passa sob a estrada, através de um furo a 0,4 m de sua extremidade, conforme pode ser observado na figura 7. Este local mostrou-se mais adequado por apresentar profundidade suficiente para a leitura do fluxo de água com o equipamento Micromolinet Global Water FP 101 e permitir uma medida precisa da área da seção transversal do tubo no ponto de leitura.



Figura 7. Ponto de medida de velocidade do fluxo de água do Ribeirão dos Cocais.

### 3.2.3. Extratores de Solução do Solo

O ponto de amostragem extratores de solução do solo esteve vinculado ao talhão experimental de cana-de-açúcar implantado na quadra 2 da Fazenda São Sebastião do Morro Alto Grotão (Lat 21°56'07"S, Long 47°10'04"W), com uma área de 5,08 ha (Fig. 4). O preparo do solo foi convencional, com as seguintes operações: passagem de grade aradora para eliminação da soqueira, subsolagem, aplicação de 2 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico e de 2 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola, grade aradora, grade intermediária e sulcação.

A figura 8 ilustra o croqui do talhão experimental de cana-de-açúcar que foi instalado entre os dias 21 e 24 de fevereiro de 2005. Após a sulcação do solo, foram marcadas as parcelas, 48 sulcos de 15 m de comprimento cada, e delimitados os carregadores, de 2,5 m entre as parcelas e os blocos (delineamento casualizado). Aplicou-se de 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, na forma de superfosfato simples e de cloreto de potássio, respectivamente, e adubação com uréia nas doses de 40, 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, nas parcelas correspondentes. Foram marcadas quatro microparcelas nas parcelas adubadas com uréia na dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, uma em cada bloco, onde a uréia foi substituída por <sup>15</sup>N-uréia, mantendo-se a dose de adubação. O plantio foi realizado no dia 22 de fevereiro de 2005.

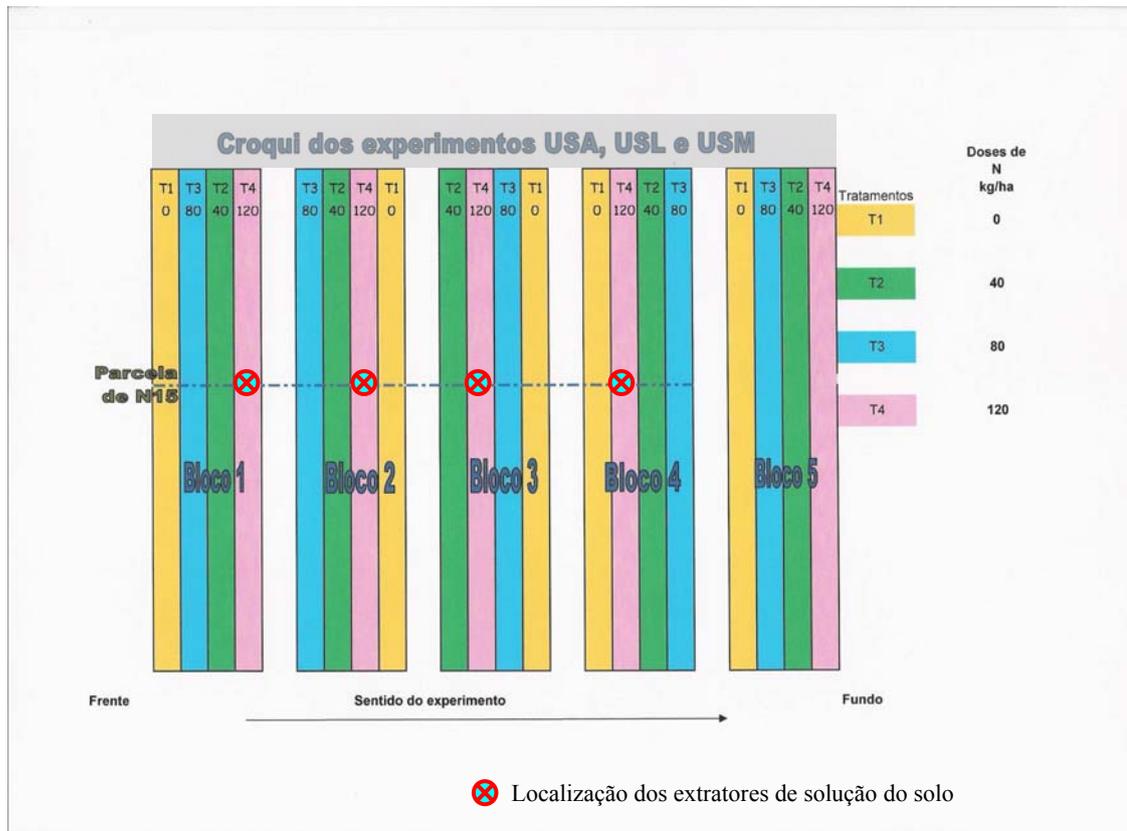


Figura 8. Croqui do talhão experimental de cana-de-açúcar, com o delineamento dos blocos e parcelas e a localização das quatro baterias de 3 tensiômetros + 1 extrator de solução do solo.

Em 16 de agosto de 2005 foram instalados junto às parcelas adubadas com  $^{15}\text{N}$ -uréia, dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ , quatro conjuntos compostos de três tensiômetros e um extrator de solução do solo cada um, com as profundidades de 0,8, 0,9 e 1,0 m para os tensiômetros e 0,9 m para o extrator de solução do solo (Fig. 9 e 10). Para a instalação dos conjuntos de tensiômetros + extrator de solução do solo, removeu-se uma camada superficial de 0,05 m de solo na microparcela; com um trado de rosca de diâmetro semelhante ao do tubo dos equipamentos, perfurou-se o solo nas profundidades desejadas e instalaram-se os conjuntos, recolocando o solo removido no local de origem. Para evitar infiltrações preferenciais de água

pela parede do tubo dos equipamentos, adaptou-se uma placa de borracha (câmara de ar) circular ao tubo (Fig. 9), que foi recoberta de com o solo removido.



Figura 9. Extrator de solução do solo, instalado em 16 de agosto de 2005, junto às microparcels adubada com  $^{15}\text{N}$ -uréia, dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ .



Figura 10. Detalhe da bateria de tensiômetros, instalados em 16 de agosto de 2005, junto às microparcels adubada com  $^{15}\text{N}$ -uréia, dose de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ .

O ponto de amostragem extratores de solução do solo contou com quatro postos de amostragem, que foram nomeados de acordo com o bloco em que se localizaram, ou seja, extrator 1 no bloco 1, extrator 2 no bloco 2, extrator 3 no bloco 3 e extrator 4 no bloco 4,

todos na curva de nível de 600 m de altitude em relação ao nível do mar. Para este estudo foram utilizados somente os volumes de solução do solo coletados pelos extratores.

#### **3.2.4. Lençol Freático**

No final de 2006, foi proposto incluir no projeto a amostragem de água do lençol freático próximo ao experimento, para uma melhor avaliação hidroquímica do sistema, uma vez que as amostras de solução do solo permitiram uma visão mais próxima à planta e o comportamento do N inorgânico dissolvido na região próxima à influência radicular da cana-de-açúcar. Optou-se pela instalação de um poço para amostragem de água do lençol freático na mesma encosta da área experimental, distante aproximadamente 200 m do talhão experimental de cana-de-açúcar, seguindo pelo carreador lateral ao pluviômetro, local que apresentou melhores condições de perfuração e amostragem. O poço para amostragem de água do lençol freático foi localizado nas coordenadas Lat 21°55'56"S, Long 47°10'43"W, a uma altitude de 579 m em relação ao nível do mar.

Foram necessárias duas perfurações para se atingir o lençol freático, nas quais se utilizou um trado manual com copo de 100 mm. Como o trado adquirido possui um cabo de apenas 1 m, confeccionou-se cinco extensores com tubo galvanizado de 25 mm de diâmetro, com 1,20 m cada, que foram unidos ao cabo do trado por luvas de ferro galvanizado, permitindo atingir a profundidade de até 7 m.

A primeira perfuração ocorreu em 24 de janeiro de 2007 (Fig. 11). Foi escolhido um local a aproximadamente 100 m de distância do talhão experimental, à margem do carreador que passa ao lado do pluviômetro. Após perfurar 6 m sem encontrar o lençol freático, decidiu-se locar o poço em outro ponto.



Figura 11. Perfuração do poço de amostragem de água do lençol freático em 24/01/2007.

A segunda perfuração ocorreu em 13 de fevereiro de 2007 (Fig. 12). A nova localização se deu na lateral de uma pequena mata ciliar existente na extremidade do talhão 3, descendo pelo mesmo carreador da perfuração anterior, 100 m encosta abaixo. Ao redor desse ponto, tomando-se um raio de 15 m a partir do poço, encontram-se as extremidades dos talhões 3 e 7, plantados com cana-de-açúcar comercial, uma pequena mata entre os carreadores que margeiam os talhões 3 e 7, e, fechando o entorno, uma mata ciliar de 50 m de largura até chegar a um pequeno curso d'água intermitente, como ilustrado na figura 4.



Figura 12. Perfuração e instalação do poço de amostragem de água do lençol freático em 13/02/2007.

O lençol freático foi encontrado à 1,70 m de profundidade e a perfuração foi concluída quando se atingiu 6 m de profundidade. A instalação do poço foi feita em conformidade com a NBR 13895/1997 (ABNT, 1997), com a introdução de um tubo de pvc rígido de 5 m de

comprimento e 100 mm de diâmetro, para a sustentação da parede do poço, unida a um filtro de 1,20 m de comprimento e 100 mm de diâmetro, desenvolvido e confeccionado no laboratório. O poço instalado atingiu a profundidade de 5,70 m, conforme pode ser observado no perfil esquemático mostrado na figura 13. Deixou-se 0,5 m de tubo acima do solo e na sua extremidade foi colocada uma tampa de pvc rígido de 100 mm, evitando assim possíveis contaminações do poço pela entrada de corpos estranhos, principalmente pequenos animais, poeira e folhas.

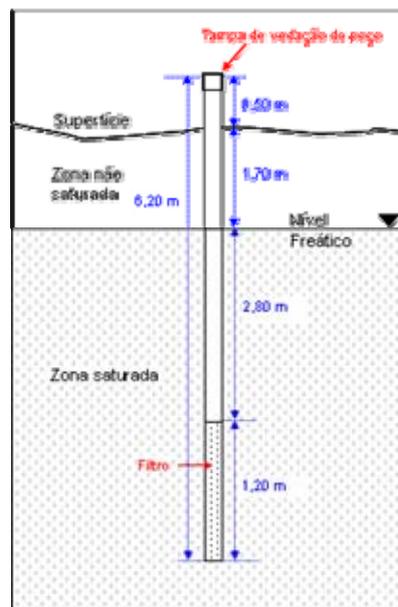


Figura 13. Perfil esquemático do poço de amostragem de água do lençol freático.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

O desenvolvimento metodológico proposto para o presente trabalho foi elaborado a partir dos protocolos de amostragem e de determinações químicas para o estudo de especiação e balanço iônico de aportes atmosféricos (chuva) e perdas por lixiviação no solo, constantes do projeto temático: “Rendimento da cana-de-açúcar em ciclos consecutivos associados ao efeito residual e às transformações do N e S no solo, em sistema conservacionista” (PROC. FAPESP Nº 2002/10534-8), os quais foram modificados e ampliados para atender ao objetivo do presente trabalho.

### **4.1. Materiais e equipamentos utilizados**

Cromatógrafo iônico Dionex - ICS-90

Estufa de secagem com circulação de ar Maconi MA037

Freezer horizontal Reubly CHDA 41

Medidor digital de fluxo do tipo Micromolnete Global Water FP 101

Medidor digital de pH portátil Digimed DM2

Medidor digital de condutividade portátil Digimed DM4

Microbureta de 2 mL Gilmont, para a microtitulação de Gran

Bomba manual de vácuo Mityvac, -100 kPa

Sistema de filtração manual à vácuo (47 mm)

Filtros de membrana ha em ésteres de celulose 0,45 µm e 47 mm Millipore

Vidraria convencional de laboratório

Frascos de vidro (100, 500 e 1000 mL)

Frascos de polietileno (50, 100 e 500 mL)

N<sub>2</sub>, gás inerte Air Liquide.

Sais para preparo de soluções e padrões para cromatografia iônica:

$\text{NH}_4\text{NO}_3$ ;  $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{LiCl}$ ;  $\text{NaF}$ ;  $\text{NaNO}_2$ ;  $\text{NaBr}$ ;  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; teor 99,0%, Merck

$\text{NaCl}$ ;  $\text{KCl}$ ; teor 99,5%, Merck

$\text{NaHCO}_3$ ; teor 99,7%, Merck

$\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; teor 99,9%, Merck

$\text{MgCl}_2$ ; teor 99,0%, Labsynth

$\text{NaCH}_3\text{COO}$ ; teor 99,0%, J. T. Backer

Ácidos para preparo de soluções e padrões para cromatografia iônica:

$\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{HNO}_3$ ;  $\text{HCl}$ ; p.a.

Ácido Metanosulfônico ( $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ ), 98%

Hidróxido Tetrabutilamonio – TBAOH ( $\text{C}_{16}\text{H}_{37}\text{NO}$ ), solução 40%, Vetec

#### 4.2. Protocolo de Amostragem

Foram coletadas amostras de água de chuva, do Ribeirão dos Cocais, do solo (solução do solo) e do lençol freático, em seus respectivos pontos de amostragem, conforme apresentado na figura 4. Todos os volumes coletados foram acondicionados em frascos de polietileno e mantidos sob refrigeração ( $4\text{ }^\circ\text{C}$ ) no escritório dos técnicos agrícolas da Usina São Luiz. Para o transporte até o Laboratório de Isótopos Estáveis do CENA/USP, as amostras foram acondicionadas em caixa de isopor com gelo e, ao chegarem, foram armazenadas sob refrigeração a  $4\text{ }^\circ\text{C}$  até serem analisadas.

O detalhamento do protocolo de amostragem utilizado para cada ponto e tipo de coleta pode ser observado a seguir.

#### 4.2.1. Pluviômetro

As amostras de água de chuva foram coletadas durante o período de 01/09/2005 a 09/12/2007, em pluviômetro + coletor-amostrador instalados no carreador lateral à área experimental de cana-de-açúcar (Fig. 14) e acondicionadas em frascos de polietileno de 50 mL, que foram identificados com a data da coleta e o volume precipitado em mm de chuva. A cada evento de chuva, realizou-se a medida do volume precipitado no dia, através do esgotamento do reservatório do pluviômetro em proveta graduada previamente calibrada, e a coleta de amostra de água do reservatório do coletor-amostrador, instalado para essa finalidade. Procurando evitar a contaminação das amostras coletadas, o conjunto pluviômetro + coletor-amostrador foi lavado semanalmente, para a remoção de materiais indesejáveis, como poeira, folhas e insetos.



Figura 14. Detalhe do conjunto pluviômetro + coletor-amostrador de água de chuva instalado na área experimental em 24 de maio de 2005 (Lat. 21°56'06''S, Long. 47°10'46''W).

#### 4.2.2. Ribeirão dos Cocais

Amostras quinzenais de água do Ribeirão dos Cocais foram coletadas durante o período de 21/10/2005 a 11/12/2007, utilizando-se frascos de polietileno de 500 mL. O

procedimento de coleta consistiu em mergulhar o frasco de polietileno no eixo central do canal, orientando sua boca no sentido contrário ao da correnteza e esperando o volume se completar (Fig. 6). A cada três meses uma pequena área ao largo do canal do Ribeirão dos Cocais foi limpa, visando facilitar os trabalhos de amostragem.

#### 4.2.3. Extratores de solução do solo

As amostras de solução do solo foram obtidas por meio de extração com cápsula porosa, com o emprego de extratores de solução do solo (Fig. 15).

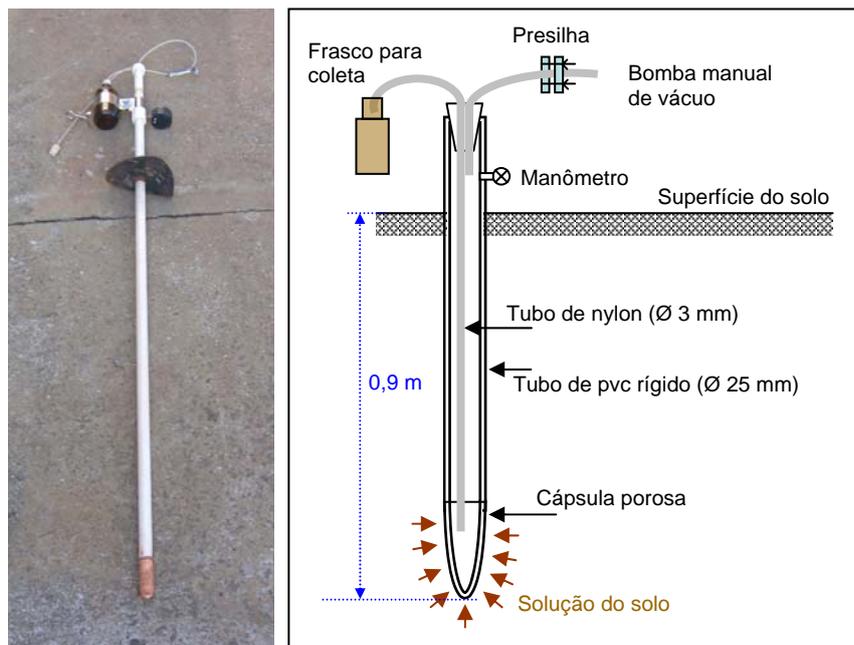


Figura 15. Extrator de solução do solo e seu respectivo esquema.

O procedimento adotado foi: retirada do frasco de coleta para drenagem e limpeza e recolocação no sistema; a seguir, acoplou-se uma bomba manual de vácuo ao sistema, liberando-se a presilha para execução de vácuo até atingir 500 mmHg (0,66 atm), que foi controlado através do manômetro do sistema; fechou-se a presilha para manter o vácuo e desacoplou-se a bomba manual do sistema; após aguardar 24 horas para que a solução do solo

entrasse no sistema e ficasse armazenada na cápsula porosa, a presilha foi novamente liberada permitindo a entrada de ar no sistema; aguardou-se mais 24 horas, tempo suficiente para que a solução do solo armazenada na cápsula porosa pudesse se deslocar para o frasco de coleta do sistema, por diferença de pressão. Após isso, o volume armazenado no frasco de coleta do sistema foi transferido para um frasco de polietileno de 100 mL e armazenado sob refrigeração.

O procedimento de amostragem foi realizado durante o período de 03/01/2006 a 28/04/2006. O vácuo foi feito em três dias da semana (segundas, quartas e sextas) e no dia seguinte (terças, quintas e sábados) a presilha foi liberada para entrada de ar no sistema, a transferência de amostra para o frasco de polietileno foi executada, a princípio, nas segundas, quartas e sextas, sempre que havia volume de amostra no frasco de coleta do sistema; caso contrário, aguardou-se mais um dia.

#### **4.2.4. Lençol Freático**

A amostragem de água do lençol freático foi feita quinzenalmente, durante o período de 01/03/2007 a 11/12/2007. Para amostrar água do lençol freático foi desenvolvido em laboratório um coletor em tubo de pvc rígido, de acordo com a NBR 13895/1997 (ABNT, 1997).

O coletor, apresentado na figura 16, tem 1,20 m de comprimento e um volume útil de 250 mL, contém uma válvula de retenção e um lastro de chumbo de 0,4 kg em uma das extremidades e um cabo de aço revestido com plástico em outra, para o lançamento e retirada do coletor do interior do poço.

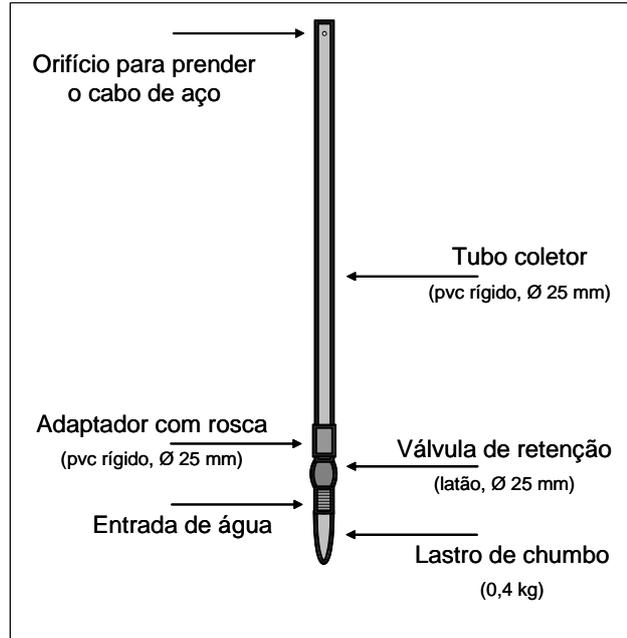


Figura 16. Esquema do coletor de amostras de água do lençol freático.

### 4.3. Protocolo Analítico

As amostras de água de chuva, do Ribeirão dos Cocais, do lençol freático e de solução do solo foram filtradas manualmente a vácuo utilizando filtros de membrana de celulose Millipore de 0,45  $\mu\text{m}$ , visando eliminar os particulados em suspensão presentes nas amostras (Fig. 17).



Figura 17. Sistema de filtração manual a vácuo.

Após a filtração, as amostras foram analisadas através de cromatografia iônica (IC), utilizando-se o equipamento Dionex ICS-90. A identificação e quantificação, em  $\text{mg L}^{-1}$ , dos íons nitrogenados  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  e  $\text{NO}_3^-$  e demais cátions e ânions majoritários ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) presentes nas amostras se deram pela comparação com resultados obtidos das curvas analíticas dos padrões previamente definidas. Determinou-se ainda, para as mesmas amostras, o teor de alcalinidade, representados pelo  $\text{HCO}_3^-$ , utilizando-se o método da microtitulação de Gran (EDMOND, 1970).

Para efeito de normalização dos resultados das análises de água de chuva, foram consideradas somente as amostras cujas precipitações foram superiores a 5 mm; pois estas proporcionaram volume adequado para a análise de todas as espécies químicas de interesse, de acordo com o protocolo estabelecido.

#### **4.3.1. Cromatografia Iônica**

Na análise por cromatografia iônica, a identificação e quantificação dos íons presentes nas amostras foram realizadas com a utilização de curvas analíticas obtidas com padrões previamente preparados nas concentrações 1, 5 e 10  $\text{mg L}^{-1}$ . Os padrões foram preparados a partir de soluções estoque (100  $\text{mg L}^{-1}$ ) de cada uma das espécies químicas de interesse utilizando água de baixa condutividade elétrica (milli-Q). Os principais componentes do equipamento Dionex ICS-90, utilizado na identificação e quantificação dos íons majoritários presentes nas águas amostradas podem ser observados na figura 18.

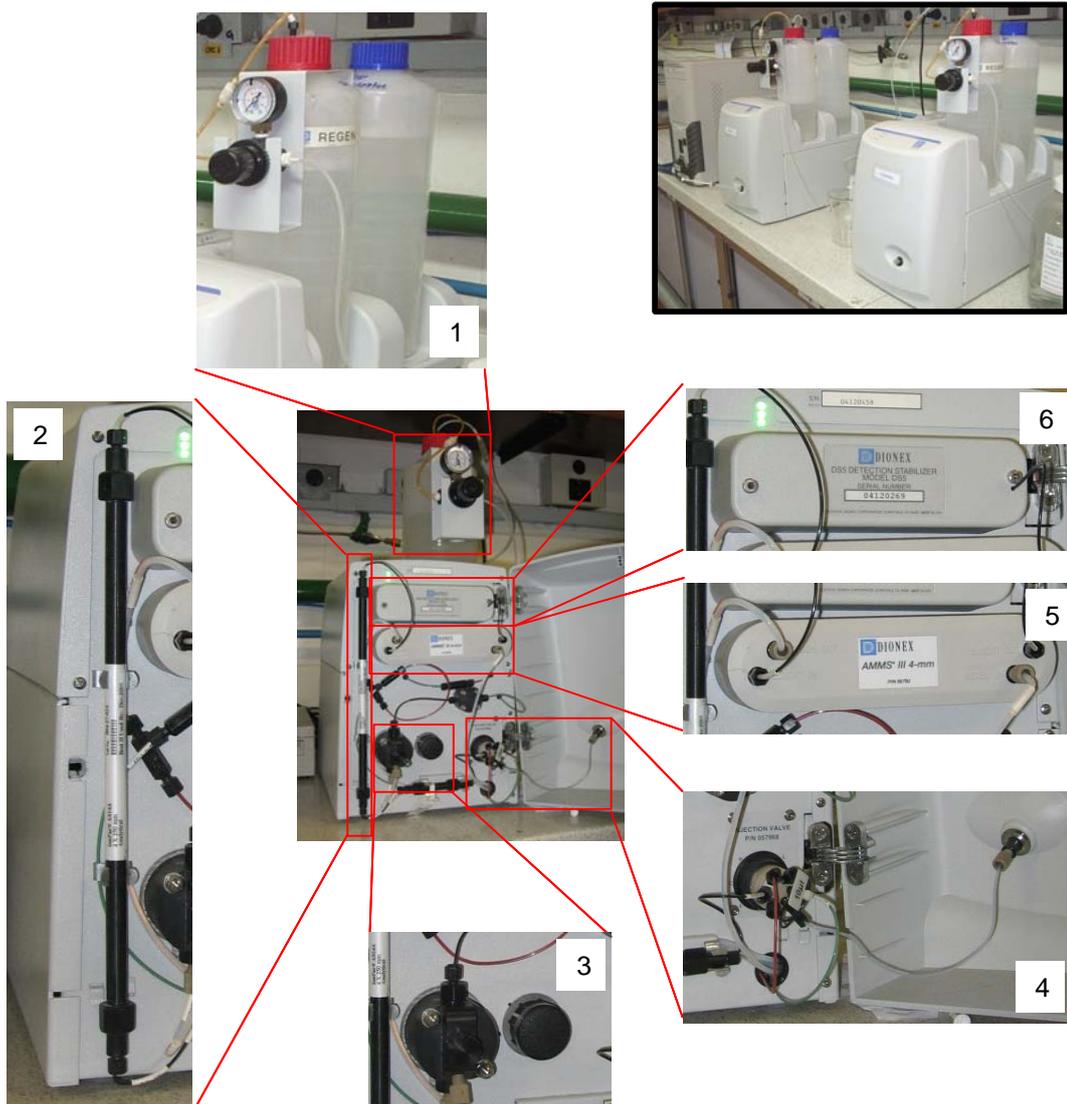


Figura 18. Cromatógrafo Iônico Dionex ICS-90 e seus principais componentes: (1) reservatório de eluente (vermelho) e regenerante (azul), (2) coluna de separação, (3) bomba isocrática, (4) válvula de injeção de amostras, (5) célula supressora e (6) célula de condutividade.

O processo analítico cromatográfico consiste de quatro etapas principais: transporte, separação, detecção e análise de dados (DIONEX CORPORATION, 2004).

O transporte da amostra é feito por um eluente líquido sob pressão, com composição e concentração conhecidas, sendo que para os cátions utilizou-se como eluente o ácido metanosulfônico ( $\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$ ), 20 mM; e, para os ânions uma solução composta de bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ), 1 mM, e carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), 8 mM. O processo analítico

prossegue com a injeção manual de 1 mL de amostra na válvula de injeção do cromatógrafo, sendo que apenas 10 µL são direcionados por bombeamento, junto com o eluente, para a coluna de separação. A separação é chamada troca iônica e baseia-se na premissa de que os diferentes íons da amostra migram completamente da coluna de separação em diferentes períodos de tempo, de acordo com as interações nos locais da troca iônica, isto é, com os sítios ativos da coluna de separação.

Antes da detecção, os íons do eluente + amostra liberados da coluna de separação passam por uma célula supressora, onde a condutividade do eluente é suprimida por uma solução regenerante, através de uma membrana de troca seletiva. Para cátions utilizou-se como solução regenerante o hidróxido tetrabutílamônio (TBAOH), 10 mM, e para ânions o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 18 mM. Desta forma, somente os íons da amostra são encaminhados para detecção, a qual é feita em uma célula de condutividade, que monitora e mede a condutividade elétrica dos íons da amostra, produzindo um sinal baseado em uma propriedade química ou física do analito.

A célula de condutividade transmite o sinal para software Chromeleon, um programa específico para o cromatógrafo Dionex ICS-90, que analisa dos dados comparando os picos da amostra com os produzidos pelas soluções padrão e que são apresentados na forma de cromatograma. As concentrações iônicas são determinadas através da integração da área do pico, sendo que o software já exhibe os dados calculados. (Fig. 19).

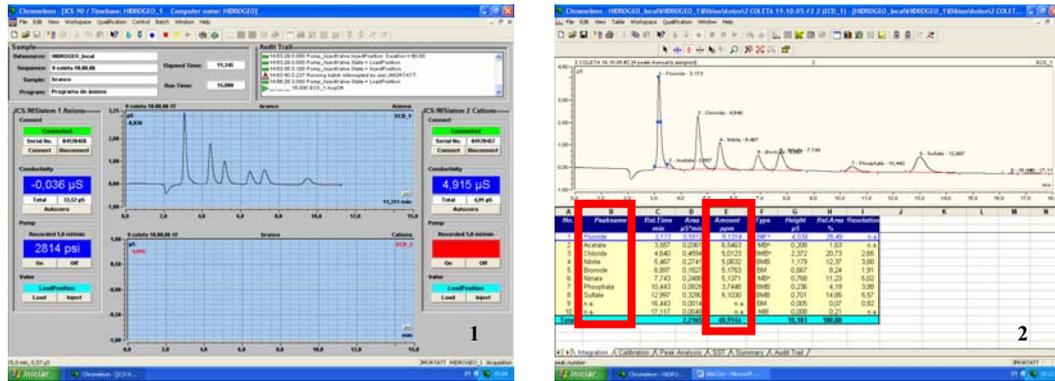


Figura 19. Telas do software Chromeleon exibindo (1) o registro do sinal enviado pela célula de condutividade do Cromatógrafo Iônico Dionex ICS-90 e (2) o cromatograma final de uma amostra analisada e os resultados das concentrações de cada analito em  $\text{mg L}^{-1}$ , destacados em vermelho.

O limite de detecção teórico do Cromatógrafo Iônico Dionex ICS-90, expresso no manual de operação do equipamento é de  $0,0001 \text{ mg L}^{-1}$  para os íons analisados (DIONEX CORPORATION, 2004), e representa a menor concentração do íon em exame que pode ser detectada, mas não necessariamente quantificada.

O método da relação sinal-ruído, pelo qual pode-se determinar esta relação através da comparação entre a medição dos sinais de amostras em baixas concentrações conhecidas dos compostos de interesse e um branco, estabelece a relação de 3:1 como proporção geralmente aceita para a estimativa do limite de detecção (RIBANI et al., 2004). A técnica analítica de separação cromatográfica apresenta particularidades como, por exemplo, a construção da curva analítica se dar pela integração da área do pico e não só pelo sinal do detector, e também o tempo de uso das colunas, o que dificulta estabelecer o limite de detecção. A partir de testes realizados com a diluição sucessiva dos padrões de calibração utilizados e da observação dos resultados obtidos, o limite de detecção estabelecido para as amostras analisadas foi de  $0,001 \text{ mg L}^{-1}$ . O limite de quantificação, que representa a menor concentração da substância em exame que pode ser medida, encontra-se estabelecido na literatura como sendo a razão 10:1 em relação ao limite de detecção (RIBANI et al., 2004).

Desta forma, a partir do limite de detecção estabelecido, adotou-se como limite de quantificação, para as amostras analisadas, a concentração de  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ .

#### 4.3.2. Microtitulação de Gran

A microtitulação de Gran foi utilizada para determinar os teores de alcalinidade das amostras de águas, representando o  $\text{HCO}_3^-$ , onde 25 mL de cada amostra foram titulados com baixos volumes de HCl 0,1 N padronizado (Fig. 20).



Figura 20. Microtitulação de Gran.

Após medir o valor inicial do pH da amostra, acrescentou-se pequenos volumes de HCl 0,1 N (1  $\mu\text{L}$  por vez) e anotou-se o volume de titulante utilizado para cinco valores de pH entre 4,5 e 3,7. Esses valores de pH foram inseridos na função de Gran (equação 1)

$$F_2 = |\text{anti log}(a - pH)| \cdot (V_0 + v) \quad (1)$$

onde  $a$  é uma constante igual a 5;  $V_0$  é o volume inicial da amostra (mL) e  $v$  representa o volume do titulante (mL).

Quando  $v$  não excede 5% de  $V_0$ , a soma  $(V_0 + v)$  da equação 1 é desprezível. Isto ocorre quando se usa como titulante o HCl 0,1 N. Os valores obtidos na função de Gran para

cada pH são correlacionados linearmente com os respectivos volumes utilizados na titulação, calculando-se o volume de ácido equivalente ( $V_{eq}$ ). A razão entre os coeficientes linear e angular da reta de correlação define o valor de  $V_{eq}$ . Assim, a concentração da alcalinidade ( $Alc$ ) pode ser calculada a partir da equação 2 e os resultados obtidos em  $meq L^{-1}$ , convertidos para  $mg L^{-1}$ .

$$Alc = \frac{(N \cdot 10^6 \cdot V_{eq})}{V_0} \quad (2)$$

Os teores de alcalinidade foram determinados para as amostras que apresentaram valores de pH superiores a 5, tendo em vista que abaixo desses valores o carbono inorgânico dissolvido encontra-se na forma de  $CO_2$  dissolvido (STUMM; MORGAN, 1981).

#### 4.4. Caracterização Pluviométrica

Dada a importância das águas de chuva, que alimentam o lençol freático e os corpos de água superficiais e possibilitam a movimentação dos íons através dos processos de solubilização, lixiviação e escoamento superficial, fez-se inicialmente um estudo da precipitação média mensal com base nos dados hidrológicos de precipitação na região referentes ao período de 1970 a 2003, obtidos junto ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo para a estação C4-033 - Piracununga, localizada no município de Pirassununga, SP (SIGRH, 2007). Esses resultados serviram de referência para a avaliação da precipitação mensal verificada na área experimental.

#### **4.5. Caracterização Hidroquímica**

Para estudar o comportamento do N inorgânico dissolvido e demais íons majoritários foi realizada a caracterização hidroquímica das amostras coletadas em todos os pontos de amostragem. Tal caracterização foi baseada nos resultados analíticos obtidos e inicialmente individualizados para água de chuva, do Ribeirão dos Cocais, da solução do solo e do lençol freático. Os principais parâmetros investigados foram: equilíbrio iônico das amostras; partição percentual dos íons majoritários e N inorgânico dissolvidos; variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas nas amostras de água coletadas; transporte pluvial e fluvial de solutos e potencial de perdas por lixiviação; estabelecendo o balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados e a razão  $\text{íon}/\text{Cl}^-$ .

##### **4.5.1. Equilíbrio iônico**

A partir dos resultados analíticos obtidos para os íons majoritários nas águas amostradas, foi possível verificar o equilíbrio iônico existente utilizando-se a razão entre as somas de cátions ( $\Sigma^+$ ) e ânions ( $\Sigma^-$ ) de cada amostra, de acordo com o descrito por Mortatti e Probst (1998).

##### **4.5.2. Íons majoritários**

A partir dos resultados obtidos foram verificadas as distribuições percentuais, calculadas em base molar, de cada espécie química dentre o total de cátions e ânions observados para todas as águas analisadas, chuva, Ribeirão dos Cocais, solução do solo e lençol freático, caracterizando assim suas composições químicas básicas.

#### 4.5.3. Participação do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)

O Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), composto pela soma das concentrações dos íons nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e amônio ( $\text{NH}_4^+$ ); e seus componentes foram quantificados percentualmente em função do Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para cada ponto de amostragem, de acordo com o estabelecido por Peray (1998) e apresentado na equação 3.

$$X_i(\%) = \frac{X_i}{TDS} \cdot 100 \quad (3)$$

onde  $X_i(\%)$  é a abundância relativa da espécie química;  $X_i$  é a concentração média da espécie química e TDS representa a concentração do total de sólidos dissolvidos (soma aritmética da concentração média dos íons majoritários presentes nas amostras, em  $\text{mg L}^{-1}$ ).

#### 4.5.4. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas

A variabilidade temporal das espécies químicas nitrogenadas e demais íons majoritários nos pontos de amostragem foi investigada de acordo com a distribuição das concentrações químicas ao longo do período estudado. Foi considerado, simultaneamente, a distribuição da precipitação para verificar possíveis influências.

#### 4.5.5. Transporte pluvial de solutos

O transporte pluvial de solutos, que representa o aporte atmosférico total de cada espécie química na área de estudo, foi quantificado de acordo com o procedimento utilizado por Probst (1992) e Mortatti, Victoria e Tardy (1997), utilizando as equações 4 e 5.

$$\overline{C_{ip}} = \frac{\sum (C_i \cdot P_i)}{\sum P_i} \quad (4)$$

onde  $\overline{C_{ip}}$  é a concentração média da espécie química normalizada pela precipitação ( $\text{mg L}^{-1}$ ),  $C_i$  é a concentração da espécie química de uma amostra ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e  $P_i$  é a precipitação referente ao dia de amostragem (mm).

$$T_p = \overline{C_{ip}} \cdot P_p \cdot A \cdot 10^{-2} \quad (5)$$

onde  $T_p$  é o transporte pluvial da espécie química, expresso em quilogramas na unidade de tempo;  $P_p$  é o total precipitado no período de amostragem (mm no período);  $A$  é a área total do talhão experimental de cana-de-açúcar (ha) e o fator  $10^{-2}$  corresponde à correção da massa e do tempo no cálculo do transporte pluvial.

O transporte pluvial específico ( $T_{pe}$ ), definido como o transporte pluvial total por unidade de área, foi calculado de acordo com a equação 6:

$$T_{pe} = T_p \cdot A^{-1} \quad (6)$$

onde  $A$  é a área total do talhão experimental de cana-de-açúcar (ha).

#### 4.5.6. Transporte fluvial de solutos

De forma semelhante ao item 4.5.5., foi quantificado o transporte fluvial de solutos ( $\overline{T_f}$ ) visando estimar o quanto de cada espécie química, em termos de fluxo, foi escoado do sistema pelo Ribeirão dos Cocais.

Para quantificar o transporte fluvial de solutos foi necessário realizar o cálculo de vazão ( $Q$ ) do Ribeirão dos Cocais ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ), representada pelo produto entre a velocidade do fluxo ( $V_f$ ) de água que passou por essa seção ( $\text{m s}^{-1}$ ) e a área úmida ( $A$ ) da seção transversal do ponto de leitura ( $\text{m}^2$ ), que para um melhor tratamento dos dados foi convertida para litros por segundo ( $\text{L s}^{-1}$ ).

Conforme descrito no item 3.2.2., as medidas de velocidade do fluxo foram realizadas no interior de uma tubulação próxima ao ponto de amostragem, utilizando o equipamento Micromolnete Global Water FP 101, e o cálculo da área úmida da seção transversal do ponto de leitura foi realizado de acordo com o modelo de vertedouro tubular (Fig. 22) apresentado no manual do Micromolnete Global Water FP 101 (GLOBAL WATER INSTRUMENTATION INC, 2004), que considera a razão entre a altura da coluna d'água ( $H$ ) no interior do tubo, no ponto onde a velocidade média do fluxo de água foi medida, e o diâmetro do tubo ( $D$ ), ambas em metros.

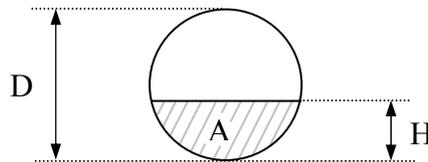


Figura 21. Esquema para medida da área da seção transversal de vertedouro tubular (GLOBAL WATER INSTRUMENTATION INC, 2004).

A área da seção úmida é calculada de acordo com as equações 7 e 8.

$$B = \frac{H}{D} \quad (7)$$

onde  $B$  é o valor de referência a ser utilizado para obtenção do fator  $C$  apresentado na tabela Cálculo de fluxo em tubos parcialmente cheios (anexo A) e utilizado na equação 8.

$$A = C \times D^2 \quad (8)$$

Com os valores obtidos calculou-se a vazão do Ribeirão dos Cocais de acordo com a equação 9.

$$Q = V_f \times A \quad (9)$$

O cálculo do transporte fluvial foi realizado utilizando a equação 10, considerando as médias das vazões observadas para os períodos chuvoso e seco. Ainda considerando uma distribuição uniforme da vazão do Ribeirão dos Cocais ao longo do ano, foi possível também estimar o transporte fluvial médio anual.

$$\overline{T}_f = \overline{C}_i \cdot \overline{Q} \cdot f \quad (10)$$

onde  $\overline{C}_i$  é a concentração média do íon na água do Ribeirão dos Cocais ( $\text{mg L}^{-1}$ ), para cada espécie analisada,  $\overline{Q}$  é a vazão média calculada para cada período e o fator  $f$  corresponde à correção da massa e do tempo no cálculo do transporte fluvial médio, em quilogramas na unidade de tempo, sendo  $f$  igual a 15,768 para os cálculos dos períodos de cheia e estiagem, correspondentes a seis meses cada, e igual a 31,536 para os cálculos de transporte médio anual.

O transporte fluvial específico ( $T_{fe}$ ), definido como o transporte fluvial total por unidade de área da bacia de drenagem, foi calculado de acordo com a equação 11:

$$T_{fe} = T_f \cdot A^{-1} \quad (11)$$

onde  $A$  é a área de drenagem da microbacia do Ribeirão dos Cocais a montante do ponto de coleta (ha).

Para os demais pontos de amostragem, a concentração iônica média ( $\overline{C}_i$ ) foi obtida a partir da média aritmética das concentrações de cada amostra, para cada espécie analisada.

#### 4.5.7. Potencial de perdas por lixiviação

Considerando que a solução do solo à 0,90 m de profundidade apresentava-se susceptível à lixiviação e com potencial de atingir o lençol freático e que as perdas por lixiviação ocorreram apenas por fluxo de massa, sua estimativa foi obtida com base nos valores de concentração média dos íons majoritários para cada extrator de solução do solo ( $\overline{C}_i$ ) e fluxo médio de água no solo ( $qH_2O$ ), de acordo com a equação 12, descrita por Oliveira et al. (2001).

$$q_i = qH_2O \cdot \overline{C}_i \quad (12)$$

onde  $q_i$  é o fluxo de determinado íon no solo ( $\text{mg m}^{-2}$ );  $qH_2O$  é o fluxo de água no solo ( $\text{mm}$  ou  $\text{L m}^{-3}$ ) e  $\overline{C}_i$  a concentração média do íon na solução do solo ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

#### 4.5.8. Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados

O balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados foi estabelecido com base no transporte pluvial específico de solutos, no transporte fluvial específico de solutos e nos valores médios do potencial de perdas por lixiviação para os quatro extratores, considerando

para todos os cálculos o período referente à amostragem de solução do solo, de janeiro a abril de 2006.

#### **4.5.9. Razão Íon/Cl<sup>-</sup>**

Segundo Meybeck (1984) e Stallard e Edmond (1981), a razão íon/Cl<sup>-</sup> pode ser utilizada como traçador das diferentes origens das águas nos ecossistemas, em função do caráter conservativo do íon Cl<sup>-</sup> no ambiente, uma vez que este apresentou as seguintes características no ambiente estudado: alta solubilidade; presença em todas as amostras de água analisadas, independente do ponto de amostragem; não interação com o meio; fácil determinação analítica; e, a cultura não absorver quantidades significativas de Cl<sup>-</sup> (PÉREZ; CASTILLO, 2005; WEINZETTEL; USUNOFF, 2005; LEAL et al., 2004).

A razão íon/Cl<sup>-</sup> foi aplicada no sentido de caracterizar os diversos reservatórios de água analisados no presente estudo: chuva, Ribeirão dos Cocais, solução do solo e lençol freático; sendo calculada por ponto de amostragem, com base nas concentrações médias observadas para os íons de interesse (mmol).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com o proposto no protocolo analítico, item 4.3., os resultados obtidos a partir das análises das amostras coletadas são apresentados a seguir e discutidos em detalhe nos seus aspectos mais relevantes. O foco deste trabalho está nas espécies nitrogenadas inorgânicas dissolvidas presentes nas amostras; entretanto, devido à riqueza de informações contidas nos resultados, optou-se por apresentar também os demais íons analisados.

### **5.1. Caracterização Pluviométrica**

De acordo com o proposto no item 4.4., os dados da série histórica da precipitação na região em estudo (1970 a 2003), observados na tabela 2, apresentaram um comportamento sazonal, com volumes superiores a 100 mm nos meses de setembro a março, e volumes inferiores a 80 mm nos meses de abril a agosto. Ao avaliar a precipitação mensal, no período de setembro de 2005 à dezembro de 2007, observou-se que em 2006 o comportamento sazonal foi semelhante ao da média histórica, com baixa precipitação nos meses de maio a setembro. Já para o ano de 2007, notou-se um comportamento atípico em relação à precipitação média mensal 1970-2003 e ao observado em 2006, com destaque para os volumes expressivos de precipitação nos meses de janeiro e julho, 440 mm e 200 mm respectivamente, e a estiagem aguda nos meses de agosto e setembro, conforme destacado na figura 22.

Tabela 02. Precipitação média mensal obtida a partir dos dados da estação C4-033 para o período de 1970 a 2003 (SIGRH, 2007) e precipitação mensal verificada na área experimental, através do pluviômetro instalado ao lado do talhão experimental de cana-de-açúcar, durante o período de Set/05 a Dez/07.

Mês	Precipitação Mensal (mm)			
	Média Mensal 1970 - 2003*	2005	Pluviômetro	
			2006	2007
jan	244,70		177,20	440,20
fev	217,49		292,20	149,70
mar	172,40		201,20	179,00
abr	80,39		52,80	49,20
mai	61,94		3,00	91,00
jun	36,13		4,00	11,80
jul	27,52		8,20	200,30
ago	55,97		15,80	0,00
set	100,93	88,00	26,40	0,00
out	119,32	119,80	172,60	82,20
nov	156,34	63,80	152,60	200,80
dez	245,25	232,80	207,60	132,40
<b>Total</b>	<b>1518,38</b>	<b>504,40</b>	<b>1313,60</b>	<b>1536,60</b>

\* Precipitação Média Mensal calculada para o período de 1970 a 2003 com base nos dados históricos da estação C4-033 (SIGRH, 2007).

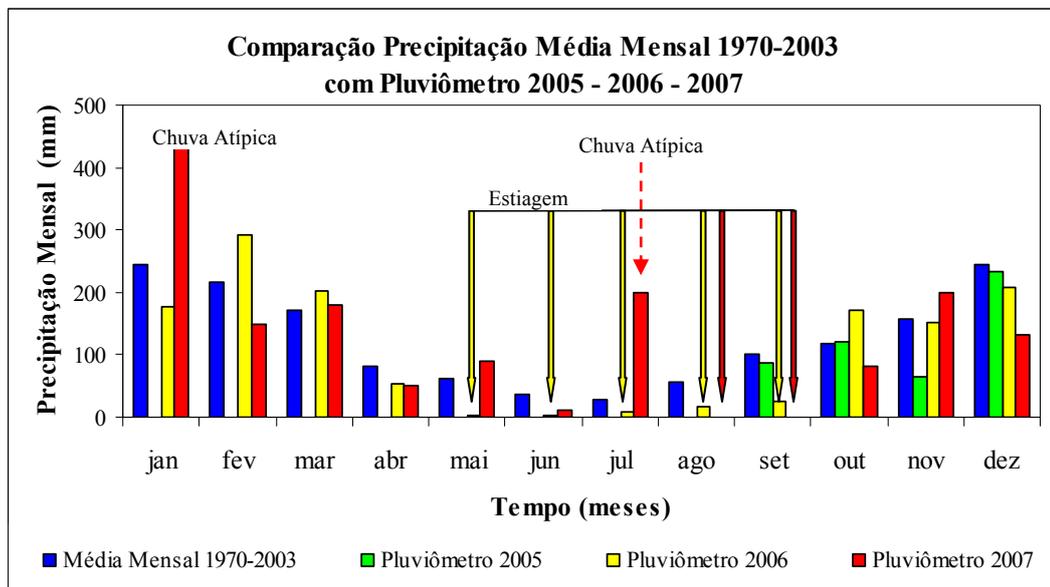


Figura 22. Comparativo entre a precipitação média mensal obtida a partir dos dados da estação C4-033 para o período de 1970 a 2003 (SIGRH, 2007) e a precipitação mensal verificada na área experimental, através do pluviômetro instalado ao lado do talhão experimental de cana-de-açúcar, durante o período de Set/05 a Dez/07.

## 5.2. Caracterização Hidroquímica

Conforme proposto no item 4.5., a caracterização hidroquímica das águas envolvidas no presente estudo foi individualizada de acordo com o tipo de amostra coletada: precipitação, ribeirão, solução do solo e lençol freático.

Em termos da precipitação, foram analisadas 103 amostras de água de chuva, coletadas no ponto Pluviômetro durante o período de 01/09/2005 a 09/12/07 (Tabela 03 e 04). Observou-se que o pH variou de 4,50 a 6,82; valores estes semelhantes aos encontrados em outras áreas sob influência de queima de biomassa conforme observado por Lara et al. (2001) para as cidades de Piracicaba (pH = 4,50) e Santa Maria (pH = 4,40), ambas na Bacia do Rio Piracicaba, SP, e que se encontravam sob forte influência das plantações de cana-de-açúcar; e por Moreira-Nordemann, Girard e Ré Poppi (1997) que verificaram uma variação de pH entre 4,81 a 5,05 nas águas de chuva na região de Campo Grande, MS, onde a queima de biomassa apresentou-se como prática usual com o propósito de renovar pastagens, preparar o solo para a agricultura ou facilitar a exploração de madeira.

Tabela 3. Resultado das análises das amostras de água de chuva, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L<sup>-1</sup>, para o período de 01/09/05 a 09/12/07.

Tempo (dia)	P (mm)	pH	PLUVIÓMETRO											NID	TDS	
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>			
													(mg L <sup>-1</sup> )			
01/09/05	20,0	6,41	5,40	0,40	<0,01	2,20	<0,01	1,90	0,15	0,68	1,16	0,43	1,60	2,88	13,92	
04/09/05	11,4	6,58	8,00	1,50	<0,01	3,00	<0,01	2,50	0,80	1,00	1,80	0,50	1,50	4,00	20,60	
07/09/05	9,4	6,21	7,00	0,55	<0,01	2,86	<0,01	1,58	0,37	0,93	0,51	0,41	1,76	3,79	15,97	
15/09/05	6,4	5,99	9,00	2,30	<0,01	4,85	<0,01	4,50	1,50	1,00	2,40	0,74	2,50	5,85	28,79	
27/09/05	12,2	6,25	10,50	1,20	0,37	2,24	1,20	2,30	1,20	1,38	3,03	0,45	2,26	3,99	26,13	
21/10/05	29,2	5,33	4,50	0,61	<0,01	1,67	<0,01	1,08	0,30	0,60	0,70	0,29	1,31	2,27	11,06	
23/10/05	7,0	5,56	5,50	1,04	<0,01	0,81	<0,01	0,64	1,26	<0,01	0,77	0,24	1,31	0,81	11,57	
26/10/05	36,0	5,25	3,80	0,48	<0,01	1,74	<0,01	0,87	0,39	0,35	0,56	0,20	0,91	2,09	9,30	
28/10/05	5,6	5,21	10,00	0,55	<0,01	2,45	<0,01	1,13	0,47	1,95	0,95	0,32	1,36	4,40	19,18	
29/10/05	7,5	6,82	15,00	1,95	<0,01	2,84	1,17	2,52	1,60	1,75	3,00	0,62	2,38	4,59	32,83	
30/10/05	20,4	4,79	3,20	0,28	<0,01	1,63	<0,01	0,92	0,26	0,41	0,28	0,16	0,93	2,04	8,07	
31/10/05	7,3	6,46	12,50	2,00	0,14	1,82	0,80	2,30	1,20	2,20	2,50	0,54	1,57	4,16	27,57	
16/11/05	8,4	5,33	8,00	0,79	<0,01	1,40	<0,01	1,63	0,31	0,08	1,51	0,57	2,24	1,48	16,53	
21/11/05	13,2	5,19	4,80	0,19	<0,01	<0,01	<0,01	0,41	0,17	0,04	0,28	0,21	1,02	0,04	7,12	
25/11/05	19,6	5,97	3,60	0,70	<0,01	0,02	<0,01	0,59	0,42	0,91	0,27	0,02	0,19	0,93	6,72	
30/11/05	8,0	5,52	5,20	0,09	0,03	<0,01	<0,01	0,11	0,50	<0,01	2,00	0,06	0,37	0,03	8,36	
02/12/05	24,4	5,12	4,30	0,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	0,30	0,30	0,11	0,15	0,50	0,30	5,86	
05/12/05	5,2	5,22	6,00	1,60	<0,01	0,06	0,04	0,19	1,40	0,60	1,50	0,05	0,37	0,66	11,81	
06/12/05	20,0	5,29	3,10	0,15	<0,01	<0,01	0,04	0,05	0,29	0,19	0,25	0,09	0,30	0,19	4,46	
12/12/05	7,4		1,50	<0,01	0,25	0,45	0,65	0,80	0,04	0,15	0,06	0,58	0,29	4,48		
18/12/05	48,0		0,60	<0,01	0,01	<0,01	0,25	0,20	<0,01	0,12	0,04	0,25	0,01	1,47		
21/12/05	34,0		0,25	<0,01	0,28	<0,01	0,20	0,20	0,07	0,11	0,04	0,28	0,35	1,43		
24/12/05	45,4		0,26	<0,01	0,51	0,04	0,25	0,20	0,17	0,04	0,15	0,26	0,68	1,88		
26/12/05	10,0		0,21	0,04	1,04	0,03	0,32	0,20	0,07	0,20	0,04	0,23	1,15	2,38		
30/12/05	28,4		0,24	<0,01	0,26	<0,01	0,50	0,11	0,03	0,11	0,04	0,22	0,29	1,51		
01/01/06	56,0		0,14	<0,01	0,35	<0,01	0,06	0,05	<0,01	0,05	0,05	0,12	0,35	0,82		
02/01/06	16,6		0,40	<0,01	<0,01	<0,01	0,35	0,11	<0,01	0,08	0,02	0,18	<0,01	1,14		
04/01/06	60,6		0,20	0,13	0,20	0,20	<0,01	0,06	<0,01	0,03	0,03	0,16	0,33	1,01		
06/01/06	17,8		0,50	<0,01	0,32	0,35	0,49	0,30	<0,01	0,50	0,13	0,17	0,32	2,76		
29/01/06	12,4	5,37	2,20	0,40	<0,01	0,10	0,17	0,45	0,15	0,08	0,32	0,11	0,62	0,18	4,60	
03/02/06	14,2	5,65	2,72	0,08	0,27	0,38	0,17	0,25	0,40	0,12	0,16	0,04	0,65	0,77	5,24	
09/02/06	21,3	5,49	1,50	0,17	<0,01	0,04	0,11	0,32	0,17	0,11	0,19	0,05	0,30	0,15	2,96	
10/02/06	36,9	5,45	1,20	0,07	<0,01	<0,01	0,05	0,06	0,13	0,02	0,09	0,03	0,22	0,02	1,87	
17/02/06	61,4	4,81	2,10	0,16	0,02	0,04	<0,01	0,27	0,20	0,04	0,05	0,25	0,45	0,10	3,58	
21/02/06	15,2	5,37	3,10	0,45	0,24	0,43	<0,01	0,06	0,24	0,31	0,15	0,14	0,63	0,98	5,75	
06/03/06	9,2	5,22	3,00	0,87	0,11	0,07	0,04	0,07	0,29	0,31	0,17	0,41	0,27	0,49	5,61	
19/03/06	10,2	5,63	3,20	0,20	<0,01	<0,01	0,15	0,07	0,50	0,22	0,40	0,07	0,40	0,22	5,21	
24/03/06	45,4	5,04	1,60	0,15	<0,01	0,10	0,07	0,20	0,18	0,15	0,09	0,10	0,26	0,25	2,90	
26/03/06	23,0	5,52	3,00	0,21	<0,01	0,06	0,30	0,08	0,40	<0,01	0,28	0,14	0,50	0,06	4,97	
06/04/06	47,6	5,59	2,80	0,21	0,12	<0,01	0,09	0,18	0,40	0,06	0,23	0,13	0,45	0,18	4,67	
20/09/06	8,4	6,37	8,60	0,97	0,06	4,47	<0,01	3,45	0,80	3,19	1,02	0,35	2,21	7,72	25,12	
23/09/06	5,6	6,67	10,36	0,73	0,17	3,52	<0,01	1,50	0,62	2,09	1,50	0,39	1,77	5,78	22,65	
01/10/06	14,0	6,31	6,00	0,45	0,05	1,85	<0,01	0,98	0,76	1,49	0,63	0,21	0,15	3,39	12,57	
05/10/06	53,0	5,07	0,50	0,75	<0,01	0,88	<0,01	0,47	0,38	0,23	0,17	0,12	0,69	1,11	4,19	
06/10/06	17,4	5,57	3,50	0,19	0,06	0,71	<0,01	0,33	0,13	0,91	0,16	0,09	0,41	1,68	6,49	
12/10/06	25,0	5,38	1,30	0,24	<0,01	0,79	<0,01	0,64	0,15	0,31	0,25	0,12	0,53	1,10	4,33	
13/10/06	12,8	5,00	1,00	0,15	<0,01	1,11	<0,01	0,69	0,09	0,53	0,15	0,07	0,34	1,64	4,13	
16/10/06	27,6	5,64	4,20	0,09	<0,01	0,50	0,16	0,45	0,09	1,36	0,28	0,12	0,45	1,86	7,70	
18/10/06	18,2	5,32	1,80	0,09	<0,01	0,53	0,03	0,58	0,09	0,36	0,12	0,08	0,42	0,89	4,10	
01/11/06	30,0	5,74	1,60	0,20	<0,01	0,64	<0,01	0,39	0,10	0,04	0,32	0,17	0,85	0,68	4,31	
03/11/06	12,8	5,15	2,00	0,11	<0,01	0,51	0,15	0,24	0,06	0,09	0,15	0,08	0,38	0,60	3,77	
06/11/06	14,6	5,39	2,50	0,25	0,07	1,17	<0,01	0,75	0,08	0,60	0,34	0,15	0,66	1,84	6,57	
10/11/06	7,4	5,82	4,00	0,98	<0,01	1,26	<0,01	1,21	0,48	0,41	0,61	0,24	1,00	1,67	10,19	
19/11/06	32,6	5,69	1,30	0,48	<0,01	1,16	<0,01	0,99	0,23	0,68	0,45	0,17	0,70	1,84	6,16	
20/11/06	26,8	5,47	0,90	0,22	<0,01	0,46	0,12	0,42	0,13	0,41	0,19	0,07	0,36	0,87	3,28	
26/11/06	18,4	5,52	1,60	0,25	<0,01	0,44	<0,01	0,20	0,10	0,03	0,25	0,08	0,43	0,47	3,38	
29/11/06	10,0	5,41	2,00	0,26	<0,01	0,88	<0,01	0,32	0,10	0,10	0,20	0,08	0,44	0,98	4,38	
05/12/06	26,8	5,36	0,60	0,21	0,02	0,05	0,17	0,09	0,13	0,01	0,15	0,05	0,28	0,08	1,76	
06/12/06	30,0	5,39	0,58	0,32	0,01	0,21	0,09	0,15	0,35	0,03	0,18	0,05	0,35	0,25	2,32	
17/12/06	16,4	6,30	7,00	0,26	0,06	0,70	0,16	0,63	0,33	2,85	0,26	0,14	0,37	3,61	12,76	
02/01/07	6,0	5,58	3,00	0,26	0,10	0,11	0,08	0,07	0,17	0,09	0,21	0,05	0,32	0,30	4,46	
04/01/07	34,6	5,66	0,95	0,15	<0,01	0,09	0,11	0,39	0,16	0,01	0,13	0,06	0,35	0,10	2,40	
08/01/07	36,0	5,45	0,60	0,35	<0,01	0,08	0,09	0,26	0,21	0,03	0,11	0,04	0,29	0,11	2,06	
10/01/07	11,4	4,50		0,42	<0,01	2,13	<0,01	1,04	0,25	0,38	0,20	0,06	0,37	2,51	4,85	
12/01/07	12,6	5,10	0,60	0,34	<0,01	0,49	0,02	0,31	0,22	0,05	0,15	0,05	0,32	0,54	2,55	
17/01/07	73,0	5,30	0,50	0,11	<0,01	0,22	0,14	0,09	<0,01	<0,01	0,06	0,03	0,23	0,22	1,38	
21/01/07	23,0	5,50	1,50	0,11	<0,01	0,17	0,01	0,09	0,08	<0,01	0,04	0,05	0,36	0,17	2,41	
25/01/07	9,0	5,20	2,30	0,19	<0,01	0,23	0,03	<0,01	0,15	<0,01	0,10	0,03	0,26	0,23	3,29	
27/01/07	20,0	5,20	0,80	<0,01	0,04	0,46	<0,01	<0,01	0,15	<0,01	0,11	0,04	0,26	0,50	1,86	
29/01/07	23,6	5,20	0,63	0,18	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	0,07	<0,01	<0,01	0,03	0,22	<0,01	1,24	
05/02/07	49,0	5,20	0,60	0,15	<0,01	0,19	0,09	0,16	0,15	0,11	0,07	0,06	0,38	0,30	1,96	
12/02/07	43,0	5,10	0,80	0,17	0,02	0,14	0,07	0,10	0,19	0,05	0,10	0,05	0,38	0,21	2,07	
18/02/07	18,2	5,10	1,20	0,26	<0,01	0,34	0,04	0,41	0,18	0,14	0,14	0,08	0,46	0,48	3,25	
20/02/07	13,9	5,20	1,50	0,16	0,01	0,31	0,12	0,18	0,16	0,10	0,10	0,06	0,40	0,42	3,10	
26/02/07	8,0	5,30	3,00	0,38	0,01	0,25	0,12	0,16	0,35	0,01	0,28	0,07	0,48	0,27	5,11	
09/03/07	13,2	5,20		0,45	<0,01	0,39	0,04	0,44	0,34	0,07	0,26	0,10	0,78	0,46	2,87	
13/03/07	6,0	6,30	6,00	0,56	0,03	1,47	0,13	1,06	0,59	1,11						

Tabela 3. Resultado das análises das amostras de água de chuva, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em mg L<sup>-1</sup>, para o período de 01/09/05 a 09/12/07. (conclusão)

Tempo (dia)	P (mm)	pH	PLUVIÔMETRO										NID	TDS	
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			Ca <sup>2+</sup>
09/04/07	26,0	5,20	0,90	0,58	<0,01	0,40	0,02	0,57	0,27	0,22	0,49	0,11	0,55	0,62	4,11
17/04/07	11,0	5,50	3,00	0,58	<0,01	0,56	0,10	0,50	0,16	0,82	0,39	0,17	0,69	1,38	6,97
26/04/07	12,2	5,60	2,80	0,62	<0,01	0,01	0,03	0,28	0,29	0,01	0,38	0,17	0,89	0,02	5,48
22/05/07	50,0	5,30	0,90	0,25	<0,01	0,03	0,03	0,25	0,14	0,02	0,21	0,15	0,73	0,05	2,71
23/05/07	35,0	5,20	1,00	0,26	<0,01	0,01	0,05	0,34	0,18	<0,01	0,22	0,15	0,84	0,01	3,05
27/05/07	6,0	5,70	5,00	0,36	0,02	0,10	0,03	0,55	0,24	0,08	0,27	0,20	1,17	0,20	8,02
02/06/07	11,8	5,70	2,80	0,44	<0,01	0,01	0,03	0,66	0,25	0,06	0,26	0,20	1,11	0,07	5,82
17/07/07	15,0	6,00	4,28	0,35	0,17	0,09	<0,01	0,66	0,21	0,06	0,40	0,37	1,90	0,32	8,49
25/07/07	108,4	5,30	0,23	0,23	0,04	0,16	0,05	0,27	0,14	0,06	0,11	0,08	0,52	0,26	1,89
29/07/07	32,0	5,80	2,76	0,19	0,10	0,04	0,22	0,35	0,17	0,14	0,24	0,15	1,01	0,28	5,37
15/10/07	13,4	6,20	9,16	0,95	0,03	2,84	0,05	1,63	0,42	0,94	0,88	0,55	3,55	3,81	21,00
22/10/07	8,0	6,20	7,60	1,13	0,03	3,02	0,06	2,10	0,19	0,58	1,26	0,61	3,85	3,63	20,43
25/10/07	29,8	5,90	2,69	0,31	0,01	0,28	0,01	0,52	0,19	0,01	0,16	0,14	1,04	0,30	5,36
29/10/07	20,0	5,80	1,61	0,54	0,05	2,83	0,02	1,37	0,10	0,91	0,61	0,20	1,43	3,79	9,67
01/11/07	12,0	6,20	2,67	0,63	0,05	3,70	0,06	1,26	0,16	0,81	0,64	0,26	1,80	4,56	12,04
04/11/07	54,6	5,60	1,84	0,30	<0,01	0,47	0,06	0,42	0,23	<0,01	0,28	0,06	0,67	0,47	4,33
06/11/07	16,4	5,60	4,28	0,22	0,01	0,01	0,06	0,21	0,25	0,04	0,18	0,05	0,71	0,06	6,02
11/11/07	51,0	5,50	0,23	0,22	<0,01	0,34	0,01	0,27	0,26	0,03	0,15	0,08	0,63	0,37	2,22
15/11/07	42,0	5,20	0,13	0,01	0,01	0,80	0,03	0,50	0,15	0,19	0,12	0,05	0,50	1,00	2,48
19/11/07	18,0	5,80	1,84	0,44	0,03	1,44	0,02	0,64	0,29	0,64	0,50	0,04	0,56	2,11	6,44
04/12/07	41,0	6,10	4,81	0,56	0,03	1,68	0,02	0,99	0,27	0,66	0,94	0,28	1,15	2,37	11,39
06/12/07	10,6	5,90	2,37	0,17	0,00	0,02	0,01	0,21	0,20	0,03	0,23	0,18	1,07	0,05	4,49
09/12/07	10,4	5,80	1,10	0,19	0,01	0,28	0,07	0,13	0,14	0,02	0,18	0,13	0,93	0,31	3,18
Média <sup>(1)</sup>			2,24	0,32	0,06	0,59	0,10	0,45	0,23	0,30	0,28	0,12	0,59	0,95	5,28
Concentração Mínima <sup>(2)</sup>			0,23	0,06	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,01	0,01	0,02	0,12	0,01	0,78
Concentração Máxima			15,00	2,30	0,37	4,85	1,20	4,50	1,60	3,19	3,03	0,74	3,85	7,72	32,83

(1) média normalizada pela precipitação.

(2) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.

< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 4. Resultado das análises das amostras de água de chuva, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/09/05 a 09/12/07.

Tempo (dia)	PLUVIÔMETRO										$\Sigma^-$	$\Sigma^+$	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>			Ca <sup>2+</sup>
01/09/05	88,52	11,28		35,48		39,58	6,52	37,78	29,67	35,39	80,00	174,88	189,36
04/09/05	131,15	42,31		48,39		52,08	34,78	55,56	46,04	41,15	75,00	273,93	252,53
07/09/05	114,75	15,51		46,13		32,92	16,09	51,67	13,04	33,74	88,00	209,31	202,54
15/09/05	147,54	64,88		78,23		93,75	65,22	55,56	61,38	60,91	125,00	384,40	368,06
27/09/05	172,13	33,85	8,04	36,13	37,89	47,92	52,17	76,67	77,49	37,04	113,00	335,97	356,37
21/10/05	73,77	17,21		26,94		22,50	13,04	33,33	17,90	23,87	65,50	140,41	153,65
23/10/05	90,16	29,34		13,06		13,33	54,78		19,69	19,75	65,50	145,90	159,73
26/10/05	62,30	13,54		28,06		18,13	16,96	19,44	14,32	16,46	45,50	122,02	112,68
28/10/05	163,93	15,51		39,52		23,54	20,43	108,33	24,30	26,34	68,00	242,51	247,40
29/10/05	245,90	55,01		45,81	36,95	52,50	69,57	97,22	76,73	51,03	119,00	436,16	413,54
30/10/05	52,46	7,90		26,29		19,17	11,30	22,78	7,16	13,17	46,50	105,81	100,91
31/10/05	204,92	56,42	3,04	29,35	25,26	47,92	52,17	122,22	63,94	44,44	78,50	366,91	361,28
16/11/05	131,15	22,28		22,58		33,96	13,48	4,44	38,62	46,91	112,00	209,97	215,46
21/11/05	78,69	5,36				8,54	7,39	2,22	7,16	17,28	51,00	92,59	85,06
25/11/05	59,02	19,75		0,32		12,29	18,26	50,56	6,91	1,65	9,50	91,38	86,87
30/11/05	85,25	2,54	0,65			2,29	21,74		51,15	4,94	18,50	90,73	96,33
02/12/05	70,49	2,82				2,08	13,04	16,67	2,81	12,35	25,00	75,40	69,87
05/12/05	98,36	45,13		0,97	1,26	3,96	60,87	33,33	38,36	4,12	18,50	149,68	155,18
06/12/05	50,82	4,23			1,26	1,04	12,61	10,56	6,39	7,41	15,00	57,36	51,97
12/12/05		42,31		4,03	14,21	13,54	34,78	2,22	3,84	4,94	29,00	74,10	74,78
18/12/05		16,93		0,16		5,21	8,70		3,07	3,29	12,50	22,29	27,56
21/12/05		7,05		4,52		4,17	8,70	3,89	2,81	3,29	14,00	15,73	32,69
24/12/05		7,33		8,23	1,26	5,21	8,70	9,44	1,02	12,35	13,00	22,03	44,51
26/12/05		5,92	0,87	16,77	0,95	6,67	8,70	3,89	5,12	3,29	11,50	31,18	32,49
30/12/05		6,77		4,19		10,42	4,78	1,67	2,81	3,29	11,00	21,38	23,55

Continua...

Tabela 4. Resultado das análises das amostras de água de chuva, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/09/05 a 09/12/07. (conclusão)

Tempo (dia)	PLUVIÓMETRO											$\Sigma^-$	$\Sigma^+$	
	$\text{HCO}_3^-$	Cl	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$			
	(μeq L <sup>-1</sup> )													
01/01/06		3,95		5,65		1,25	2,17			1,28	4,12	6,00	10,84	13,57
02/01/06		11,28				7,29	4,78			2,05	1,65	9,00	18,58	17,47
04/01/06		5,64	2,83	3,23	6,32		2,61			0,77	2,47	8,00	18,01	13,85
06/01/06		14,10		5,16	11,05	10,21	13,04			12,79	10,70	8,50	40,53	45,03
29/01/06	36,07	11,28		1,61	5,37	9,38	6,52	4,44		8,18	9,05	31,00	63,71	59,20
03/02/06	44,59	2,26	5,87	6,13	5,37	5,21	17,39	6,67		4,09	3,29	32,50	69,42	63,94
09/02/06	24,59	4,80		0,65	3,47	6,67	7,39	6,11		4,86	4,12	15,00	40,17	37,48
10/02/06	19,67	1,97			1,58	1,25	5,65	1,11		2,30	2,47	11,00	24,48	22,53
17/02/06	34,43	4,51	0,43	0,65		5,63	8,70	2,22		1,28	20,58	22,50	45,64	55,27
21/02/06	50,82	12,69	5,22	6,94		1,25	10,43	17,22		3,84	11,52	31,50	76,92	74,52
06/03/06	49,18	24,54	2,39	1,13	1,26	1,46	12,61	17,22		4,35	33,74	13,50	79,96	81,42
19/03/06	52,46	5,64			4,74	1,46	21,74	12,22		10,23	5,76	20,00	64,30	69,95
24/03/06	26,23	4,23		1,61	2,21	4,17	7,83	8,33		2,30	8,23	13,00	38,45	39,69
26/03/06	49,18	5,92		0,97	9,47	1,67	17,39			7,16	11,52	25,00	67,21	61,08
06/04/06	45,90	5,92	2,61		2,84	3,75	17,39	3,33		5,88	10,70	22,50	61,03	59,81
20/09/06	140,98	27,36	1,30	72,10		71,88	34,78	177,22		26,09	28,81	110,50	313,62	377,40
23/09/06	169,84	20,59	3,70	56,77		31,25	26,96	116,11		38,36	32,10	88,50	282,15	302,03
01/10/06	98,36	12,69	1,09	29,84		20,42	33,04	82,78		16,11	17,28	7,50	162,40	156,72
05/10/06	8,20	21,16		14,19		9,79	16,52	12,78		4,35	9,88	34,50	53,34	78,02
06/10/06	57,38	5,36	1,30	11,45		6,88	5,65	50,56		4,09	7,41	20,50	82,37	88,21
12/10/06	21,31	6,77		12,74		13,33	6,52	17,22		6,39	9,88	26,50	54,16	66,51
13/10/06	16,39	4,23		17,90		14,38	3,91	29,44		3,84	5,76	17,00	52,90	59,96
16/10/06	68,85	2,54		8,06	5,05	9,38	3,91	75,56		7,16	9,88	22,50	93,88	119,01
18/10/06	29,51	2,54		8,55	0,95	12,08	3,91	20,00		3,07	6,58	21,00	53,63	54,57
01/11/06	26,23	5,64		10,32		8,13	4,35	2,22		8,18	13,99	42,50	50,32	71,25
03/11/06	32,79	3,10		8,23	4,74	5,00	2,61	5,00		3,84	6,58	19,00	53,85	37,03
06/11/06	40,98	7,05	1,52	18,87		15,63	3,48	33,33		8,70	12,35	33,00	84,05	90,85
10/11/06	65,57	27,64		20,32		25,21	20,87	22,78		15,60	19,75	50,00	138,75	129,00
19/11/06	21,31	13,54		18,71		20,63	10,00	37,78		11,51	13,99	35,00	74,19	108,28
20/11/06	14,75	6,21		7,42	3,79	8,75	5,65	22,78		4,86	5,76	18,00	40,92	57,05
26/11/06	26,23	7,05		7,10		4,17	4,35	1,67		6,39	6,58	21,50	44,55	40,49
29/11/06	32,79	7,33		14,19		6,67	4,35	5,56		5,12	6,58	22,00	60,98	43,60
05/12/06	9,84	5,92	0,43	0,81	5,37	1,88	5,65	0,56		3,84	4,12	14,00	24,24	28,16
06/12/06	9,51	9,03	0,22	3,39	2,84	3,13	15,22	1,67		4,60	4,12	17,50	28,11	43,10
17/12/06	114,75	7,33	1,30	11,29	5,05	13,13	14,35	158,33		6,65	11,52	18,50	152,86	209,35
02/01/07	49,18	7,33	2,17	1,77	2,53	1,46	7,39	5,00		5,37	4,12	16,00	64,45	37,88
04/01/07	15,57	4,23		1,45	3,47	8,13	6,96	0,56		3,32	4,94	17,50	32,86	33,28
08/01/07	9,84	9,87		1,29	2,84	5,42	9,13	1,67		2,81	3,29	14,50	29,26	31,40
10/01/07		11,85		34,35		21,67	10,87	21,11		5,12	4,94	18,50	67,87	60,53
12/01/07	9,84	9,59		7,90	0,63	6,46	9,57	2,78		3,84	4,12	16,00	34,42	36,29
17/01/07	8,20	3,10		3,55	4,42	1,88				1,53	2,47	11,50	21,14	15,50
21/01/07	24,59	3,10		2,74	0,32	1,88	3,48			1,02	4,12	18,00	32,63	26,62
25/01/07	37,70	5,36		3,71	0,95		6,52			2,56	2,47	13,00	47,72	24,55
27/01/07	13,11		0,87	7,42			6,52			2,81	3,29	13,00	21,40	25,63
29/01/07	10,33	5,08				2,29	3,04			2,47	11,00	17,00	16,51	16,51
05/02/07	9,84	4,23		3,06	2,84	3,33	6,52	6,11		1,79	4,94	19,00	23,31	38,36
12/02/07	13,11	4,80	0,43	2,26	2,21	2,08	8,26	2,78		2,56	4,12	19,00	24,90	36,71
18/02/07	19,67	7,33		5,48	1,26	8,54	7,83	7,78		3,58	6,58	23,00	42,30	48,77
20/02/07	24,59	4,51	0,22	5,00	3,79	3,75	6,96	5,56		2,56	4,94	20,00	41,86	40,01
26/02/07	49,18	10,72	0,22	4,03	3,79	3,33	15,22	0,56		7,16	5,76	24,00	71,27	52,70
09/03/07	0,00	12,69		6,29	1,26	9,17	14,78	3,89		6,65	8,23	39,00	29,41	72,55
13/03/07	98,36	15,80	0,65	23,71	4,11	22,08	25,65	61,67		10,23	15,64	62,00	164,71	175,19
14/03/07		20,87		9,35	5,05	7,29	15,22	4,44		4,60	9,88	41,50	42,57	75,64
16/03/07	4,92	1,69	0,43	5,16	1,26	4,38	4,35	0,56		2,05	3,29	15,50	17,84	25,74
18/03/07	4,92	1,69	0,43	0,32	1,58	0,42	3,04	0,00		0,26	2,47	10,00	9,36	15,77
09/04/07	14,75	16,36		6,45	0,63	11,88	11,74	12,22		12,53	9,05	27,50	50,07	73,05
17/04/07	49,18	16,36		9,03	3,16	10,42	6,96	45,56		9,97	13,99	34,50	88,15	110,98
26/04/07	45,90	17,49		0,16	0,95	5,83	12,61	0,56		9,72	13,99	44,50	70,33	81,37
22/05/07	14,75	7,05		0,48	0,95	5,21	6,09	1,11		5,37	12,35	36,50	28,45	61,41
23/05/07	16,39	7,33		0,16	1,58	7,08	7,83			5,63	12,35	42,00	32,55	67,80
27/05/07	81,97	10,16	0,43	1,61	0,95	11,46	10,43	4,44		6,91	16,46	58,50	106,58	96,75
02/06/07	45,90	12,41		0,16	0,95	13,75	10,87	3,33		6,65	16,46	55,50	73,17	92,81
17/07/07	70,16	9,87	3,70	1,45		13,75	9,13	3,33		10,23	30,45	95,00	98,93	148,15
25/07/07	3,77	6,49	0,87	2,58	1,58	5,63	6,09	3,33		2,81	6,58	26,00	20,91	44,82
29/07/07	45,25	5,36	2,17	0,65	6,95	7,29	7,39	7,78		6,14	12,35	50,50	67,66	84,15
15/10/07	150,16	26,80	0,65	45,81	1,58	33,96	18,26	52,22		22,51	45,27	177,50	258,96	315,76
22/10/07	124,59	31,88	0,65	48,71	1,89	43,75	8,26	32,22		32,23	50,21	192,50	251,47	315,41
25/10/07	44,10	8,74	0,22	4,52	0,32	10,83	8,26	0,56		4,09	11,52	52,00	68,73	76,43
29/10/07	26,39	15,23	1,09	45,65	0,63	28,54	4,35	50,56		15,60	16,46	71,50	117,53	158,47
01/11/07	43,77	17,77	1,09	59,68	1,89	26,25	6,96	45,00		16,37	21,40	90,00	150,45	179,72
04/11/07	30,16	8,46		7,58	1,89	8,75	10,00			7,16	4,94	33,50	56,85	55,60
06/11/07	70,16	6,21	0,22	0,16	1,89	4,38	10,87	2,22		4,60	4,12	35,50	83,02	57,31
11/11/07	3,77	6,21		5,48	0,32	5,63	11,30	1,67		3,84	6,58	31,50	21,40	54,89
15/11/07		3,67	0,22	12,90	0,95	10,42	6,52	10,56		3,07	4,12	25,00	28,15	49,26
19/11/07	30,16	12,41	0,65	23,23	0,63	13,33	12,61	35,56		12,79	3,29	28,00	80,42	92,24
04/12/07	78,85	15,80	0,65	27,10	0,63	20,63	11,74	36,67		24,04	23,05	57,50	143,65	152,99
06/12/07	38,85	4,80	0,00	0,32	0,32	4,38	8,70	1,67		5,88	14,81	53,50	48,66	84,56
09/12/07	18,03	5,36	0,22	4,52	2,21	2,71	6,09	1,11		4,60	10,70	46,50	33,04	69,00

Observou-se que as amostras de água de chuva apresentaram baixa concentração para os íons analisados, em termos de concentração média normalizada pela precipitação, calculadas conforme equação 4 (item 4.5.5.). O  $\text{HCO}_3^-$ , mesmo apresentando baixas concentrações, ainda foi o responsável por aproximadamente 40% dos ânions analisados nessas águas. As variações observadas entre as concentrações máximas e mínimas para os íons majoritários analisados ocorreram em função do efeito de diluição relacionado aos volumes precipitados, onde as menores concentrações se relacionaram com os maiores volumes de precipitação e as maiores concentrações com os menores volumes de precipitação (MOREIRA.-NORDEMANN; GIRARD; RÉ POPPI, 1997).

Em termos de águas fluviais, foram analisadas 54 amostras coletadas no ponto Ribeirão dos Cocais durante o período de 21/10/2005 a 11/12/07 (Tabela 05 e 06), onde foi observada uma variação no pH de 4,82 a 5,80, valores estes inferiores aos verificados por Silva et al. (2007) em pequenos cursos de água em região de savana do Estado de São Paulo com cultivo de cana-de-açúcar, que foi na faixa de 6,00 a 6,50, e que podem estar associados a possíveis diferenças entre as áreas de estudo, tais como o estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar, as atividades de preparo do solo de áreas de reforma, o relevo e tipo de solo, entre outros.

As amostras de água do Ribeirão dos Cocais também apresentaram baixa concentração para os íons analisados. O  $\text{HCO}_3^-$  apresentou concentrações maiores em relação aos demais íons, o que pode estar relacionado à contribuição dos aportes atmosféricos e à solubilização das cinzas oriundas das queimas de pré-colheita e da mineralização da matéria orgânica de restos culturais, que foram carregadas para os corpos de água pelo escoamento superficial.

Tabela 5. Resultado das análises das amostras de água do Ribeirão dos Cocais, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em  $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 21/10/05 a 11/12/07.

Tempo (dia)	pH	RIBEIRÃO DOS COCAIS											NID	TDS
		$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$		
21/10/05	5.33	1.02	0.68	<0,01	1.68	<0,01	1.10	0.29	0.30	0.63	0.23	0.92	1.98	6.85
23/10/05	5.56	0.98	1.05	<0,01	0.85	0.11	0.69	0.76	<0,01	0.71	0.21	0.89	0.85	6.25
25/10/05	5.63	1.50	0.41	<0,01	<0,01	<0,01	0.39	0.65	<0,01	0.50	0.20	0.61	<0,01	4.26
08/12/05	4.82	0.65	0.18	0.03	0.04	0.28	0.13	0.45	<0,01	0.34	0.29	<0,01	0.07	2.39
19/12/05	4.93	0.42	0.34	<0,01	0.07	0.10	0.35	0.30	<0,01	0.33	0.11	0.34	0.07	2.36
09/01/06	5.04	1.60	0.26	0.02	<0,01	0.15	0.17	0.52	<0,01	0.31	0.25	0.48	0.02	3.76
23/01/06	5.53	1.90	0.10	0.03	0.08	0.35	0.15	0.35	<0,01	0.18	0.18	0.65	0.11	3.97
07/02/06	5.76	2.16	0.20	<0,01	<0,01	<0,01	0.09	0.38	<0,01	0.22	0.12	0.35	<0,01	3.52
20/02/06	4.93	0.70	0.10	0.07	0.11	0.92	0.12	0.61	<0,01	0.21	0.30	0.70	0.18	3.84
06/03/06	5.06		0.48	<0,01	<0,01	0.18	0.32	0.65	0.16	0.28	0.11	0.49	0.16	2.67
13/03/06	5.05		0.33	<0,01	0.03	0.15	0.05	0.35	<0,01	0.10	0.10	0.40	0.03	1.51
24/03/06	5.19		0.22	0.20	0.06	0.13	0.10	0.38	<0,01	0.31	0.14	0.45	0.26	1.99
08/04/06	4.93		0.30	0.13	0.12	0.30	0.32	1.18	<0,01	0.18	0.33	0.42	0.25	3.28
24/04/06	5.73		0.75	<0,01	0.10	0.21	0.19	1.80	<0,01	0.15	0.21	0.41	0.10	3.82
03/07/06	5.62	1.40	0.46	<0,01	1.08	0.12	0.21	0.39	0.01	0.10	0.16	0.38	1.09	4.31
20/07/06	5.52	1.70	0.07	<0,01	0.12	0.18	0.44	0.50	<0,01	0.10	0.12	0.36	0.12	3.59
03/08/06	5.25	0.99	0.20	0.19	0.09	0.10	0.07	0.48	<0,01	0.17	0.11	0.35	0.28	2.75
15/08/06	5.41	1.39	0.06	<0,01	0.56	0.04	0.42	0.52	<0,01	0.11	0.12	0.40	0.56	3.62
28/08/06	5.22	1.10	0.16	0.06	<0,01	0.09	0.13	0.45	<0,01	0.21	0.11	0.37	0.06	2.68
15/09/06	5.61	1.53	0.30	<0,01	0.27	<0,01	0.10	0.62	<0,01	0.38	0.13	0.45	0.27	3.78
16/10/06	5.34	1.75	0.54	<0,01	0.09	<0,01	0.19	0.60	<0,01	0.70	0.15	0.44	0.09	4.46
07/11/06	5.31	1.65	0.40	<0,01	0.08	<0,01	0.09	0.62	<0,01	0.46	0.17	0.48	0.08	3.95
20/11/06	5.41	1.85	0.30	<0,01	0.05	<0,01	0.06	0.53	0.03	0.29	0.14	0.55	0.08	3.80
30/11/06	5.50	1.50	0.56	<0,01	0.03	<0,01	0.80	0.82	0.02	0.30	0.16	0.85	0.05	5.04
18/12/06	5.41	1.87	0.15	<0,01	0.13	0.08	0.03	0.34	0.02	0.12	0.09	0.43	0.15	3.26
02/01/07	5.21	1.40	0.48	0.01	0.18	0.09	0.26	0.70	0.10	0.64	0.16	0.56	0.29	4.58
15/01/07	5.50	1.85	0.56	<0,01	0.18	0.19	0.16	0.61	<0,01	0.74	0.25	0.85	0.18	5.39
22/01/07	5.40	1.45	0.60	<0,01	0.10	0.20	0.15	0.56	<0,01	0.58	0.24	0.81	0.10	4.69
29/01/07	5.40	1.51	0.47	<0,01	0.06	0.11	0.12	0.57	<0,01	0.50	0.20	0.80	0.06	4.34
06/02/07	5.40	1.27	0.89	<0,01	0.20	0.09	0.32	0.54	<0,01	0.88	0.25	0.90	0.20	5.34
12/02/07	5.50	1.71	0.47	<0,01	0.06	0.12	0.08	0.56	<0,01	0.52	0.22	0.77	0.06	4.51
19/02/07	5.40	1.32	0.52	<0,01	0.05	0.14	0.10	0.56	<0,01	0.49	0.18	0.71	0.05	4.07
26/02/07	5.60	1.80	0.30	0.01	0.08	0.06	0.05	0.61	<0,01	0.28	0.18	0.63	0.09	4.00
01/03/07	5.50	1.70	0.15	0.01	0.02	0.15	0.10	0.56	<0,01	0.16	0.16	0.62	0.03	3.63
15/03/07	5.50	1.73	0.24	<0,01	0.05	0.04	0.11	0.58	<0,01	0.22	0.16	0.67	0.05	3.80
26/03/07	5.40	1.15	0.26	0.02	0.02	0.01	0.08	0.44	<0,01	0.14	0.13	0.52	0.04	2.77
09/04/07	5.40	1.15	0.28	<0,01	0.01	0.13	0.07	0.41	0.01	0.16	0.13	0.49	0.02	2.84
21/04/07	5.40	1.11	0.34	<0,01	0.04	0.04	0.08	0.49	<0,01	0.14	0.13	0.48	0.04	2.85
08/05/07	5.70	1.85	0.13	<0,01	0.05	0.35	0.08	0.35	0.01	0.10	0.10	0.42	0.06	3.44
17/05/07	5.60	1.90	0.12	<0,01	0.03	0.13	0.14	0.35	0.01	0.12	0.10	0.43	0.04	3.33
05/06/07	5.40	1.87	0.30	<0,01	0.40	0.40	0.11	0.57	0.01	0.21	0.16	0.68	0.41	4.71
16/06/07	5.40	1.86	0.20	0.02	0.07	0.04	0.10	0.57	<0,01	0.16	0.15	0.64	0.09	3.81
03/07/07	5.50	1.85	0.03	<0,01	0.03	0.19	0.05	0.45	0.02	0.13	0.09	0.44	0.05	3.28
24/07/07	5.40	1.04	0.36	<0,01	0.04	<0,01	0.22	0.24	0.01	0.45	0.09	0.01	0.05	2.46
03/08/07	5.40	1.42	0.47	<0,01	0.07	0.08	0.15	0.46	0.02	0.33	0.10	0.32	0.09	3.42
15/08/07	5.60	1.11	0.30	<0,01	0.10	<0,01	0.09	0.41	0.02	0.24	0.09	0.41	0.12	2.77
01/09/07	5.80	1.08	0.10	<0,01	<0,01	0.03	0.02	0.31	0.01	0.11	0.09	0.30	0.01	2.05
15/09/07	5.50	1.85	0.12	0.06	0.02	0.06	0.05	0.32	0.01	0.13	0.09	0.35	0.09	3.06
03/10/07	5.60	1.11	0.15	<0,01	0.14	0.03	0.11	0.39	0.05	0.12	0.10	0.57	0.19	2.77
15/10/07	5.50	1.86	0.70	0.01	0.04	<0,01	0.31	0.38	0.03	0.63	0.13	0.44	0.08	4.53
30/10/07	5.50	1.23	0.55	<0,01	0.05	0.03	0.20	0.41	0.02	0.55	0.12	0.44	0.07	3.60
14/11/07	5.60	1.85	0.49	<0,01	0.05	<0,01	0.35	0.74	0.01	0.30	0.13	0.55	0.06	4.47
03/12/07	5.40	2.08	0.25	0.02	0.05	<0,01	0.14	0.66	0.01	0.10	0.15	0.55	0.08	4.01
11/12/07	5.30	1.33	0.43	<0,01	0.04	0.05	0.18	0.73	0.01	0.43	0.18	0.59	0.06	3.98
<b>Concentração Média</b>		<b>1.47</b>	<b>0.35</b>	<b>0.02</b>	<b>0.15</b>	<b>0.12</b>	<b>0.20</b>	<b>0.54</b>	<b>0.02</b>	<b>0.31</b>	<b>0.16</b>	<b>0.52</b>	<b>0.18</b>	<b>3.71</b>
<b>Concentração Mínima <sup>(1)</sup></b>		<b>0.42</b>	<b>0.03</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.24</b>	<b>0.01</b>	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>	<b>0.01</b>	<b>0.01</b>	<b>1.51</b>
<b>Concentração Máxima</b>		<b>2.16</b>	<b>1.05</b>	<b>0.20</b>	<b>1.68</b>	<b>0.92</b>	<b>1.10</b>	<b>1.80</b>	<b>0.30</b>	<b>0.88</b>	<b>0.33</b>	<b>0.92</b>	<b>1.98</b>	<b>6.85</b>

(1) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.  
< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 6. Resultado das análises das amostras de água do Ribeirão dos Cocais, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 21/10/05 a 11/12/07.

Tempo (dia)	RIBEIRÃO DOS COCAIS											$\Sigma^-$	$\Sigma^+$
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>		
	(μeq L <sup>-1</sup> )												
21/10/05	16,72	19,18		27,10		22,92	12,61	16,67	16,11	18,93	46,00	85,92	110,32
23/10/05	16,07	29,62		13,71	3,47	14,38	33,04		18,16	17,28	44,50	77,24	112,99
25/10/05	24,59	11,57				8,13	28,26		12,79	16,46	30,50	44,28	88,01
08/12/05	10,66	5,08	0,63	0,58	8,84	2,71	19,57		8,70	23,87		28,50	52,13
19/12/05	6,89	9,59		1,13	3,16	7,29	13,04		8,44	9,05	17,00	28,05	47,54
09/01/06	26,23	7,25	0,50		4,84	3,49	22,61		7,93	20,58	24,00	42,31	75,11
23/01/06	31,15	2,82	0,65	1,29	11,05	3,13	15,22		4,60	14,81	32,50	50,09	67,14
07/02/06	35,36	5,64				1,88	16,52		5,63	9,88	17,50	42,88	49,52
20/02/06	11,48	2,82	1,52	1,74	29,05	2,50	26,52		5,37	24,69	35,00	49,11	91,58
06/03/06		13,54			5,62	6,67	28,26	9,06	7,21	9,05	24,50	25,83	78,08
13/03/06		9,37		0,44	4,67	1,04	15,22		2,56	8,23	20,00	15,52	46,01
24/03/06		6,21	4,30	0,92	4,11	2,08	16,52		7,93	11,69	22,50	17,62	58,64
08/04/06		8,46	2,83	1,94	9,47	6,67	51,30		4,60	27,16	21,00	29,36	104,07
24/04/06		21,16		1,61	6,63	3,96	78,26		3,84	17,28	20,50	33,36	119,88
03/07/06	22,95	12,89		17,42	3,79	4,38	16,96	0,78	2,56	13,17	19,00	61,43	52,46
20/07/06	27,89	1,97		1,94	5,68	9,17	21,74		2,56	10,12	18,00	46,65	52,42
03/08/06	16,23	5,64	4,13	1,45	3,16	1,46	20,87		4,35	9,05	17,50	32,07	51,77
15/08/06	22,77	1,72		9,03	1,26	8,75	22,61		2,81	9,88	20,00	43,54	55,30
28/08/06	18,03	4,51	1,30		2,84	2,71	19,57		5,37	9,05	18,50	29,40	52,49
15/09/06	25,08	8,46		4,35		2,08	26,96		9,72	10,70	22,50	39,98	69,87
16/10/06	28,69	15,23		1,45		3,96	26,09		17,90	12,35	22,00	49,33	78,34
07/11/06	27,05	11,28		1,29		1,88	26,96		11,76	13,99	24,00	41,50	76,71
20/11/06	30,33	8,46		0,81		1,25	23,04	1,67	7,42	11,52	27,50	40,85	71,15
30/11/06	24,59	15,88		0,48		16,67	35,65	1,00	7,67	13,17	42,50	57,62	99,99
18/12/06	30,66	4,34		2,10	2,53	0,63	14,78	0,94	3,07	7,41	21,50	40,25	47,70
02/01/07	22,95	13,54	0,22	2,92	2,84	5,42	30,43	5,61	16,37	13,17	28,00	47,89	93,58
15/01/07	30,33	15,80		2,90	6,00	3,33	26,52		18,93	20,58	42,50	58,36	108,52
22/01/07	23,77	16,93		1,61	6,32	3,13	24,35		14,83	19,75	40,50	51,75	99,43
29/01/07	24,75	13,26		0,97	3,47	2,50	24,78		12,79	16,46	40,00	44,95	94,03
06/02/07	20,82	25,11		3,23	2,84	6,67	23,48		22,51	20,58	45,00	58,66	111,56
12/02/07	28,03	13,26		0,97	3,79	1,67	24,35		13,30	18,11	38,50	47,71	94,25
19/02/07	21,64	14,67		0,81	4,42	2,08	24,35		12,53	14,81	35,50	43,62	87,19
26/02/07	29,51	8,46	0,24	1,29	1,89	1,04	26,52		7,16	14,81	31,50	42,44	80,00
01/03/07	27,87	4,23	0,22	0,32	4,74	2,08	24,35		4,09	13,17	31,00	39,46	72,61
15/03/07	28,36	6,77		0,81	1,26	2,29	25,22		5,63	13,17	33,50	39,49	77,51
26/03/07	18,85	7,33	0,43	0,32	0,32	1,67	19,13		3,58	10,70	26,00	28,93	59,41
09/04/07	18,85	7,90		0,16	4,11	1,46	17,83	0,56	4,09	10,70	24,50	32,48	57,67
21/04/07	18,20	9,59		0,65	1,26	1,67	21,30		3,58	10,70	24,00	31,36	59,58
08/05/07	30,33	3,67		0,81	11,05	1,67	15,22	0,56	2,56	8,23	21,00	47,52	47,56
17/05/07	31,15	3,44		0,48	4,11	2,92	15,22	0,56	3,07	8,23	21,50	42,09	48,57
05/06/07	30,66	8,46		6,45	12,63	2,29	24,78	0,56	5,37	13,17	34,00	60,49	77,88
16/06/07	30,49	5,64	0,43	1,13	1,26	2,08	24,78		4,09	12,35	32,00	41,04	73,22
03/07/07	30,33	0,85		0,48	6,00	1,04	19,57	1,11	3,32	7,41	22,00	38,70	53,41
24/07/07	17,05	10,16		0,65		4,58	10,43	0,56	11,51	7,41	0,50	32,43	30,41
03/08/07	23,28	13,26		1,13	2,53	3,13	20,00	1,11	8,44	8,23	16,00	43,32	53,78
15/08/07	18,20	8,46		1,61		1,88	17,83	0,89	6,14	7,41	20,50	30,15	52,76
01/09/07	17,70	2,82			0,95	0,42	13,48	0,56	2,81	7,41	15,00	21,89	39,25
15/09/07	30,33	3,39	1,30	0,32	1,89	1,04	13,91	0,56	3,32	7,41	17,50	38,28	42,70
03/10/07	18,20	4,23		2,27	0,95	2,29	16,96	2,67	3,07	8,23	28,50	27,94	59,42
15/10/07	30,49	19,75	0,22	0,65		6,46	16,52	1,44	16,11	10,70	22,00	57,56	66,78
30/10/07	20,16	15,51		0,81	0,95	4,17	17,83	1,11	14,07	9,88	22,00	41,60	64,88
14/11/07	30,33	13,82		0,81		7,29	32,17	0,56	7,67	10,70	27,50	52,25	78,60
03/12/07	34,10	7,05	0,33	0,82		2,92	28,70	0,78	2,56	12,35	27,50	45,22	71,88
11/12/07	21,80	12,13		0,69	1,58	3,75	31,74	0,78	11,00	14,81	29,50	39,96	87,83

Em relação às amostras de solução do solo, foram analisadas 96 amostras coletadas nos pontos Extratores de Solução do Solo durante o período de 03/01/2006 a 28/04/2006 (Tabela 07 a 14), sendo 18 amostras do extrator 1, 21 amostras do extrator 2, 22 amostras do extrator 3 e 35 amostras do extrator 4. Os resultados de pH obtidos para as amostras dos quatro extratores apresentaram uma variação de 5,39 a 9,46 e também na concentração dos íons dissolvidos ao longo do tempo.

Tabela 7. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 1, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em  $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 24/04/06.

Tempo (dia)	SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 1													NID	TDS
	pH	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$			
03/01/06	7,77	46,09	0,55	<0,01	0,12	<0,01	31,51	7,63	0,68	10,66	10,73	25,87	0,80	133,84	
04/01/06	9,46	25,95	0,33	0,10	0,01	0,13	28,03	4,08	2,05	9,65	10,39	22,16	2,16	102,88	
05/01/06	6,84	22,74	0,17	0,08	<0,01	0,04	23,43	5,73	1,41	10,96	9,17	17,50	1,49	91,23	
13/01/06	6,72	21,23	0,60	<0,01	<0,01	0,54	25,77	1,59	0,53	12,72	3,04	14,88	0,53	80,90	
16/01/06	7,29	24,59	2,33	<0,01	<0,01	4,67	33,73	2,42	3,51	24,25	2,71	12,95	3,51	111,16	
18/01/06	6,71	19,08	0,88	0,51	0,72	1,19	29,35	3,01	0,29	9,62	4,17	21,64	1,52	90,46	
10/02/06	7,42	24,60	2,40	0,08	1,06	1,05	22,72	1,60	1,96	8,99	1,62	8,76	3,10	74,84	
13/02/06	6,78	16,54	2,14	<0,01	2,94	0,36	28,26	4,71	<0,01	7,58	<0,01	13,82	2,94	76,35	
15/02/06	6,12	16,08	1,97	0,67	<0,01	6,29	32,65	0,33	<0,01	12,58	0,99	19,97	0,67	91,53	
18/02/06	6,11	16,57	4,62	<0,01	2,30	2,40	29,73	0,79	1,03	12,30	3,30	17,51	3,33	90,55	
20/02/06	6,36	24,59	4,35	<0,01	0,64	0,88	29,57	3,63	<0,01	7,56	4,84	15,86	0,64	91,92	
22/02/06	5,88	4,56	6,42	<0,01	0,41	0,96	33,84	0,85	0,95	12,10	3,09	12,36	1,36	75,54	
24/02/06	6,07	9,86	3,35	0,26	0,28	1,52	30,42	0,80	0,99	7,53	2,73	11,83	1,53	69,57	
15/03/06	6,69	15,36	0,35	<0,01	0,02	0,29	24,78	2,13	2,70	8,73	2,91	12,19	2,72	69,46	
24/03/06	6,19	13,61	3,68	0,94	1,55	1,46	28,76	2,08	0,72	9,25	2,53	11,59	3,21	76,17	
27/03/06	6,33	10,94	0,85	<0,01	0,54	2,67	21,96	5,51	1,97	13,27	8,47	13,25	2,51	79,43	
29/03/06	6,08	8,16	0,32	0,32	1,00	1,22	27,89	6,07	<0,01	12,11	8,70	15,37	1,32	81,16	
24/04/06	6,77	16,60	0,85	0,89	0,43	2,48	26,85	8,92	4,03	11,93	6,79	14,41	5,35	94,18	
<b>Concentração Média</b>		<b>18,73</b>	<b>2,01</b>	<b>0,43</b>	<b>0,86</b>	<b>1,66</b>	<b>28,29</b>	<b>3,44</b>	<b>1,63</b>	<b>11,21</b>	<b>5,07</b>	<b>15,66</b>	<b>2,15</b>	<b>87,84</b>	
<b>Concentração Mínima<sup>(1)</sup></b>		<b>4,56</b>	<b>0,17</b>	<b>0,08</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>21,96</b>	<b>0,33</b>	<b>0,29</b>	<b>7,53</b>	<b>0,99</b>	<b>8,76</b>	<b>0,53</b>	<b>69,46</b>	
<b>Concentração Máxima</b>		<b>46,09</b>	<b>6,42</b>	<b>0,94</b>	<b>2,94</b>	<b>6,29</b>	<b>33,84</b>	<b>8,92</b>	<b>4,03</b>	<b>24,25</b>	<b>10,73</b>	<b>25,87</b>	<b>5,35</b>	<b>133,84</b>	

(1) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.  
< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 8. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 1, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 24/04/06.

Tempo (dia)	SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 1												$\Sigma^-$	$\Sigma^+$
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$			
03/01/06	755,57	15,51		1,94		656,46	331,74	37,78	272,63	883,13	1293,50	1429,48	2818,78	
04/01/06	425,41	9,31	2,17	0,16	4,11	583,96	177,39	113,89	246,80	855,14	1108,00	1025,12	2501,23	
05/01/06	372,79	4,80	1,74		1,26	488,13	249,13	78,33	280,31	754,73	875,00	868,71	2237,50	
13/01/06	348,03	16,93			17,05	536,88	69,13	29,44	325,32	250,21	744,00	918,89	1418,10	
16/01/06	403,11	65,73			147,47	702,71	105,22	195,00	620,20	223,05	647,50	1319,02	1790,97	
18/01/06	312,79	24,82	11,09	11,61	37,58	611,46	130,87	16,11	246,04	343,21	1082,00	1009,35	1818,23	
10/02/06	403,28	67,70	1,74	17,10	33,16	473,33	69,57	108,89	229,92	133,33	438,00	996,31	979,71	
13/02/06	271,15	60,37		47,42	11,37	588,75	204,78		193,86		691,00	979,05	1089,64	
15/02/06	263,61	55,57	14,57		198,63	680,21	14,35		321,74	81,48	998,50	1212,58	1416,07	
18/02/06	271,64	130,32		37,10	75,79	619,38	34,35	57,22	314,58	271,60	875,50	1134,22	1553,25	
20/02/06	403,11	122,71		10,32	27,79	616,04	157,83		193,35	398,35	793,00	1179,98	1542,53	
22/02/06	74,75	181,10		6,61	30,32	705,00	36,96	52,78	309,46	254,32	618,00	997,78	1271,52	
24/02/06	161,64	94,50	5,65	4,52	48,00	633,75	34,78	55,00	192,58	224,69	591,50	948,06	1098,56	
15/03/06	251,80	9,87		0,32	9,16	516,25	92,61	150,00	223,27	239,51	609,50	787,41	1314,89	
24/03/06	223,11	103,81	20,43	25,00	46,11	599,17	90,43	40,00	236,57	208,23	579,50	1017,63	1154,74	
27/03/06	179,34	23,98		8,71	84,32	457,50	239,57	109,44	339,39	697,12	662,50	753,85	2048,02	
29/03/06	133,77	9,03	6,96	16,13	38,53	581,04	263,91		309,72	716,05	768,50	785,45	2058,18	
24/04/06	272,13	23,98	19,35	6,94	78,32	559,38	387,83	223,89	305,12	558,85	720,50	960,08	2196,18	

Tabela 9. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 2, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em  $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

Tempo (dia)	SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 2													NID	TDS
	pH	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$			
	(mg L <sup>-1</sup> )														
03/01/06	9,06	34,60	1,91	0,03	1,85	0,15	25,67	7,83	1,17	22,13	6,28	22,34	3,05	123,96	
04/01/06	9,46	27,03	1,48	2,26	<0,01	0,12	18,55	1,81	<0,01	14,18	2,71	19,71	2,26	87,85	
05/01/06	7,12	43,57	1,96	<0,01	2,21	0,22	20,54	2,88	<0,01	21,89	3,67	19,57	2,21	116,51	
16/01/06			5,12	<0,01	1,45	2,61	27,35	2,73	0,39	19,30	6,30	26,22	1,84	91,47	
10/02/06	7,41	31,38	1,15	<0,01	0,28	0,04	21,90	1,71	0,29	14,01	1,27	8,72	0,57	80,75	
13/02/06	6,28	22,26	2,98	0,23	0,54	3,03	23,11	6,02	0,48	12,63	2,79	15,63	1,25	89,70	
15/02/06	6,21	18,98	3,05	0,49	2,54	0,71	19,36	1,56	0,60	14,25	0,66	7,56	3,63	69,76	
18/02/06	5,85	12,77	4,87	<0,01	2,12	1,13	19,55	1,26	0,23	22,43	3,24	9,25	2,35	76,85	
20/02/06	6,49	23,16	1,05	<0,01	2,49	1,73	22,35	6,31	1,26	23,41	0,97	16,89	3,75	99,62	
22/02/06	6,85	11,48	2,25	<0,01	0,41	1,57	14,82	1,24	0,56	9,88	1,15	8,47	0,97	51,83	
24/02/06	5,67	7,16	4,86	0,83	1,88	1,38	20,90	0,58	0,64	12,33	1,34	8,41	3,35	60,31	
27/02/06	6,01	7,68	1,72	0,50	0,39	1,10	19,59	6,13	2,44	19,04	4,91	10,61	3,33	74,11	
02/03/06	6,35	9,75	3,72	<0,01	1,34	0,31	23,19	1,09	0,72	13,46	1,54	7,93	2,06	63,05	
07/03/06	6,35	8,05	1,76	0,54	0,38	6,80	19,92	1,02	0,68	11,76	1,22	8,37	1,60	60,50	
17/03/06	6,10	10,36	10,91	<0,01	2,15	2,67	25,77	1,35	0,66	11,06	1,08	7,54	2,81	73,55	
24/03/06	6,01	8,41	7,44	1,83	0,98	0,38	18,85	1,14	0,80	10,74	1,12	7,27	3,61	58,96	
29/03/06	6,11	7,90	0,84	2,08	0,46	10,91	19,25	4,66	<0,01	18,59	5,45	11,54	2,54	81,68	
06/04/06	5,80	10,25	1,12	0,51	1,47	2,00	18,70	7,54	1,97	19,72	4,39	11,39	3,95	79,06	
10/04/06	5,91	7,57	0,55	0,29	0,80	1,11	19,30	5,98	<0,01	18,76	4,23	10,71	1,09	69,30	
15/04/06	6,05	7,08	0,92	1,47	0,56	2,34	19,01	4,99	1,83	18,67	3,69	8,06	3,86	68,62	
28/04/06	6,65	6,53	1,37	1,86	0,46	0,35	18,64	14,27	0,38	16,84	4,03	9,82	2,70	74,55	
<b>Concentração Média</b>		<b>15,80</b>	<b>2,91</b>	<b>0,99</b>	<b>1,24</b>	<b>1,94</b>	<b>20,78</b>	<b>3,91</b>	<b>0,89</b>	<b>16,43</b>	<b>2,95</b>	<b>12,19</b>	<b>2,51</b>	<b>78,67</b>	
<b>Concentração Mínima <sup>(1)</sup></b>		<b>6,53</b>	<b>0,55</b>	<b>0,03</b>	<b>0,28</b>	<b>0,04</b>	<b>14,82</b>	<b>0,58</b>	<b>0,23</b>	<b>9,88</b>	<b>0,66</b>	<b>7,27</b>	<b>0,57</b>	<b>51,81</b>	
<b>Concentração Máxima</b>		<b>43,57</b>	<b>10,91</b>	<b>2,26</b>	<b>2,54</b>	<b>10,91</b>	<b>27,35</b>	<b>14,27</b>	<b>2,44</b>	<b>23,41</b>	<b>6,30</b>	<b>26,22</b>	<b>3,94</b>	<b>123,96</b>	

(1) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.  
< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 10. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 2, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

Tempo (dia)	SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 2											$\Sigma^-$	$\Sigma^+$
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$		
	(μeq L <sup>-1</sup> )												
03/01/06	567,21	53,88	0,65	29,84	4,74	534,79	340,43	65,00	565,98	516,87	1117,00	1191,11	2605,29
04/01/06	443,11	41,75	49,13		3,79	386,46	78,70		362,66	223,05	985,50	924,24	1649,90
05/01/06	714,26	55,29		35,65	6,95	427,92	125,22		559,85	302,06	978,50	1240,06	1965,62
16/01/06		144,43		23,39	82,42	569,79	118,70	21,67	493,61	518,52	1311,00	820,03	2463,49
10/02/06	514,43	32,44		4,52	1,26	456,25	74,35	16,11	358,31	104,53	436,00	1008,90	989,30
13/02/06	364,92	84,06	5,00	8,71	95,68	481,46	261,74	26,67	323,02	229,63	781,50	1039,83	1622,55
15/02/06	311,15	86,04	10,65	40,97	22,42	403,33	67,83	33,33	364,45	54,32	378,00	874,56	897,93
18/02/06	209,34	137,38		34,19	35,68	407,29	54,78	12,78	573,66	266,67	462,50	823,89	1370,38
20/02/06	379,67	29,62		40,16	54,63	465,63	274,35	70,00	598,72	79,84	844,50	969,71	1867,40
22/02/06	188,20	63,47		6,61	49,58	308,75	53,91	31,11	252,69	94,65	423,50	616,61	855,86
24/02/06	117,38	137,09	18,04	30,32	43,58	435,42	25,22	35,56	315,35	110,29	420,50	781,83	906,91
27/02/06	125,90	48,52	10,87	6,29	34,74	408,13	266,52	135,56	486,96	404,12	530,50	634,44	1823,65
02/03/06	159,84	104,94		21,61	9,79	483,13	47,39	40,00	344,25	126,75	396,50	779,30	954,89
07/03/06	131,97	49,65	11,74	6,13	214,74	415,00	44,35	37,78	300,77	100,41	418,50	829,22	901,80
17/03/06	169,84	307,76		34,68	84,32	536,88	58,70	36,67	282,86	88,89	377,00	1133,46	844,12
24/03/06	137,87	209,87	39,78	15,81	12,00	392,71	49,57	44,44	274,68	92,18	363,50	808,04	824,37
29/03/06	129,51	23,70	45,22	7,42	344,53	401,04	202,61		475,45	448,56	577,00	951,41	1703,62
06/04/06	168,03	31,59	11,09	23,71	63,16	389,58	327,83	109,44	504,35	361,32	569,50	687,16	1872,44
10/04/06	124,10	15,51	6,30	12,90	35,05	402,08	260,00		479,80	348,15	535,50	595,96	1623,44
15/04/06	116,07	25,95	31,96	9,03	73,89	396,04	216,96	101,67	477,49	303,70	403,00	652,94	1502,82
28/04/06	107,05	38,65	40,43	7,42	11,05	388,33	620,43	21,11	430,69	331,69	491,00	592,94	1894,92

Tabela 11. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 3, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em  $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 3														
Tempo (dia)	pH	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	NID	TDS
									$(\text{mg L}^{-1})$					
03/01/06	8,86	34,31	1,80	<0,01	0,27	0,04	78,31	7,33	<0,01	28,83	12,90	35,50	0,27	199,29
04/01/06	8,86	34,76	1,26	<0,01	0,22	0,06	57,75	5,75	1,38	29,14	10,68	32,97	1,60	173,97
05/01/06	9,07	29,22	0,85	0,11	0,16	0,08	56,29	4,28	<0,01	17,73	7,49	31,08	0,27	147,29
06/02/06		1,55	<0,01	0,33	0,09	68,55	2,48	0,60	19,25	3,14	23,17	0,93	119,16	
13/02/06	6,24	22,38	1,84	<0,01	1,29	0,40	68,21	<0,01	1,47	21,67	3,66	22,37	2,76	143,29
15/02/06	6,20	19,86	1,94	1,62	2,63	3,35	61,84	4,93	0,39	16,12	3,90	23,56	4,64	140,14
18/02/06	5,77	10,86	3,02	0,74	1,64	3,66	61,65	1,54	0,83	23,26	3,47	25,94	3,21	136,61
20/02/06	6,44	26,69	4,32	1,00	1,63	3,95	50,09	6,74	0,48	17,77	5,09	19,91	3,11	137,67
22/02/06	7,13	16,77	3,02	<0,01	1,46	0,81	41,36	0,70	0,47	12,91	2,14	19,02	1,93	98,66
24/02/06	6,51	14,56	3,80	<0,01	<0,01	1,07	55,55	0,60	0,76	16,06	2,92	18,84	0,76	114,16
27/02/06		4,11	0,57	0,07	10,74	53,64	1,18	0,66	27,75	3,02	16,77	1,30	118,51	
02/03/06	6,33	13,54	3,66	<0,01	2,06	3,29	55,68	0,70	0,63	16,49	2,93	18,54	2,69	117,52
07/03/06	6,42	13,72	2,50	1,66	<0,01	2,27	56,63	2,92	0,51	18,52	3,30	20,14	2,17	122,17
17/03/06	6,45	12,75	6,91	1,47	3,43	11,65	59,96	1,32	0,67	16,37	2,79	17,49	5,57	134,81
24/03/06	6,45	10,14	4,72	<0,01	6,08	4,02	56,96	1,95	0,68	15,78	2,57	16,38	6,76	119,28
27/03/06	5,93	9,27	2,63	0,27	0,21	11,38	47,64	6,95	<0,01	25,06	8,82	21,15	0,48	133,38
28/03/06	6,64	9,04	1,95	0,88	0,50	1,90	47,65	8,44	0,55	27,76	9,58	22,02	1,93	130,27
06/04/06	6,38	10,11	0,73	1,94	0,51	2,37	52,87	4,73	<0,01	24,89	8,46	20,80	2,45	127,41
10/04/06	6,02	12,60	1,11	1,07	1,35	5,42	47,25	8,79	<0,01	24,53	8,38	21,51	2,42	132,01
15/04/06	6,15	7,56	0,35	1,74	0,21	<0,01	40,32	2,83	2,40	22,35	7,79	15,33	4,35	100,88
19/04/06	6,52	6,75	2,41	0,55	2,42	3,22	41,28	6,28	2,24	20,98	5,94	20,11	5,21	112,18
28/04/06	7,32	7,11	2,49	0,46	1,25	3,88	43,71	6,03	1,12	22,91	6,63	18,00	2,83	113,59
<b>Concentração Média</b>		<b>16,10</b>	<b>2,59</b>	<b>1,01</b>	<b>1,39</b>	<b>3,51</b>	<b>54,69</b>	<b>4,12</b>	<b>0,93</b>	<b>21,19</b>	<b>5,71</b>	<b>21,85</b>	<b>2,62</b>	<b>130,56</b>
<b>Concentração Mínima<sup>(1)</sup></b>		<b>6,75</b>	<b>0,35</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,04</b>	<b>40,32</b>	<b>0,60</b>	<b>0,39</b>	<b>12,91</b>	<b>2,14</b>	<b>15,33</b>	<b>0,27</b>	<b>98,64</b>
<b>Concentração Máxima</b>		<b>34,76</b>	<b>6,91</b>	<b>1,94</b>	<b>6,08</b>	<b>11,65</b>	<b>78,31</b>	<b>8,79</b>	<b>2,40</b>	<b>29,14</b>	<b>12,90</b>	<b>35,50</b>	<b>6,76</b>	<b>199,29</b>

(1) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.  
< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 12. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 3, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 3													
Tempo (dia)	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\Sigma^-$	$\Sigma^+$
							$(\mu\text{eq L}^{-1})$						
03/01/06	562,46	50,78		4,35	1,26	1631,46	318,70		737,34	1061,73	1775,00	2250,31	3892,76
04/01/06	569,84	35,54		3,55	1,89	1203,13	250,00	76,67	745,27	879,01	1648,50	1813,95	3599,45
05/01/06	479,02	23,98	2,39	2,58	2,53	1172,71	186,09		453,45	616,46	1554,00	1683,20	2810,00
06/02/06		43,72		5,32	2,84	1428,13	107,83	33,33	492,33	258,44	1158,50	1480,01	2050,42
13/02/06	366,89	51,90		20,81	12,63	1421,04		81,67	554,22	301,23	1118,50	1873,27	2055,62
15/02/06	325,57	54,72	35,22	42,42	105,79	1288,33	214,35	21,67	412,28	320,99	1178,00	1852,06	2147,28
18/02/06	178,03	85,19	16,09	26,45	115,58	1284,38	66,96	46,11	594,88	285,60	1297,00	1705,72	2290,55
20/02/06	437,54	121,86	21,74	26,29	124,74	1043,54	293,04	26,67	454,48	418,93	995,50	1775,71	2188,62
22/02/06	274,92	85,19		23,55	25,58	861,67	30,43	26,11	330,18	176,13	951,00	1270,90	1513,86
24/02/06	238,69	107,19			33,79	1157,29	26,09	42,22	410,74	240,33	942,00	1536,96	1661,38
27/02/06	115,94	115,94	12,39	1,13	339,16	1117,50	51,30	36,67	709,72	248,56	838,50	1586,12	1884,75
02/03/06	221,97	103,24		33,23	103,89	1160,00	30,43	35,00	421,74	241,15	927,00	1622,33	1655,33
07/03/06	224,92	70,52	36,09		71,68	1179,79	126,96	28,33	473,66	271,60	1007,00	1583,00	1907,55
17/03/06	209,02	194,92	31,96	55,32	367,89	1249,17	57,39	37,22	418,67	229,63	874,50	2108,28	1617,41
24/03/06	166,23	133,15		98,06	126,95	1186,67	84,78	37,78	403,58	211,52	819,00	1711,05	1556,66
27/03/06	151,97	74,19	5,87	3,39	359,37	992,50	302,17		640,92	725,93	1057,50	1587,28	2726,52
28/03/06	148,20	55,01	19,13	8,06	60,00	992,71	366,96	30,56	709,97	788,48	1101,00	1283,11	2996,96
06/04/06	165,74	20,59	42,17	8,23	74,84	1101,46	205,65		636,57	696,30	1040,00	1413,03	2578,52
10/04/06	206,56	31,31	23,26	21,77	171,16	984,38	382,17		627,37	689,71	1075,50	1438,44	2774,75
15/04/06	123,93	9,87	37,83	3,39		840,00	123,04	133,33	571,61	641,15	766,50	1015,02	2235,64
19/04/06	110,66	67,98	11,96	39,03	101,68	860,00	273,04	124,44	536,57	488,89	1005,50	1191,31	2428,45
28/04/06	116,56	70,24	10,00	20,16	122,53	910,63	262,17	62,22	585,93	545,68	900,00	1250,11	2356,01

Tabela 13. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 4, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em  $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

Tempo (dia)	SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 4													NID	TDS
	pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>			
	(mg L <sup>-1</sup> )														
03/01/06	9,31	28,09	2,51	<0,01	4,35	0,12	21,76	2,99		14,21	5,23	21,62	4,35	100,88	
04/01/06	7,05	41,20	3,62	<0,01	6,60	0,04	28,58	5,73	0,94	20,04	8,84	26,98	7,54	142,57	
05/01/06	9,07	29,38	3,13	0,20	2,72	0,07	29,34	5,64	1,39	20,02	7,17	21,39	4,31	120,45	
09/01/06	6,31	25,98	3,55	0,85	3,31	2,41	35,50	2,59	2,37	13,38	2,41	22,37	6,53	114,72	
11/01/06	6,23	21,33	3,70	<0,01	1,67	1,34	29,52	1,70	1,54	20,18	1,82	14,76	3,21	97,56	
13/01/06	6,42	22,53	2,99	<0,01	<0,01	3,52	23,65	2,19	0,45	13,42	5,01	15,78	0,45	89,54	
16/01/06	7,02	15,98	1,99	<0,01	<0,01	2,62	31,96	14,14	1,64	12,37	4,26	30,88	1,64	115,84	
18/01/06	6,53	14,12	3,82	<0,01	2,32	0,21	33,61	7,63	1,27	17,53	2,64	26,31	3,59	109,46	
20/01/06			2,40	<0,01	2,66		25,85	0,81	2,10	12,47	1,65	8,61	4,76	56,55	
23/01/06			2,83	<0,01	2,91	0,04	24,46	1,21	1,58	13,12	1,60	8,85	4,49	56,60	
30/01/06			2,75	<0,01	3,71	0,15	26,25	1,18	2,12	12,47	1,61	8,47	5,83	58,71	
10/02/06	7,12	17,31	2,48	<0,01	2,35	0,10	26,35	1,02	2,05	11,71	1,51	8,16	4,40	73,04	
13/02/06	5,83	9,40	1,91	<0,01	0,39	2,82	28,59	5,29	0,50	13,01	1,67	8,67	0,89	72,25	
15/02/06	5,64	6,09	4,49	<0,01	2,84	4,08	28,53	3,54	<0,01	14,21	2,83	13,02	2,84	79,63	
18/02/06	5,62	9,68	2,37	0,89	<0,01	3,77	23,54	<0,01	2,92	21,17	5,18	15,39	3,81	84,91	
20/02/06	5,97	9,94	7,99	0,38	1,01	1,26	30,92	1,61	2,52	13,09	1,55	12,17	3,91	82,44	
22/02/06	6,73	11,30	5,80	0,40	1,46	1,76	22,57	2,41	2,08	20,91	1,80	11,38	3,94	81,87	
24/02/06	6,13	6,68	6,00	<0,01	1,08	3,87	26,24	2,41	4,08	12,70	2,76	10,36	5,16	76,18	
27/02/06	5,92	6,35	5,69	<0,01	1,21	2,48	26,03	0,93	1,00	11,51	1,88	9,69	2,21	66,77	
02/03/06	5,91	5,64	8,63	0,94	<0,01	0,36	22,66	0,67	0,75	12,52	1,95	9,64	1,69	63,76	
06/03/06	5,83	4,82	3,39	0,70	1,83	20,66	28,09	0,76	0,65	11,88	1,79	8,78	3,18	83,35	
07/03/06	5,60	4,33	4,10	<0,01	0,97	0,34	22,63	0,58	0,47	11,42	1,71	9,38	1,44	55,93	
15/03/06	5,84	5,93	7,13	<0,01	2,28	5,26	26,79	0,87	0,93	11,17	1,73	8,98	3,21	71,07	
17/03/06	5,68	7,67	2,80	0,55	0,59	1,46	26,95	0,71	0,53	10,08	1,54	9,06	1,67	61,94	
20/03/06	5,98	6,52	7,51	<0,01	2,29	6,46	24,98	0,66	0,73	10,22	1,57	8,44	3,02	69,38	
22/03/06	6,27	5,98	7,49	0,42	1,41	0,84	28,19	1,03	0,60	10,39	1,52	8,03	2,43	65,90	
24/03/06	5,58	4,16	7,42	<0,01	2,23	2,36	22,85	2,36	0,60	12,27	1,58	8,40	2,83	64,23	
27/03/06	6,40	3,77	1,65	0,77	0,95	1,29	22,82	6,44	1,83	19,14	5,43	11,71	3,55	75,80	
28/03/06	5,80	4,07	1,88	0,28	1,00	1,05	22,00	5,76	0,59	18,60	5,68	12,13	1,87	73,04	
29/03/06	6,10	6,48	2,19	0,49	2,56	4,99	25,47	9,97	1,15	22,55	6,42	13,15	4,20	95,42	
07/04/06	5,88	4,56	1,41	0,41	0,52	7,49	21,23	5,15	1,46	19,10	5,99	11,52	2,39	78,84	
10/04/06	5,39	3,07	1,04	0,30	0,30	12,37	24,06	8,49	<0,01	19,34	6,06	13,26	0,60	88,29	
17/04/06	6,31	3,92	2,62	1,62	0,63	1,17	22,53	4,03	1,94	16,00	4,98	10,34	4,19	69,78	
20/04/06	6,38	3,54	11,25	1,73	2,78	1,00	27,21	2,98	2,64	25,87	4,94	11,87	7,15	95,81	
28/04/06	6,40	7,90	8,21	0,22	1,85	4,65	20,38	9,01	5,27	31,34	5,55	12,20	7,34	106,58	
<b>Concentração Média</b>		<b>11,18</b>	<b>4,25</b>	<b>0,66</b>	<b>2,03</b>	<b>3,01</b>	<b>26,06</b>	<b>3,60</b>	<b>1,58</b>	<b>15,70</b>	<b>3,42</b>	<b>13,19</b>	<b>3,56</b>	<b>82,83</b>	
<b>Concentração Mínima</b> <sup>(1)</sup>		<b>3,07</b>	<b>1,04</b>	<b>0,20</b>	<b>0,30</b>	<b>0,04</b>	<b>20,38</b>	<b>0,58</b>	<b>0,45</b>	<b>10,08</b>	<b>1,51</b>	<b>8,03</b>	<b>0,45</b>	<b>55,92</b>	
<b>Concentração Máxima</b>		<b>41,20</b>	<b>11,25</b>	<b>1,73</b>	<b>6,60</b>	<b>20,66</b>	<b>35,50</b>	<b>14,14</b>	<b>5,27</b>	<b>31,34</b>	<b>8,84</b>	<b>30,88</b>	<b>7,54</b>	<b>142,57</b>	

(1) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.  
< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 14. Resultado das análises das amostras de solução do solo do Extrator 4, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

Tempo (dia)	SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 4											$\Sigma^-$	$\Sigma^+$
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$		
	$(\mu\text{eq L}^{-1})$												
03/01/06	460,49	70,80		70,16	3,79	453,33	130,00	0,00	363,43	430,45	1081,00	1058,58	2004,88
04/01/06	675,41	102,12		106,45	1,26	595,42	249,13	52,22	512,53	727,57	1349,00	1480,66	2890,46
05/01/06	481,64	88,29	4,35	43,87	2,21	611,25	245,22	77,22	512,02	590,12	1069,50	1231,61	2494,08
09/01/06	425,90	100,14	18,48	53,39	76,11	739,58	112,61	131,67	342,20	198,35	1118,50	1413,60	1903,33
11/01/06	349,67	104,37		26,94	42,32	615,00	73,91	85,56	516,11	149,79	738,00	1138,30	1563,38
13/01/06	369,34	84,34			111,16	492,71	95,22	25,00	343,22	412,35	789,00	1057,55	1664,79
16/01/06	261,97	56,14			82,74	665,83	614,78	91,11	316,37	350,62	1544,00	1066,67	2916,88
18/01/06	231,48	107,76		37,42	6,63	700,21	331,74	70,56	448,34	217,28	1315,50	1083,49	2383,42
20/01/06		67,70		42,90	0,00	538,54	35,22	116,67	318,93	135,80	430,50	649,15	1037,11
23/01/06		79,83		46,94	1,26	509,58	52,61	87,78	335,55	131,69	442,50	637,61	1050,12
30/01/06		77,57		59,84	4,74	546,88	51,30	117,78	318,93	132,51	423,50	689,02	1044,02
10/02/06	283,77	69,96		37,90	3,16	548,96	44,35	113,89	299,49	124,28	408,00	943,75	990,01
13/02/06	154,10	53,88		6,29	89,05	595,63	230,00	27,78	332,74	137,45	433,50	898,95	1161,46
15/02/06	99,84	126,66		45,81	128,84	594,38	153,91		363,43	232,92	651,00	995,52	1401,26
18/02/06	158,69	66,85	19,35		119,05	490,42		162,22	541,43	426,34	769,50	854,36	1899,49
20/02/06	162,95	225,39	8,26	16,29	39,79	644,17	70,00	140,00	334,78	127,57	608,50	1096,85	1280,85
22/02/06	185,25	163,61	8,70	23,55	55,58	470,21	104,78	115,56	534,78	148,15	569,00	906,89	1472,27
24/02/06	109,51	169,25		17,42	122,21	546,67	104,78	226,67	324,81	227,16	518,00	965,06	1401,42
27/02/06	104,10	160,51		19,52	78,32	542,29	40,43	55,56	294,37	154,73	484,50	904,73	1029,60
02/03/06	92,46	243,44	20,43		11,37	472,08	29,13	41,67	320,20	160,49	482,00	839,79	1033,50
06/03/06	79,02	95,63	15,22	29,52	652,42	585,21	33,04	36,11	303,84	147,33	439,00	1457,01	959,32
07/03/06	70,98	115,66		15,65	10,74	471,46	25,22	26,11	292,07	140,74	469,00	684,48	953,14
15/03/06	97,21	201,13		36,77	166,11	558,13	37,83	51,67	285,68	142,39	449,00	1059,35	966,56
17/03/06	125,74	78,98	11,96	9,52	46,11	561,46	30,87	29,44	257,80	126,75	453,00	833,76	897,86
20/03/06	106,89	211,85		36,94	204,00	520,42	28,70	40,56	261,38	129,22	422,00	1080,09	881,85
22/03/06	98,03	211,28	9,13	22,74	26,53	587,29	44,78	33,33	265,73	125,10	401,50	955,01	870,45
24/03/06	68,20	209,31		35,97	74,53	476,04	102,61	33,33	313,81	130,04	420,00	864,04	999,79
27/03/06	61,80	46,54	16,74	15,32	40,74	475,42	280,00	101,67	489,51	446,91	585,50	656,56	1903,59
28/03/06	66,72	53,03	6,09	16,13	33,16	458,33	250,43	32,78	475,70	467,49	606,50	633,46	1832,91
29/03/06	106,23	61,78	10,65	41,29	157,58	530,63	433,48	63,89	576,73	528,40	657,50	908,15	2259,99
07/04/06	74,75	39,77	8,91	8,39	236,53	442,29	223,91	81,11	488,49	493,00	576,00	810,65	1862,52
10/04/06	50,33	29,34	6,52	4,84	390,63	501,25	369,13		494,63	498,77	663,00	982,91	2025,53
17/04/06	64,26	73,91	35,22	10,16	36,95	469,38	175,22	107,78	409,21	409,88	517,00	689,87	1619,08
20/04/06	58,03	317,35	37,61	44,84	31,58	566,88	129,57	146,67	661,64	406,58	593,50	1056,28	1937,95
28/04/06	129,51	231,59	4,78	29,84	146,84	424,58	391,74	292,78	801,53	456,79	610,00	967,15	2552,84

Os elevados valores de pH e concentração de íons dissolvidos observados no mês de janeiro podem estar associados à solubilização dos fertilizantes e corretores de solo aplicados na área e conseqüente deslocamento dos íons em solução através do perfil do solo, com destaque para o  $\text{K}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Nos meses subseqüentes ocorreu uma diminuição dos valores de pH, até atingir um equilíbrio dinâmico com valores próximos a 6,30.

A concentração das amostras também diminuiu, o que pode estar relacionado às possíveis perdas por lixiviação, onde os íons dissolvidos proveniente da solubilização dos fertilizantes e corretores de solo foram carregados pelo avanço da frente de umidade e passaram pela profundidade de 0,9 m, posição do extrator de solução do solo. Junto com essas perdas deve-se considerar também o aumento de consumo de nutrientes pela cana-de-açúcar durante o seu desenvolvimento, principalmente no estágio de crescimento e desenvolvimento

de colmos (TRIVELIN; VITTI, 2005); e as limitações da técnica de extração de solução do solo com o uso de cápsulas porosas de porcelana onde, no decorrer do tempo, podem ocorrer obstruções dos poros da cápsula pelos colóides do solo e a formação de uma camada de argila na superfície externa da cápsula porosa, que podem retardar a penetração de íons em solução e mesmo alterar sua concentração devido à sorção e ou precipitação de compostos de menor solubilidade (MORAES; DYNIA, 1990).

Em relação às águas do lençol freático, foram analisadas 21 amostras coletadas no ponto Lençol Freático durante o período de 01/03/07 a 11/12/07 (Tabela 15 e 16). Foi possível observar uma variação de pH entre 5,50 a 6,30 e uma baixa concentração para os íons analisados.

Tabela 15. Resultado das análises das amostras de água do Lençol Freático, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID), Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) e suas respectivas médias, em  $\text{mg L}^{-1}$ , para o período de 01/03/07 a 11/12/07.

Tempo (dia)	pH	LENÇOL FREÁTICO											NID	TDS
		$\text{HCO}_3^-$	Cl <sup>-</sup>	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$		
01/03/07	6,30	9,50	2,43	<0,01	0,10	0,10	0,37	3,12	0,87	0,63	0,13	0,79	0,97	18,04
15/03/07	6,20	9,00	2,23	<0,01	0,06	0,08	0,28	2,34	0,25	0,79	0,34	1,79	0,31	17,16
26/03/07	6,20	9,00	1,69	<0,01	0,02	0,02	0,07	1,27	0,24	0,55	0,30	1,93	0,26	15,09
09/04/07	6,10	8,20	3,26	<0,01	0,02	<0,01	0,18	2,07	0,28	0,99	0,29	1,66	0,30	16,95
21/04/07	6,10	7,20	1,75	<0,01	0,05	0,01	0,12	1,33	0,29	0,77	0,21	1,33	0,34	13,06
08/05/07	6,00	5,20	2,83	<0,01	0,04	<0,01	0,18	1,56	0,44	0,64	0,12	0,90	0,48	11,91
17/05/07	5,90	5,20	2,18	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	1,53	0,43	0,61	0,10	0,77	0,43	10,92
06/06/07	5,80	5,45	2,38	<0,01	0,01	0,08	0,09	1,34	0,24	0,53	0,22	1,49	0,25	11,83
16/06/07	6,10	7,80	2,49	<0,01	0,05	0,01	0,08	1,88	0,16	0,59	0,22	1,53	0,21	14,81
03/07/07	6,00	5,67	2,50	0,03	0,37	<0,01	0,12	2,33	<0,01	0,55	0,15	0,99	0,40	12,71
24/07/07	5,90	4,67	3,96	<0,01	0,43	<0,01	0,16	1,41	0,05	0,55	0,12	1,78	0,48	13,13
03/08/07	6,10	4,54	2,05	<0,01	0,45	0,07	0,13	1,35	0,11	0,62	0,14	1,43	0,56	10,89
15/08/07	6,00	4,28	2,29	<0,01	0,59	0,10	0,08	1,51	0,05	0,56	0,15	1,32	0,64	10,93
01/09/07	5,50	4,28	1,70	0,01	0,50	0,08	0,12	1,31	0,01	0,47	0,12	1,13	0,52	9,73
15/09/07	5,60	5,13	1,68	0,05	0,29	0,01	0,05	1,32	<0,01	0,46	0,12	1,03	0,34	10,14
03/10/07	5,70	6,72	2,13	<0,01	0,24	<0,01	0,15	1,93	0,09	0,59	0,13	1,23	0,33	13,21
15/10/07	5,70	5,13	2,01	<0,01	0,31	<0,01	0,09	1,69	0,14	0,57	0,11	1,10	0,45	11,15
30/10/07	5,50	6,72	2,27	<0,01	0,29	<0,01	0,05	1,90	0,21	0,66	0,12	1,29	0,50	13,51
14/11/07	5,90	5,25	1,60	<0,01	0,23	0,06	0,08	1,73	0,15	0,58	0,09	1,04	0,38	10,81
03/12/07	5,60	5,01	1,72	<0,01	0,35	0,01	0,04	1,38	0,13	0,52	0,15	0,67	0,48	9,98
11/12/07	5,50	6,72	0,99	<0,01	0,01	0,05	0,07	1,18	0,16	0,55	0,15	1,28	0,17	11,16
<b>Concentração Média</b>		<b>6,22</b>	<b>2,20</b>	<b>0,03</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,12</b>	<b>1,69</b>	<b>0,23</b>	<b>0,61</b>	<b>0,17</b>	<b>1,26</b>	<b>0,42</b>	<b>12,72</b>
<b>Concentração Mínima <sup>(1)</sup></b>		<b>4,28</b>	<b>0,99</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>1,18</b>	<b>0,01</b>	<b>0,46</b>	<b>0,09</b>	<b>0,67</b>	<b>0,17</b>	<b>9,73</b>
<b>Concentração Máxima</b>		<b>9,50</b>	<b>3,96</b>	<b>0,05</b>	<b>0,59</b>	<b>0,10</b>	<b>0,37</b>	<b>3,12</b>	<b>0,87</b>	<b>0,99</b>	<b>0,34</b>	<b>1,93</b>	<b>0,97</b>	<b>18,05</b>

(1) valor mínimo de concentração obtido, acima do limite de quantificação.

< 0,01 valor abaixo do limite de quantificação.

Tabela 16. Resultado das análises das amostras de água do Lençol Freático, com a concentração para os ânions e cátions majoritários, soma de ânions ( $\Sigma^-$ ) e soma de cátions ( $\Sigma^+$ ), em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/03/07 a 11/12/07.

Tempo (dia)	LENÇOL FREÁTICO												$\Sigma^-$	$\Sigma^+$
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NO}_3^-$	$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Na}^+$	$\text{NH}_4^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$(\mu\text{eq L}^{-1})$		
01/03/07	155,74	68,55		1,61	3,16	7,71	135,65	48,33	16,11	10,70	39,50	236,76	250,30	
15/03/07	147,54	62,91		0,97	2,53	5,83	101,74	13,89	20,20	27,98	89,50	219,77	253,32	
26/03/07	147,54	47,67		0,32	0,63	1,46	55,22	13,33	14,07	24,69	96,50	197,63	203,81	
09/04/07	134,43	91,96		0,32		3,75	90,00	15,56	25,32	23,87	83,00	230,46	237,74	
21/04/07	118,03	49,37		0,81	0,32	2,50	57,83	16,11	19,69	17,28	66,50	171,02	177,41	
08/05/07	85,25	79,83		0,65		3,75	67,83	24,44	16,37	9,88	45,00	169,47	163,52	
17/05/07	85,25	61,50				2,08	66,52	23,89	15,60	8,23	38,50	148,82	152,74	
06/06/07	89,34	67,14		0,16	2,53	1,88	58,26	13,33	13,55	18,11	74,50	161,04	177,76	
16/06/07	127,87	70,24		0,81	0,32	1,67	81,74	8,89	15,09	18,11	76,50	200,90	200,32	
03/07/07	92,95	70,52	0,65	5,97		2,50	101,30		14,07	12,35	49,50	172,59	177,22	
24/07/07	76,56	111,71		6,94		3,33	61,30	2,78	14,07	9,88	89,00	198,53	177,03	
03/08/07	74,43	57,83		7,26	2,21	2,71	58,70	6,11	15,86	11,52	71,50	144,43	163,69	
15/08/07	70,16	64,60		9,52	3,16	1,67	65,65	2,78	14,32	12,35	66,00	149,10	161,10	
01/09/07	70,16	47,95	0,22	8,06	2,53	2,50	56,96	0,56	12,02	9,88	56,50	131,43	135,91	
15/09/07	84,10	47,39	1,09	4,68	0,32	1,04	57,39		11,76	9,88	51,50	138,61	130,53	
03/10/07	110,16	60,08		3,87		3,13	83,91	5,00	15,09	10,70	61,50	177,24	176,20	
15/10/07	84,10	56,70		5,00		1,88	73,48	7,78	14,58	9,05	55,00	147,67	159,89	
30/10/07	110,16	64,03		4,68		1,04	82,61	11,67	16,88	9,88	64,50	179,92	185,53	
14/11/07	86,07	45,13		3,71	1,89	1,67	75,22	8,33	14,83	7,41	52,00	138,47	157,79	
03/12/07	82,13	48,52		5,65	0,32	0,83	60,00	7,22	13,30	12,35	33,50	137,44	126,37	
11/12/07	110,16	27,93		0,16	1,58	1,46	51,30	8,89	14,07	12,35	64,00	141,29	150,61	

O  $\text{HCO}_3^-$  representou aproximadamente 50% do total de sólidos dissolvidos presentes nas amostras analisadas, o que pode estar relacionado principalmente à mineralização da matéria orgânica presente no solo que, solubilizada, percolou pelo perfil solo até atingir o lençol freático.

### 5.2.1. Equilíbrio iônico

O equilíbrio ou balanço iônico existente nas águas analisadas foi verificado a partir da razão entre as somas de cátions e de ânions (item 4.5.1) e podem ser observados nas figuras 23, 24, 25 e 26. Alguns fatores podem ter interferido nesse balanço, causando um desequilíbrio, tais como a limitação dos processos de amostragem e de análise; as perdas de compostos instáveis, como a volatilização do  $\text{CO}_2$  e de  $\text{NH}_3$ ; e a presença de íons não identificados nas amostras, entre outros (MIGLIAVACCA et al., 2005).

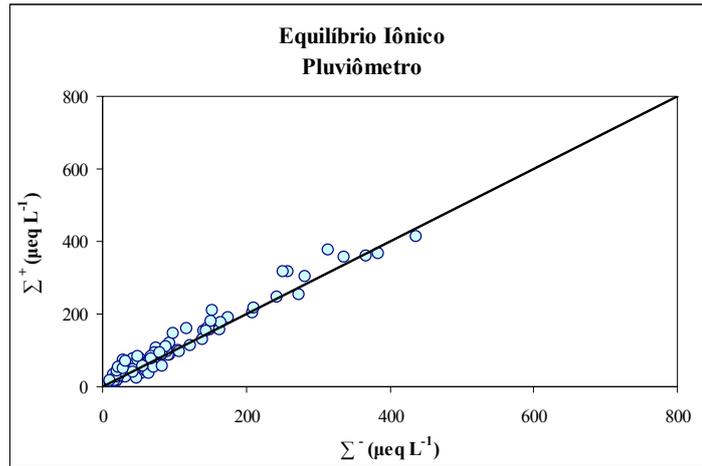


Figura 23. Equilíbrio iônico das amostras de água de chuva, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/09/05 a 09/12/07.

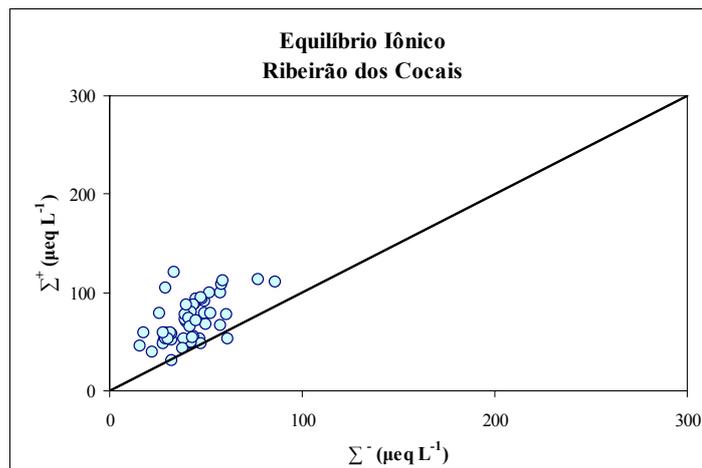


Figura 24. Equilíbrio iônico das amostras de água do Ribeirão dos Cocais, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 21/10/05 a 11/12/07.

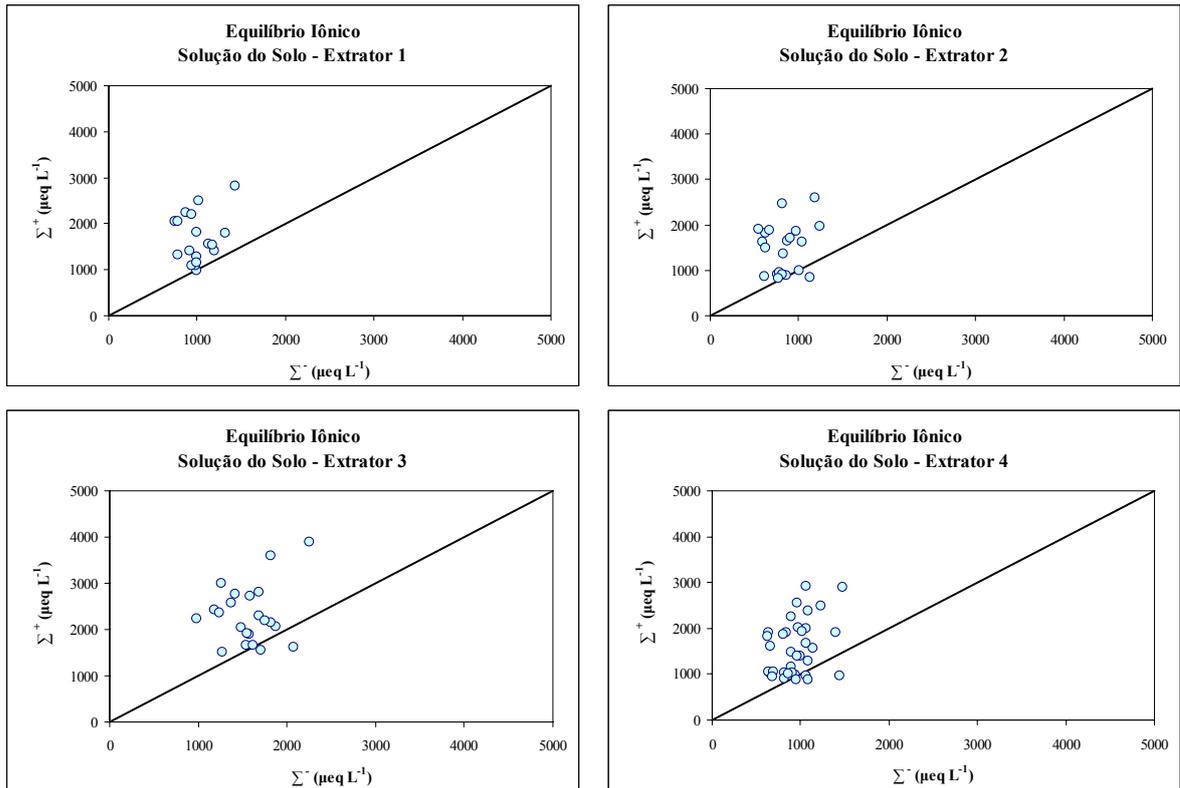


Figura 25. Equilíbrio iônico das amostras de Solução do Solo, por extrator, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

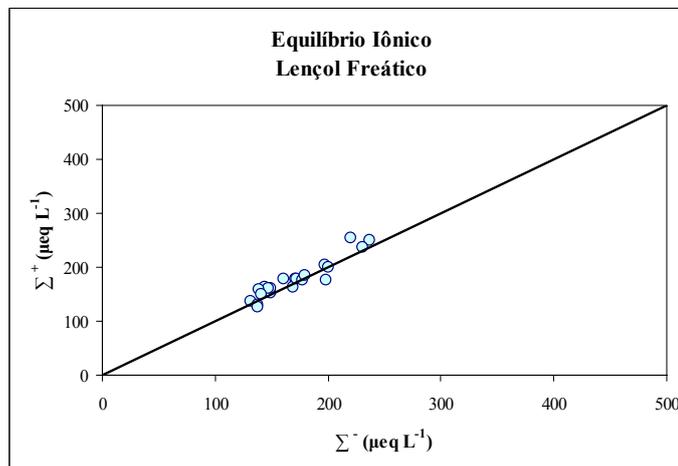


Figura 26. Equilíbrio iônico das amostras de água do Lençol Freático, representado pela relação entre a soma de cátions e a soma de ânions, em  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , para o período de 01/03/07 a 11/12/07.

As amostras de água de chuva, do Ribeirão dos Cocais e do lençol freático apresentaram baixa força iônica, com valores inferiores a  $400 \mu\text{eq L}^{-1}$  tanto para o somatório

de cátions e quanto de ânions. Observou-se um equilíbrio entre os ânions e cátions presentes nas amostras de águas de chuva e do lençol freático (Fig. 23 e 26, respectivamente), já para as amostras do Ribeirão dos Cocais (Fig. 24) observou-se o predomínio de cátions, uma vez que no caso dessas águas diluídas o balanço iônico satisfatório deveria incluir a carga aniônica do carbono orgânico dissolvido (COD), na ordem de 5,35  $\mu\text{eq}/\text{mg-C}$ , conforme estabelecido por Drever (1997)<sup>3</sup> e Tardy et al. (2005). Quando existe a necessidade dessa correção, a mesma pode ser feita considerando as concentrações de COD nessas águas, o que não foi o caso do presente estudo.

As amostras de solução do solo (Fig. 25) apresentaram uma força iônica maior em comparação às demais, chegando a 4000  $\mu\text{eq L}^{-1}$ , e um desequilíbrio no balanço, com o predomínio de cátions. Essa situação pode ter sido decorrente do “background” da área, que vem sendo cultivada com cana-de-açúcar desde o final dos anos 1970, onde foram incorporados ao solo insumos como corretores e adubos. Outro fator importante a ser considerado relaciona-se à dinâmica dos íons no solo e à disponibilidade e movimentação de água ao longo do perfil do solo, com a possibilidade de remoção dos íons fracamente adsorvidos aos colóides do solo para a solução do solo quando da aplicação de vácuo para favorecer o deslocamento da solução do solo para o interior da cápsula porosa do extrator, bem como às limitações da técnica, já expostas no item 5.2.

### 5.2.2. Íons Majoritários

A partição percentual dos íons majoritários, calculada para cada um dos pontos de amostragem de acordo com o descrito no item 4.5.2., permitiu uma melhor compreensão da

---

<sup>3</sup> DREVER, J.I. **The geochemistry of natural waters**. 3.ed. New Jersey: Prentice-Hall, Upper Saddle River, 1997. In: TARDY, Y.; BUSTILLO, V.; ROQUIN, C.; MORTATTI, J.; VICTORIA, R. The Amazon. Biogeochemistry applied to river basin management. Part I. Hidro-climatology, hydrograph separation, mass transfer balances, stable isotopes and modeling. **Applied Geochemistry**, Aberystwyth, v.20, p.1746-1829, 2005.

composição química das águas e a identificação dos íons predominantes durante o período de estudo.

Para as águas de chuva analisadas, dentre as principais espécies aniônicas, foi possível destacar a predominância do  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{NO}_3^-$ , com 58,97% e 15,21%, respectivamente, enquanto que para os cátions, o  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  foram as espécies de maior influência, com 30,83% e 27,86%, respectivamente (Fig. 27). Tais predomínios podem estar relacionados às queimadas de pré-colheita, às emissões da cultura durante seu desenvolvimento e da atividade microbiana no solo, e também às atividades de reforma de áreas, com o preparo do solo, aos quais pode-se associar a influência dos processos de formação e dissolução do  $\text{CO}_2$  na atmosfera, para o  $\text{HCO}_3^-$ ; a importância da forma volatilizada do  $\text{NH}_3$  e sua dissolução na fase de transição vapor condensação, para o  $\text{NH}_4^+$ ; a conversão dos gases  $\text{NO}_x$ , provenientes da queima de biomassa, para o  $\text{NO}_3^-$  (LARA et al., 2001); e ao material particulado em suspensão, principalmente poeira do solo, para o  $\text{Ca}^{2+}$ .

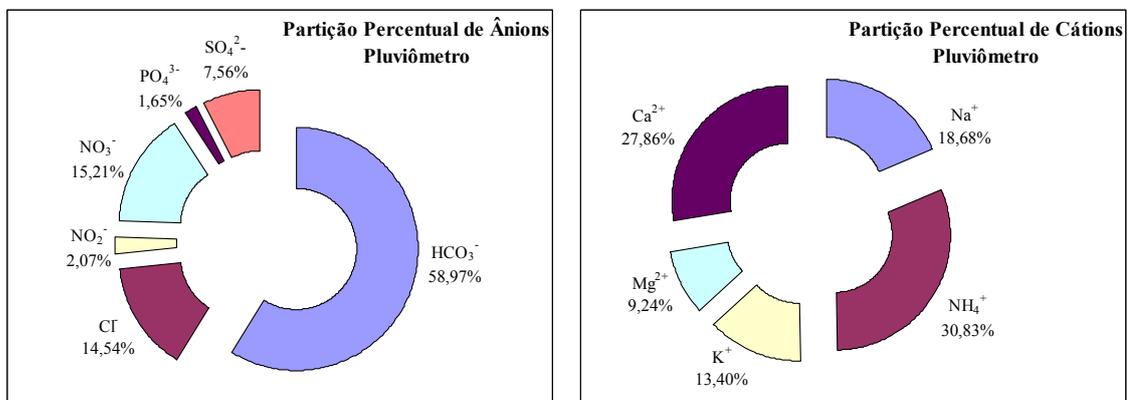


Figura 27. Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de água de chuva, para o período de 01/09/05 a 09/12/07.

Já para as águas do Ribeirão dos Cocais (Fig. 28) e do lençol freático (Fig. 29), as espécies predominantes durante os respectivos períodos de amostragem foram o  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  representando 60,36%, 24,66%, 45,13% e 25,10%, respectivamente, do total de ânions e cátions presentes nas amostras de água do Ribeirão dos Cocais e 60,34%, 36,67%,

52,98% e 22,73%, respectivamente, do total de ânions e cátions presentes nas amostras do lençol freático. Essa semelhança de predomínio e de percentuais já era esperada, uma vez que o Ribeirão dos Cocais pode ser considerado como a principal área de descarga do lençol freático.

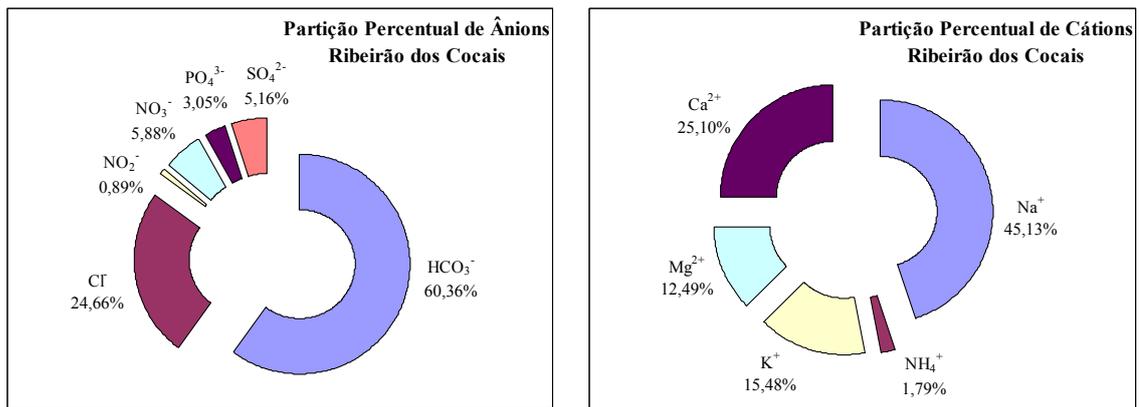


Figura 28. Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de água do Ribeirão dos Cocais, para o período de 21/10/05 a 11/12/07.

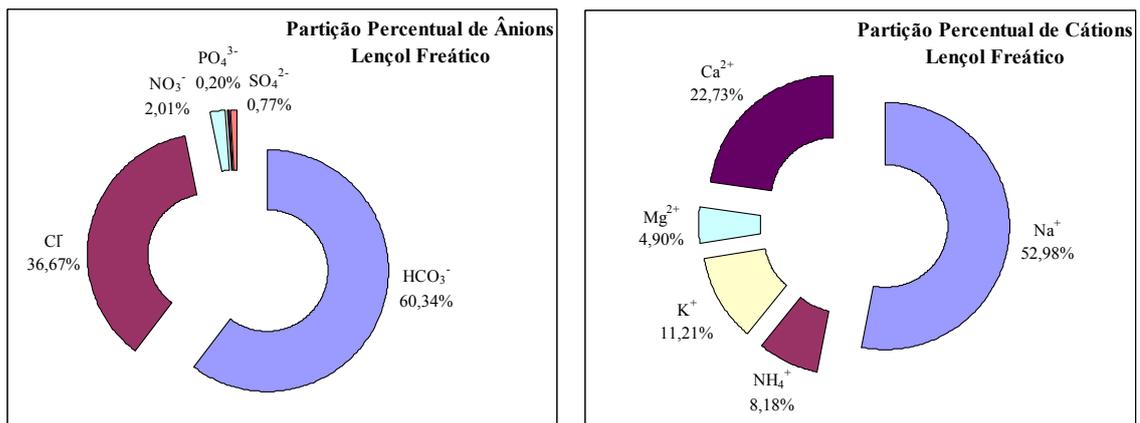


Figura 29. Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de água do Lençol Freático, para o período de 01/03/07 a 11/12/07.

O predomínio dessas espécies químicas pode ser associado às alterações antrópicas ocorridas na micro-bacia do Ribeirão dos Cocais, onde a matéria orgânica mineralizada

presente no solo, o gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e o calcário dolomítico ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) utilizados na correção do solo dos talhões de cana-de-açúcar comercial quando da sua reforma, foram solubilizados e transportados para os corpos d'água superficial e subterrâneo, através dos processos erosivos e de lixiviação, mesmo considerando as baixas concentrações observadas.

As amostras dos quatro extratores de solução do solo apresentaram o predomínio de  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  para os ânions e  $\text{K}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  para os cátions, com médias de 44,71%, 35,64%, 34,41% e 32,52%, respectivamente (Fig. 30). Esses resultados foram decorrentes, principalmente, da solubilização e posterior percolação pelo perfil do solo, tanto do gesso agrícola ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) e do calcário dolomítico ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) quanto do  $\text{K}_2\text{O}$  e da uréia, aplicados no talhão experimental dias antes do plantio (Item 3.2.3.). Já o  $\text{HCO}_3^-$  teve sua origem associada, principalmente, à mineralização de matéria orgânica e ao calcário dolomítico, sendo observada uma menor influência para os extratores 3 e 4.

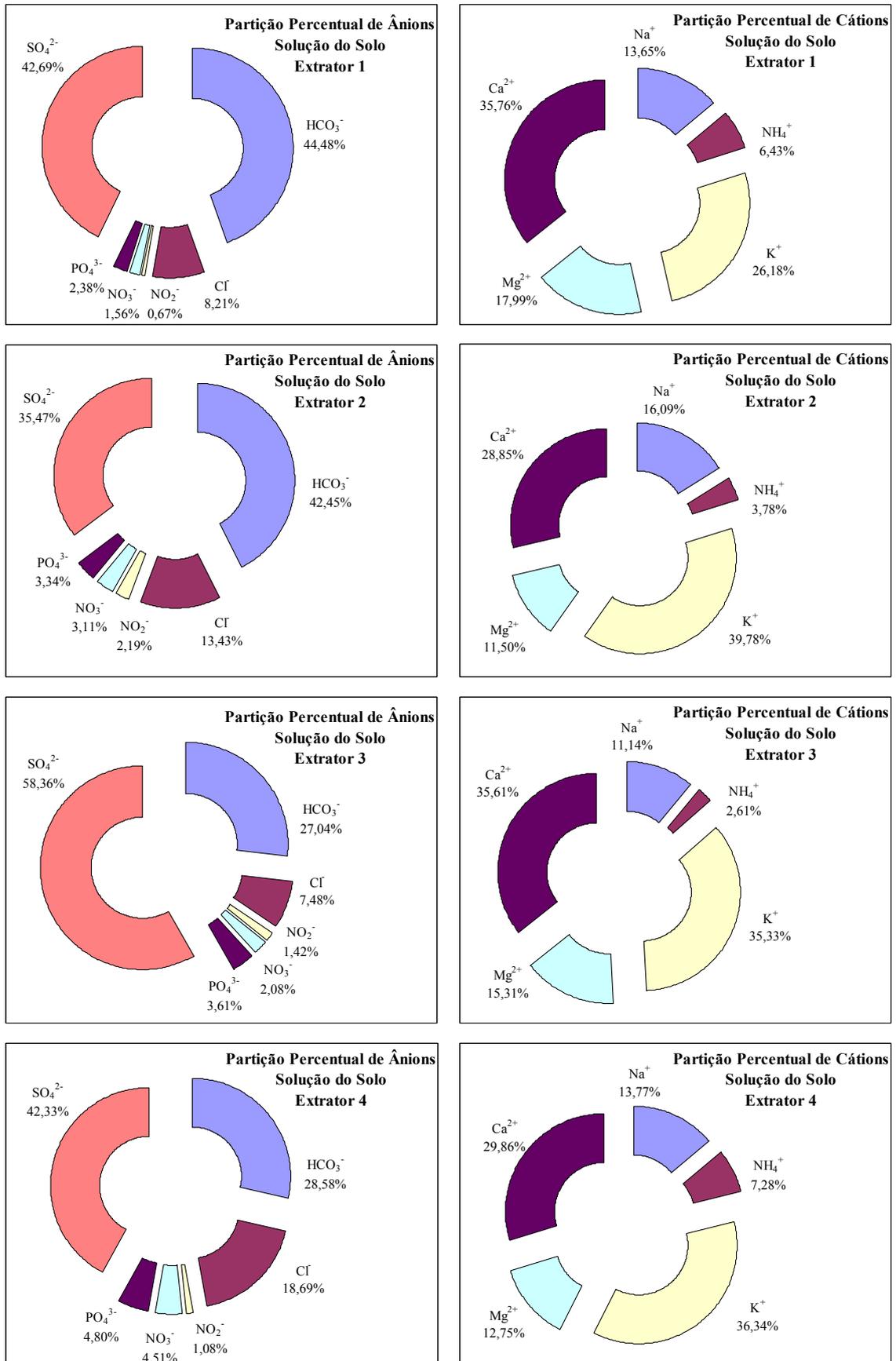


Figura 30. Percentual dos ânions e cátions majoritários presentes nas amostras de solução do solo, por extrator, para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

### 5.2.3. Participação do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)

A participação do NID no TDS foi calculada conforme descrito no item 4.3.4. e pode ser observada nas figuras 31, 32, 33 e 34, para cada um dos pontos de amostragem.

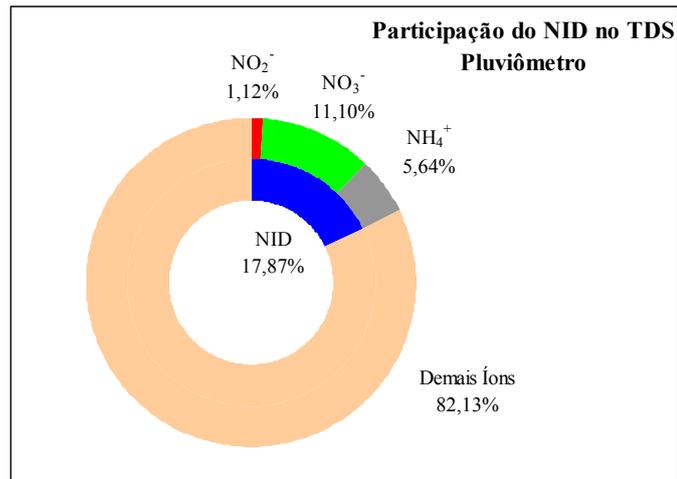


Figura 31. Participação percentual dos íons NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Pluviômetro, no período de 01/09/05 a 09/12/07.

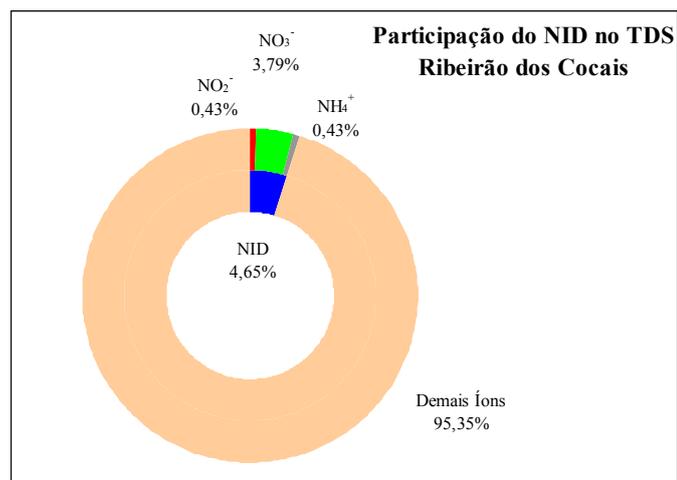


Figura 32. Participação percentual dos íons NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Ribeirão dos Cocais, no período de 21/10/05 a 11/12/07.

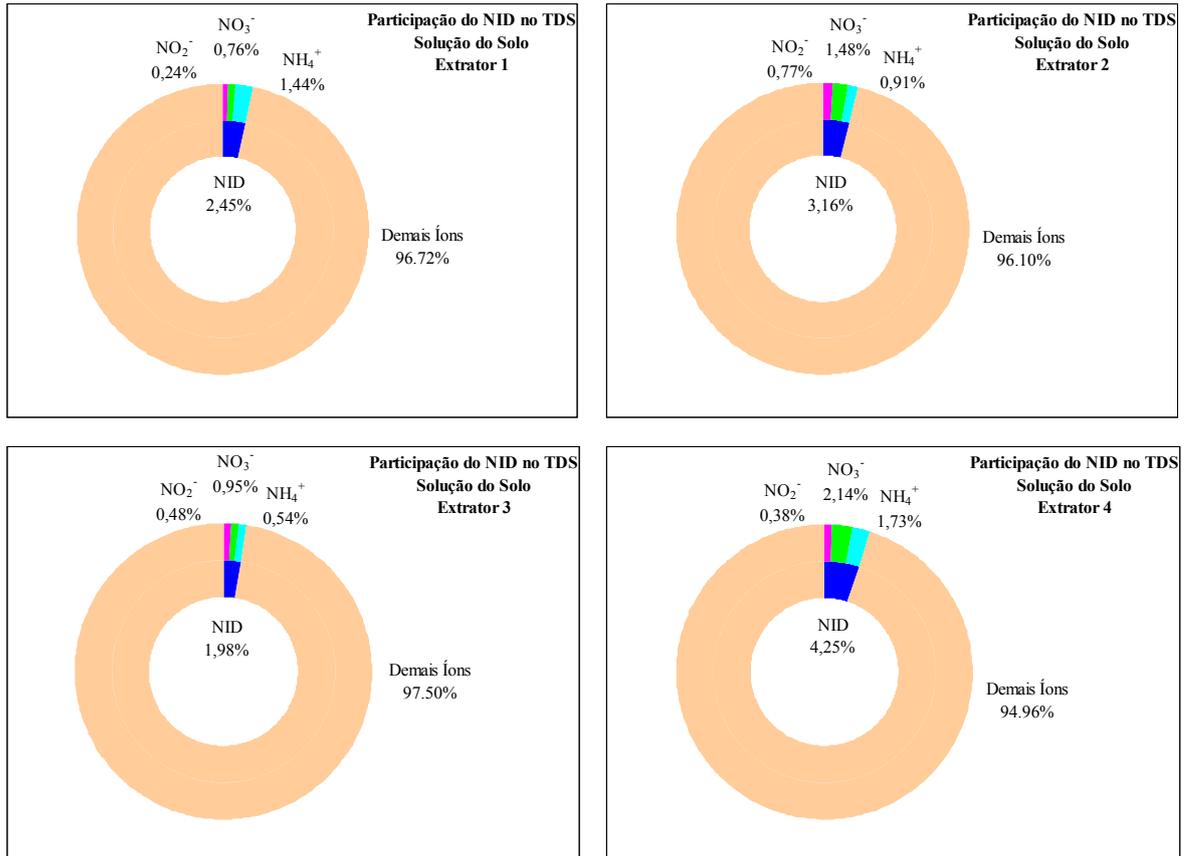


Figura 33. Participação percentual dos íons  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Extrator de Solução do Solo, por extrator, no período de 03/01/06 a 28/04/06.

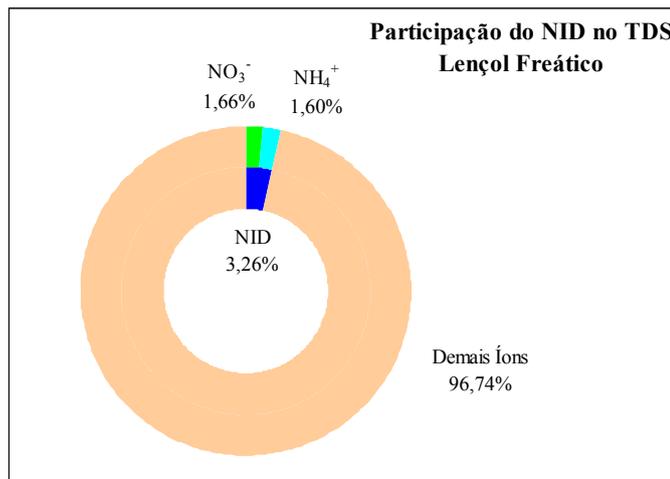


Figura 34. Participação percentual dos íons  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e do Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) no Total de Sólidos Dissolvidos (TDS), para o ponto Lençol Freático, no período de 01/03/07 a 11/12/07.

Para as águas de chuva pôde ser verificado que o NID representou 17,87% do total de sólidos dissolvidos, sendo que a espécie química nitrogenada dominante foi o  $\text{NO}_3^-$  com 11,10%, seguido pelo  $\text{NH}_4^+$  com 5,64% e  $\text{NO}_2^-$  com 1,12%. No caso das águas do Ribeirão dos Cocais, o NID representou apenas 4,65% do TDS, sendo a forma predominante o  $\text{NO}_3^-$  (3,79%). Tal verificação pode estar associada principalmente à queima de biomassa, atividade microbiana no solo e emissões da própria cultura (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; RÉ POPPI, 1997; LARA et al., 2001; TRIVELIN; VITTI, 2005)

Para a solução do solo, o NID variou de 1,98% a 4,25% do TDS, com predominância de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ . Essa baixa ocorrência de NID pode ser consequência do longo período entre a adubação e o início da amostragem da solução do solo, 11 meses, no qual a solubilização do fertilizante e consequente deslocamento pelo perfil do solo podem ter ocorrido, carregando uma maior concentração de íons nitrogenados, e que não foram analisados.

Participação semelhante ocorreu para as amostras de água do lençol freático, receptor de toda solução do solo que foi percolada através do perfil, onde o NID representou 3,26% do TDS, com predominância de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ .

#### **5.2.4. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas**

Ao analisar o comportamento temporal da concentração dos íons majoritários, optou-se por considerar também os volumes diários de precipitação no mesmo período, visando verificar as possíveis influências da precipitação ao longo do período de coleta. Para uma melhor compreensão, os resultados encontram-se apresentados por ponto de amostragem.

#### 5.2.4.1. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto

##### Pluviômetro

Ao longo de 28 meses foram coletadas e analisadas 103 amostras de água de chuva, permitindo uma avaliação das variações das concentrações de NID e demais íons majoritários para o ponto Pluviômetro (Fig. 35 e 36). Os íons analisados apresentaram um comportamento semelhante, apesar das diferenças de concentração entre eles. Após os períodos de estiagem, meses de maio a setembro, observou-se uma maior concentração após os primeiros eventos de chuva e, com o transcorrer do período chuvoso, houve uma diminuição dessa concentração em decorrência da lavagem da atmosfera, também conhecida como efeito de “washout” (MOREIRA-NORDEMANN; GIRARD; RÉ POPPI, 1997).

É importante destacar que os íons  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  apresentaram picos de concentração no início dos períodos chuvosos, nos meses de setembro e outubro de 2005, outubro de 2006 e outubro e novembro de 2007 (Fig. 35). Esse comportamento observado teve estreita relação com o incremento de poluentes na atmosfera advindos das queimas de pré-colheita, que ocorreram entre os meses de maio a novembro e favoreceram as altas concentrações nos primeiros eventos do período chuvoso, pois as queimadas emitem quantidades significativas de gases  $\text{NO}_x$ , que podem se converter para  $\text{NO}_3^-$  na atmosfera. Para o  $\text{NH}_4^+$ , além da contribuição das queimadas, foram consideradas como importantes fontes de N para a atmosfera a volatilização do N dos fertilizantes e as emissões da própria cultura (LARA et al., 2001).

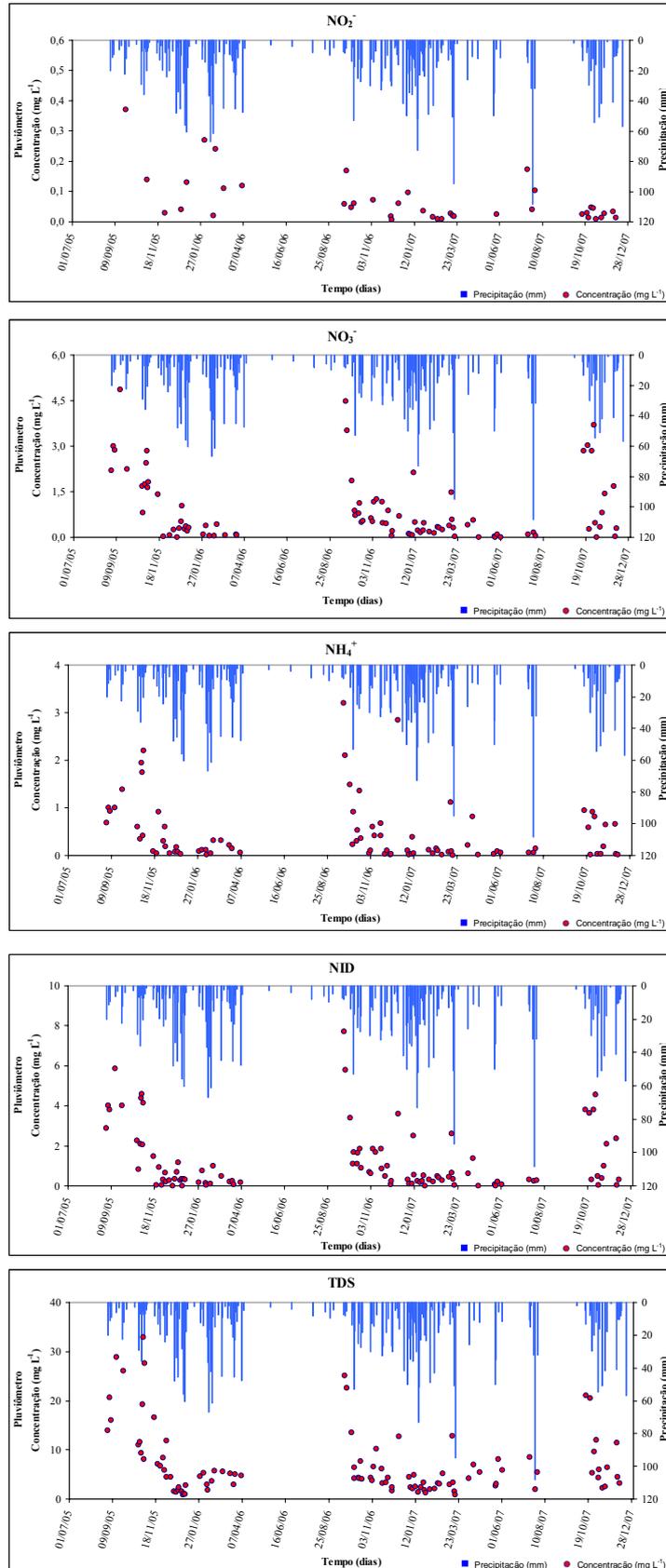


Figura 35. Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para o ponto Pluviômetro e da precipitação (mm), para o período de 01/09/05 a 09/12/07.

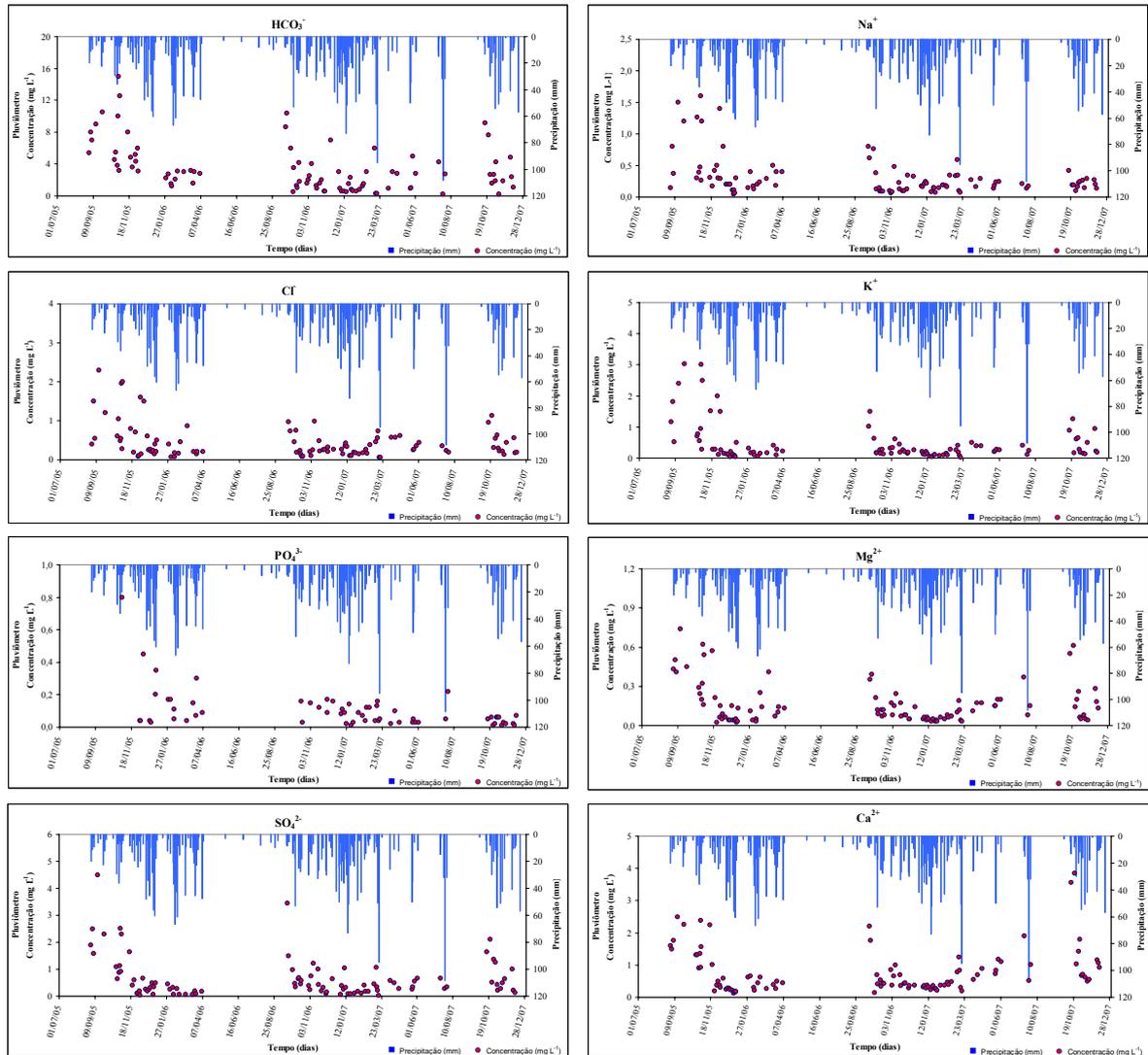


Figura 36. Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos demais ânions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ) para o ponto Pluviômetro e da precipitação (mm), para o período de 01/09/05 a 09/12/07.

Comportamentos similares puderam ser observados para os demais ânions, onde o citado processo de lavagem da atmosfera foi mais evidente para o  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . Em termos dos cátions principais, também pôde ser verificado o mesmo efeito de lavagem da atmosfera, principalmente para o  $\text{Ca}^{2+}$  (Fig. 36).

#### **5.2.4.2. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Ribeirão dos Cocais**

As figuras 37 e 38 apresentam a evolução temporal das concentrações das espécies químicas presentes nas amostras de água do Ribeirão dos Cocais, coletadas no período de 21/10/2005 a 11/12/2007. As espécies nitrogenadas presentes nas águas do Ribeirão dos Cocais apresentaram concentrações baixas, com valores inferiores a  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , exceto em quatro amostras onde a concentração de  $\text{NO}_3^-$  foi superior a esse valor.

Para os demais ânions foi possível observar uma variabilidade nas concentrações de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , associadas principalmente às recargas via precipitação; já para o  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  essas variações não foram significativas ao longo do período de estudo.

No caso dos cátions principais, a variabilidade temporal observada também pôde ser associada aos mecanismos de recarga descritos anteriormente.

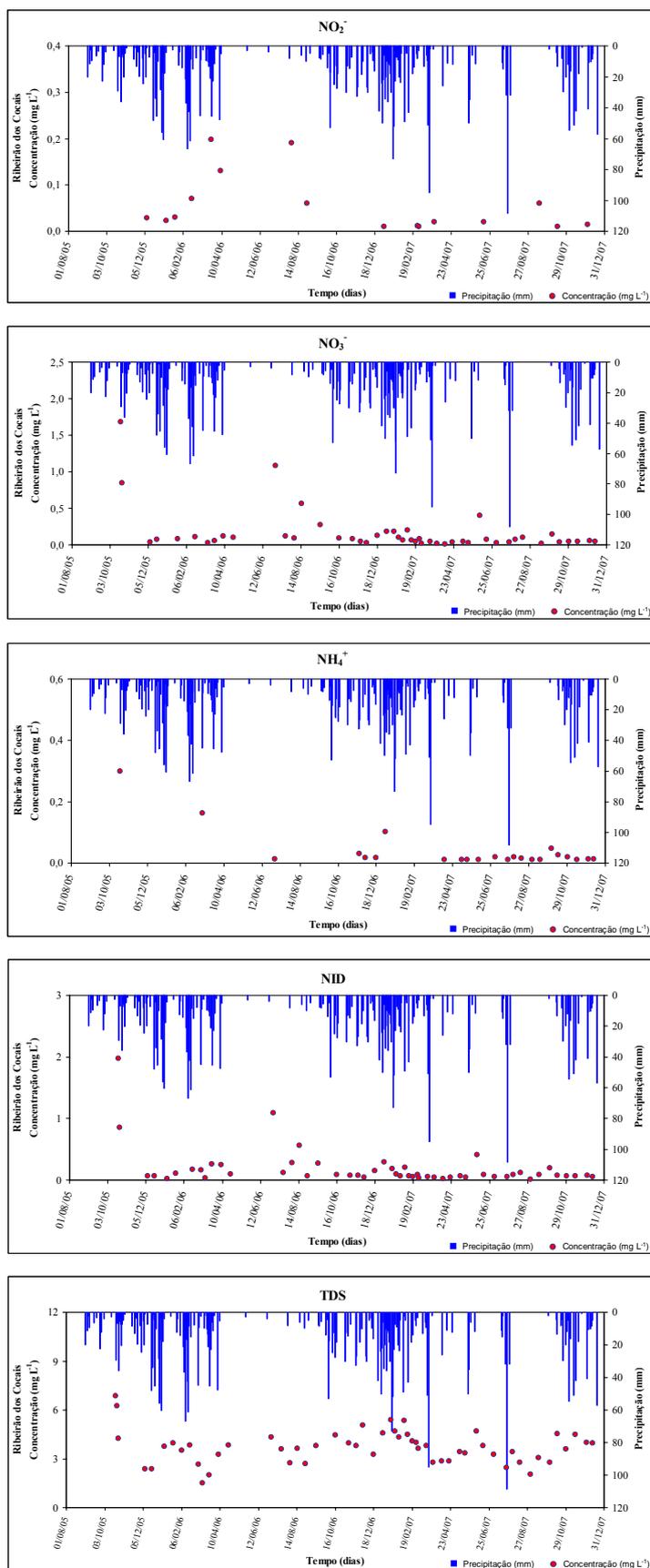


Figura 37. Variação temporal das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para o ponto Ribeirão dos Cocais e da precipitação (mm), para o período de 21/10/05 a 11/12/07.

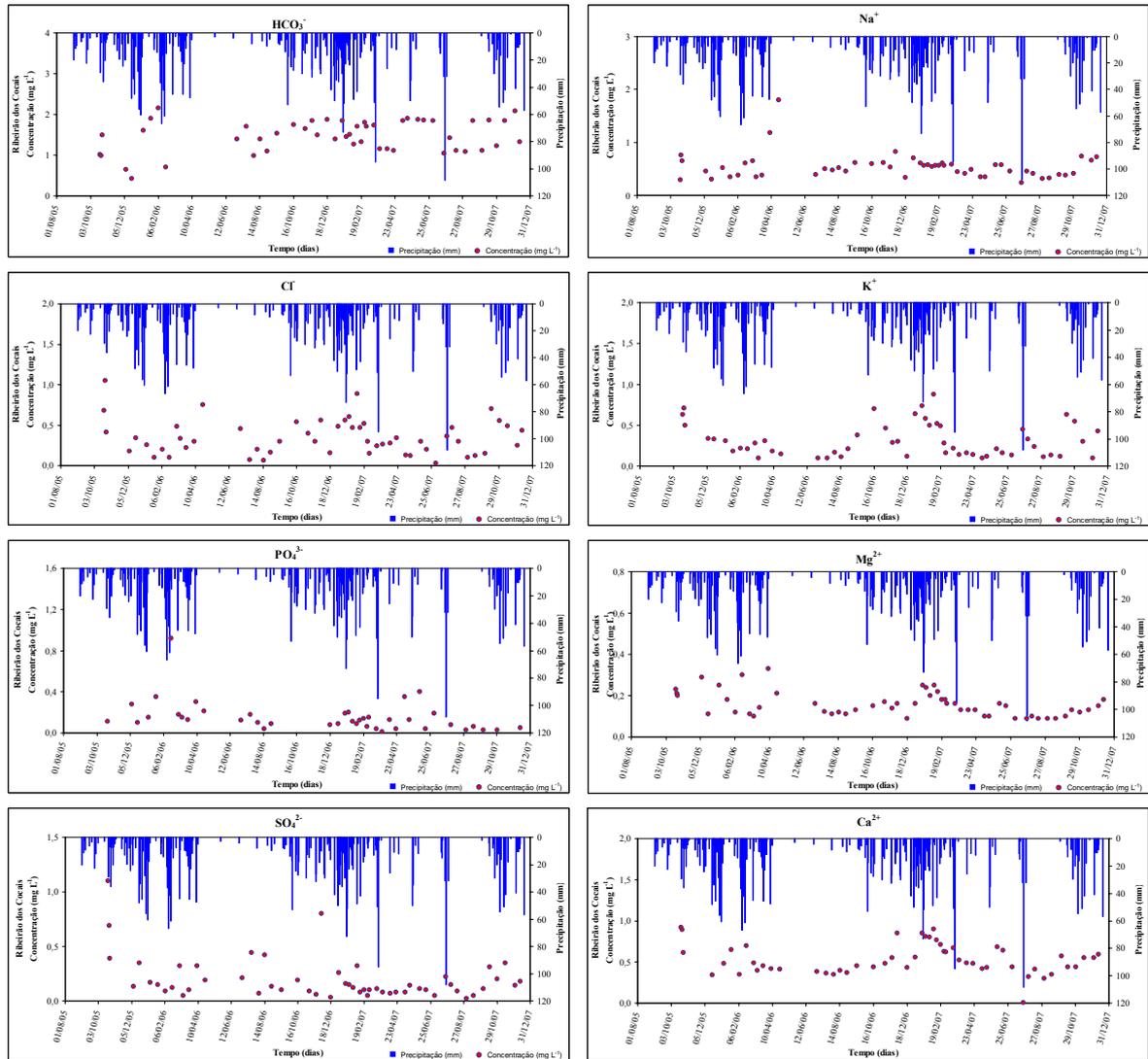


Figura 38. Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos demais ânions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ) para o ponto Ribeirão dos Cocais e da precipitação (mm), para o período de 21/10/05 a 11/12/07.

### 5.2.4.3. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Extratores de Solução do Solo

Como os extratores foram instalados junto às parcelas que receberam a mesma dosagem de adubo (item 3.2.3), os resultados de concentração obtidos para cada íon para os quatro extratores encontram-se exibidos em um mesmo gráfico e a seu lado o respectivo

gráfico com a variação temporal da concentração média (Fig 39, 40, 41 e 42), visando comparar o comportamento geral e entre as quatro parcelas.

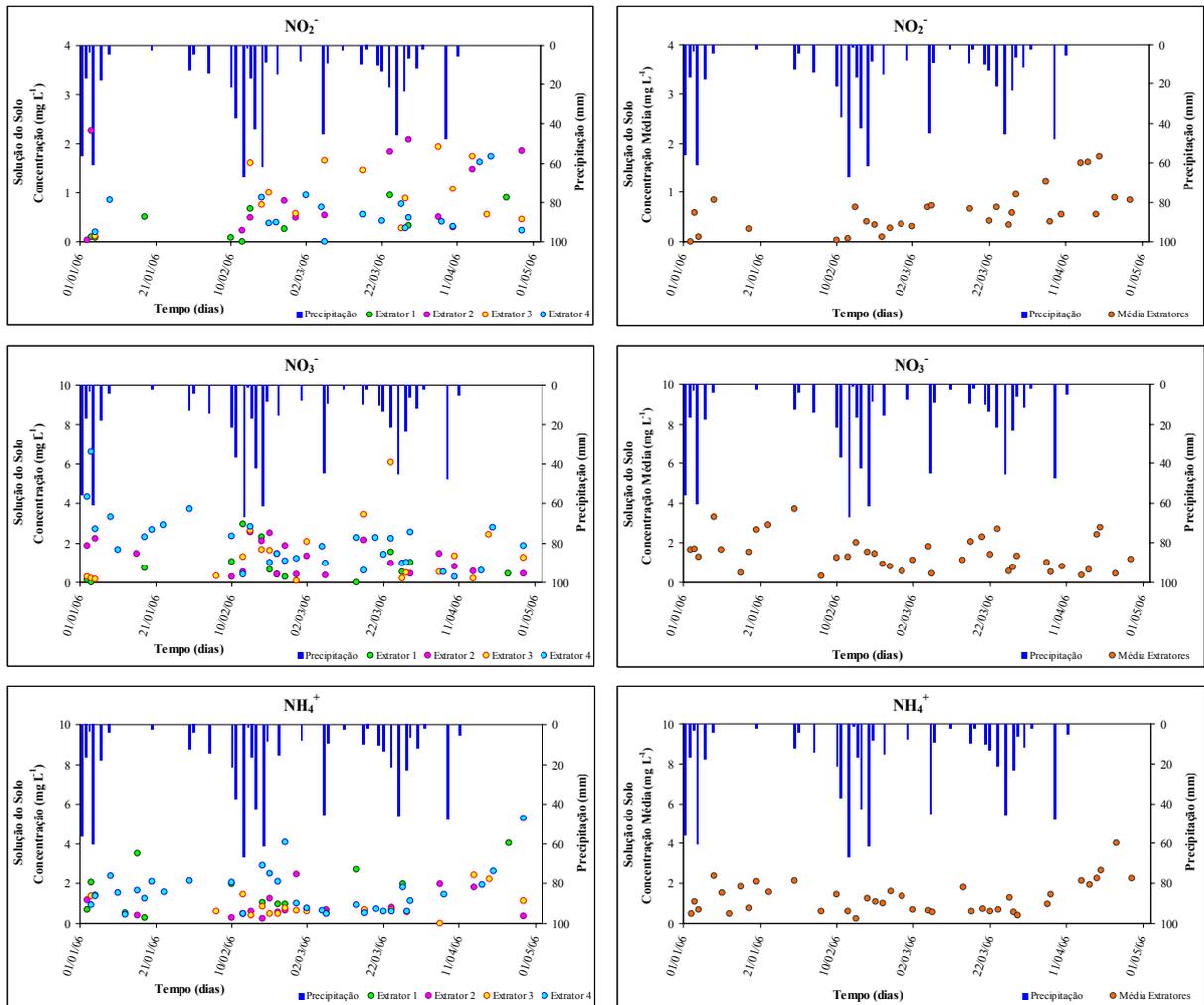


Figura 39. Variação temporal das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) de  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores (mg L<sup>-1</sup>) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

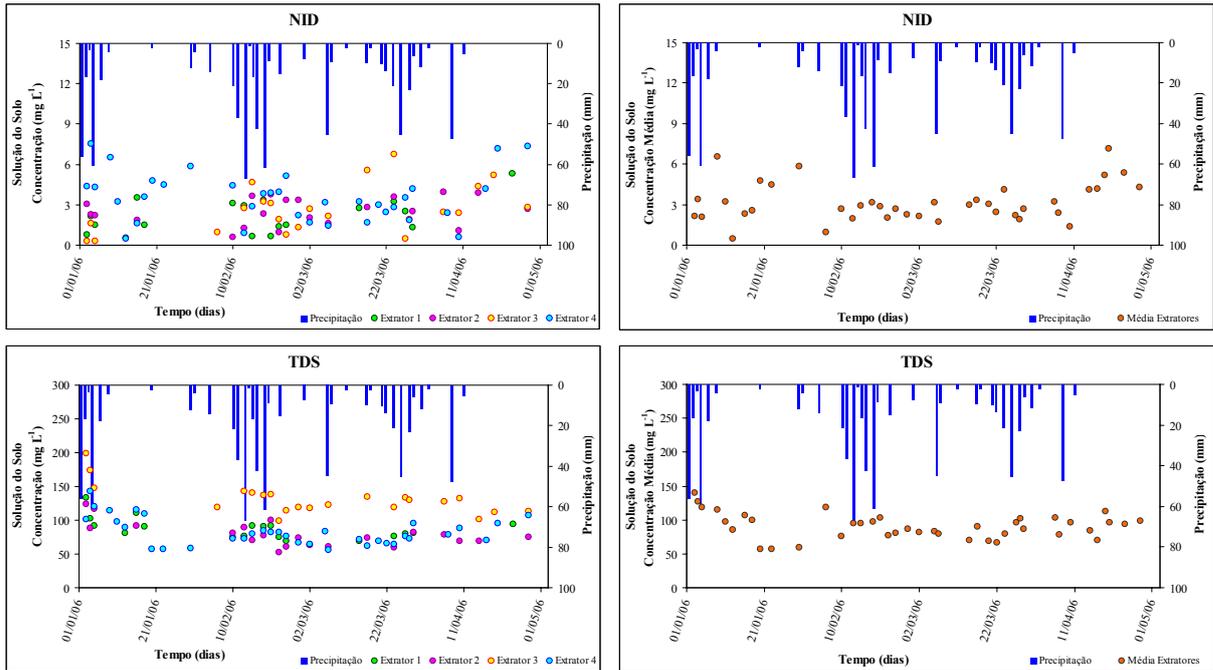


Figura 40. Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

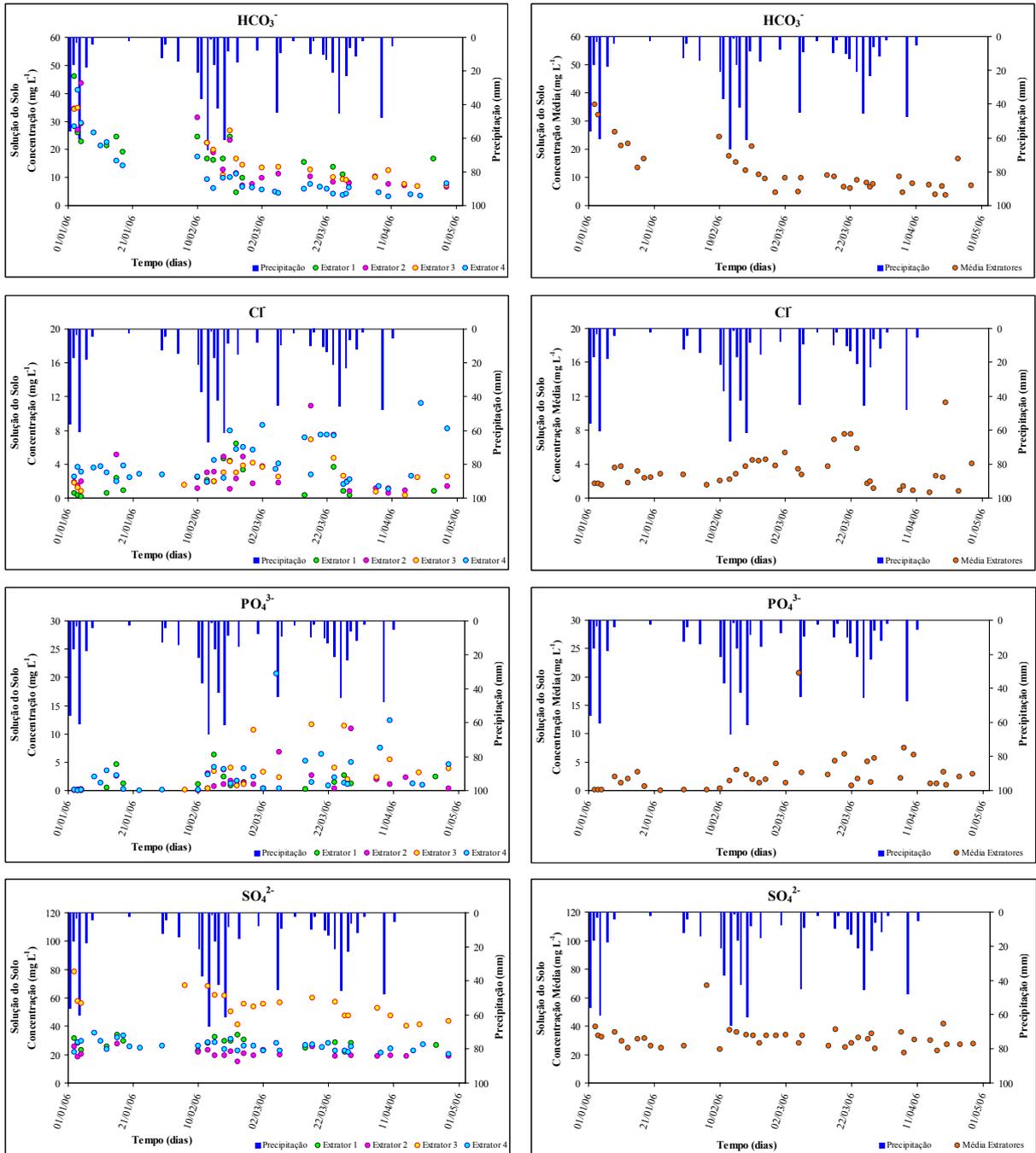


Figura 41. Variação temporal das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) dos demais ânions (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores (mg L<sup>-1</sup>) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

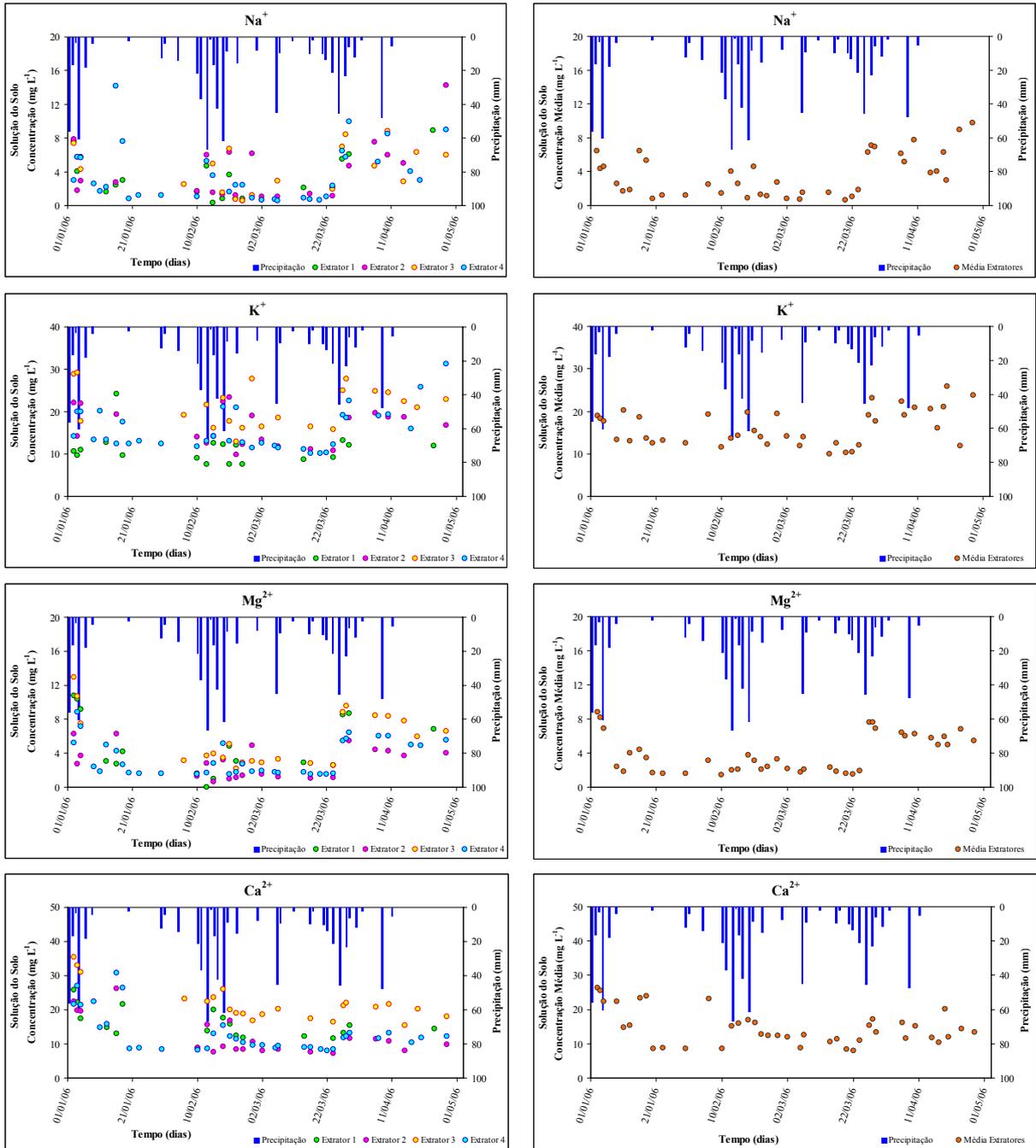


Figura 42. Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos demais cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ), por extrator de solução do solo e da precipitação (mm), e respectiva variação temporal da concentração média dos quatro extratores ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e da precipitação (mm), para o período de 03/01/06 a 28/04/06.

De forma geral, foi possível observar um comportamento semelhante da variação temporal das concentrações das espécies químicas dissolvidas para os quatro extratores, a partir dos dados médios apresentados, identificando-se concentrações mais elevadas no início

de janeiro de 2006. Esse fato pode ser associado ao final de um processo de lixiviação de fertilizantes e corretores do solo tendo em vista o observado em experimento semelhante, implantado simultaneamente a este trabalho na Usina Santa Adélia - USA, Jaboticabal, SP, e que também faz parte do projeto temático “Rendimento da cana-de-açúcar em ciclos consecutivos associados ao efeito residual e às transformações do N e S no solo, em sistema conservacionista”. Essa comparação serve mais como uma referência, uma vez que as duas áreas foram conduzidas da mesma forma e apresentaram características similares. No experimento USA, o intervalo entre a adubação e o início de amostragem de solução do solo foi de 6 meses e os resultados obtidos permitiram verificar o efeito de solubilização do fertilizante aplicado e o seu deslocamento ao longo do perfil do solo, sendo que na última semana de dezembro de 2005 e na primeira semana de janeiro de 2006 verificou-se com um pico de concentração para os íons dissolvidos na solução do solo, amostradas a 0,9 m de profundidade. A partir da segunda quinzena de janeiro, os valores de concentração decresceram e apresentaram um comportamento semelhante ao observado na USL. Esses resultados, obtidos pelo autor do presente estudo, foram apresentados ao grupo de pesquisa do projeto temático, sob coordenação do Prof. Dr. Paulo C. O. Trivellin, visando uma futura publicação.

As variações de concentrações observadas entre os quatro extratores podem ter ocorrido em função de pequenas diferenças entre os locais onde os extratores foram instalados, tais como: textura do solo, capacidade de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA), solubilidade dos sais e sua afinidade pelos sítios de adsorção do solo, presença de íons acompanhantes, restos culturais incorporados ao solo, aproveitamento dos nutrientes da solução pelas plantas e microorganismos, umidade do solo e volume de solução drenada no solo em cada um dos pontos, entre outros (OLIVEIRA et al., 2002; TRIVELIN; VITTI, 2005). Em termos médios, o NID mostrou não ser significativamente influenciado pela

recarga do sistema durante o período de estudo, indicando um certo equilíbrio, possivelmente associado ao efeito do adubo que permaneceu no solo.

#### **5.2.4.4. Variabilidade temporal das concentrações das espécies químicas para o ponto Lençol Freático**

As variações das concentrações das espécies químicas observadas para as amostras de água do Lençol Freático de uma forma geral mostraram que não houve influência significativa da precipitação durante o período estudado, devido às baixas concentrações verificadas (Fig. 43 e 44).

Como pode ser observado, o NID apresentou uma concentração média de  $0,42 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo praticamente invariável ao longo do período estudado. No caso do  $\text{NO}_3^-$ , o valor médio calculado foi de  $0,21 \text{ mg L}^{-1}$ , com um máximo de  $0,59 \text{ mg L}^{-1}$ , provavelmente devido à ocorrência de um evento chuvoso atípico de  $108,4 \text{ mm}$  no dia  $25/07/2007$ , anormal para o período, já comentado e ilustrado na figura 22. No entanto, o mesmo sinal não foi observado para o  $\text{NH}_4^+$ . Para os demais ânions e cátions não foi verificado qualquer variação significativa ao longo do período estudado, mesmo quando da ocorrência do evento chuvoso atípico mencionado anteriormente.

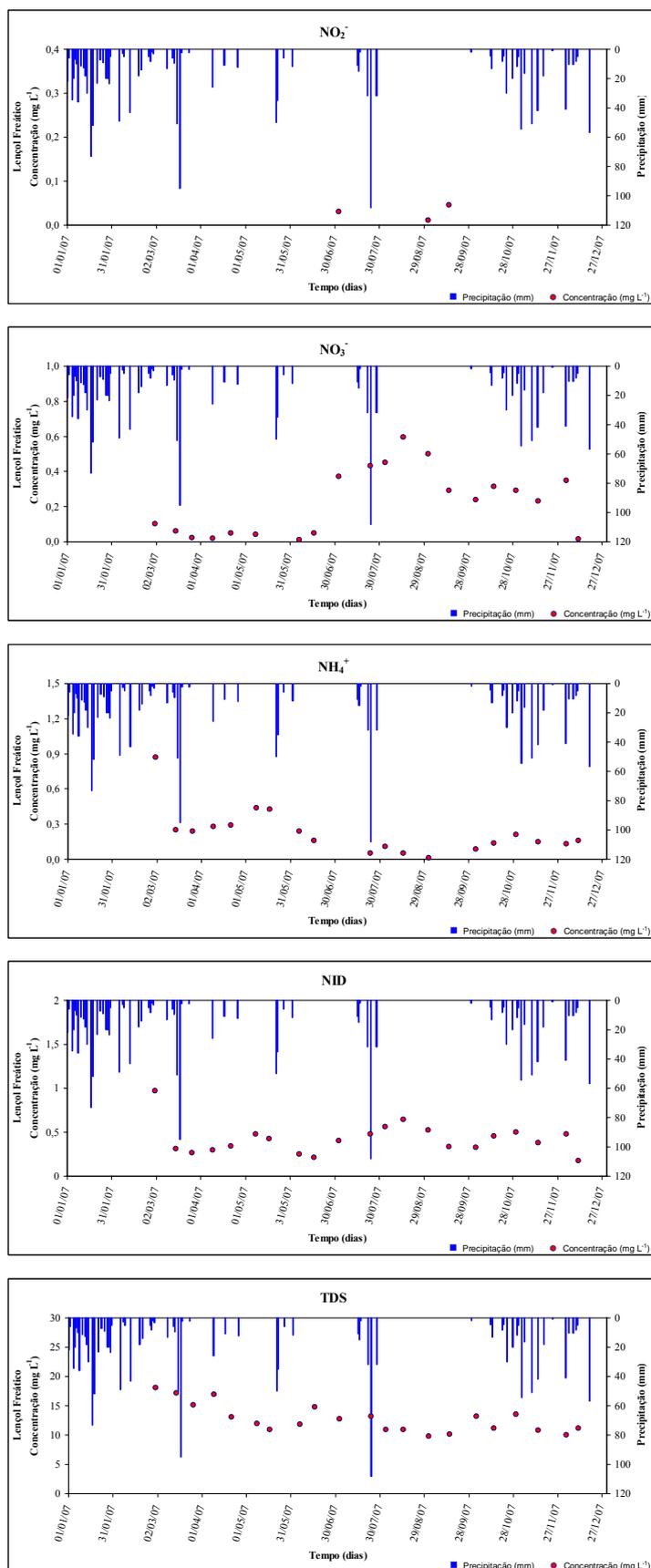


Figura 43. Variação temporal das concentrações (mg L<sup>-1</sup>) de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID) e Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) para o ponto Lençol Freático e da precipitação (mm), para o período de 01/03/07 a 11/12/07.

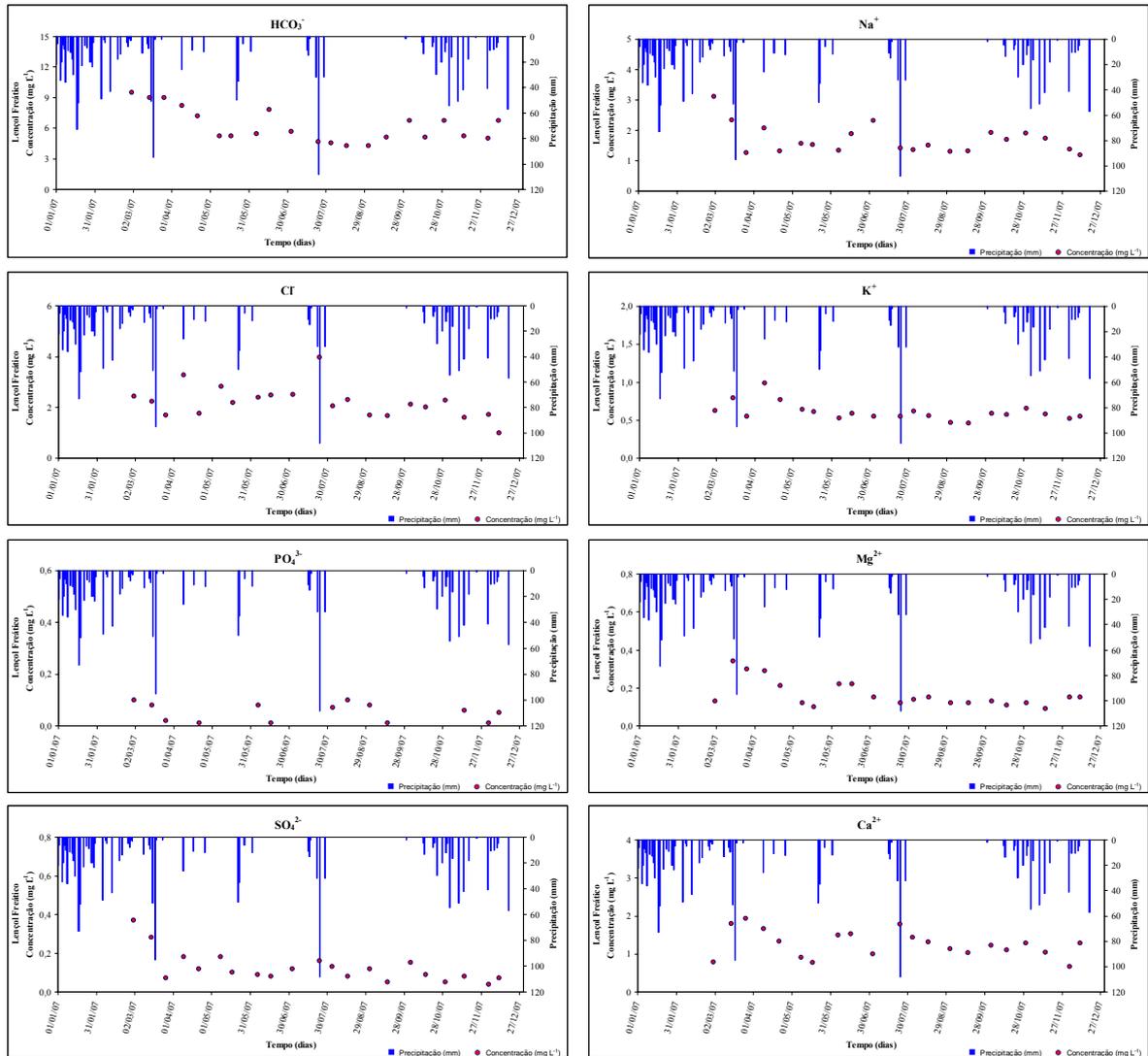


Figura 44. Variação temporal das concentrações ( $\text{mg L}^{-1}$ ) dos demais ânions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) e cátions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ ) para o ponto Lençol Freático e da precipitação (mm), para o período de 01/03/07 a 11/12/07.

### 5.2.5 Transporte pluvial de solutos

O cálculo do transporte pluvial de solutos foi feito de acordo com o descrito no item 4.5.5. considerando o ano de 2006, de 01 de janeiro a 31 de dezembro; o ano de 2007, de 01 de janeiro a 09 de dezembro; e o período de amostragem do ponto Extrator de Solução do Solo, de 03/01/06 a 28/04/06.

O transporte pluvial de solutos, apresentado na tabela 17, dimensionado para a área do talhão experimental (5,08 ha) e calculado em kg por unidade de tempo (período considerado), apresentou uma variação nas quantidades observadas para 2006 e 2007, que pode ter ocorrido devido à diferença nos volumes precipitados em cada um dos anos.

Tabela 17. Transporte pluvial de solutos para os anos de 2006 e 2007 e o período de janeiro a abril de 2006, correspondente ao período de amostragem de solução do solo.

<b>Transporte Pluvial de Solutos</b>			
	2006	2007	Período de amostragem Solução do Solo
	(kg a <sup>-1</sup> )	(kg a <sup>-1</sup> )	(kg período <sup>-1</sup> )
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	147,08	112,16	80,90
<b>Cl<sup>-</sup></b>	18,39	20,65	7,89
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	5,70	2,59	4,11
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	35,68	34,66	6,60
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	9,19	4,63	5,33
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	25,66	28,48	7,06
<b>Na<sup>+</sup></b>	14,30	14,03	7,36
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	26,43	12,33	3,72
<b>K<sup>+</sup></b>	13,84	16,58	5,00
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	7,54	7,76	3,88
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	29,96	49,66	11,68
<b>NID</b>	67,81	49,58	14,44
<b>TDS</b>	333,76	303,53	143,53

Período de amostragem Solução do Solo (01/01/06 a 28/04/06)

O transporte pluvial de solutos mostrou tanto para o TDS quanto para o NID uma diminuição entre os anos estudados de 333,76 e 67,81 kg a<sup>-1</sup>, respectivamente em 2006, para 303,53 e 49,58 kg a<sup>-1</sup>, em 2007. Para as demais espécies químicas estudadas o mesmo comportamento foi verificado, o que mostrou uma forte associação com o regime de recarga do sistema. Observou-se que o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi o íon de maior contribuição, com 35,68 kg a<sup>-1</sup> em 2006 e 34,66 kg a<sup>-1</sup> em 2007; sendo essa diferença considerada desprezível. Já o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> apresentou uma variação expressiva, de 26,43 kg a<sup>-1</sup> em 2006 para 12,33 kg a<sup>-1</sup> em 2007,

o que pode ter sido conseqüência do aumento de áreas de reforma na região. O  $\text{NO}_2^-$  apresentou as menores taxas,  $5,70 \text{ kg a}^{-1}$  em 2006 e  $2,59 \text{ kg a}^{-1}$  em 2007, resultado já esperado tendo em vista sua baixa concentração nas amostras analisadas e sua instabilidade no ambiente, onde está susceptível aos processos de nitrificação e amonificação.

Em termos de transporte pluvial específico de solutos (Tabela 18), os valores anuais de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  obtidos para 2006 e 2007 foram comparados aos observados por Lara et al. (2001) em Piracicaba e Santa Maria, na bacia do rio Piracicaba, SP, e por Moreira-Nordemann, Girardi e Ré Poppi (1997) para a cidade de Campo Grande, MS, região de cerrado sob influência de queima de biomassa. Esses resultados foram convertidos para a mesma unidade de fluxo e encontram-se apresentados na tabela 19.

Tabela 18. Transporte pluvial específico de solutos para os anos de 2006 e 2007 e o período de janeiro a abril de 2006, correspondente ao período de amostragem de solução do solo.

<b>Transporte Pluvial Específico de Solutos</b>			
	2006	2007	Período de amostragem Solução do Solo
	( $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ )	( $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ )	( $\text{kg ha}^{-1} \text{ período}^{-1}$ )
$\text{HCO}_3^-$	28,95	22,08	15,92
$\text{Cl}^-$	3,62	4,07	1,55
$\text{NO}_2^-$	1,12	0,51	0,81
$\text{NO}_3^-$	7,02	6,82	1,30
$\text{PO}_4^{3-}$	1,81	0,91	1,05
$\text{SO}_4^{2-}$	5,05	5,61	1,39
$\text{Na}^+$	2,82	2,76	1,45
$\text{NH}_4^+$	5,20	2,43	0,73
$\text{K}^+$	2,72	3,26	0,98
$\text{Mg}^{2+}$	1,48	1,53	0,76
$\text{Ca}^{2+}$	5,90	9,78	2,30
<b>NID</b>	13,35	9,76	2,84
<b>TDS</b>	65,70	59,75	28,25

Perodo de amostragem Solução do Solo (01/01/06 a 28/04/06)

Tabela 19. Transporte pluvial específico de solutos para as cidades de Piracicaba, Santa Maria e Campo Grande.

<b>Transporte Pluvial Específico de Solutos</b>			
	<b>(kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)</b>		
	<b>Piracicaba <sup>(1)</sup></b>	<b>Santa Maria <sup>(1)</sup></b>	<b>Campo Grande <sup>(2)</sup></b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	11,10	9,18	7,90
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	1,39	2,88	5,40

(1) Lara et al. (2001)

(2) Moreira-Nordemann, Girardi e Poppi (1997)

Em relação às cidades de Piracicaba e Santa Maria (LARA et al., 2001), os valores observados neste trabalho, para Santa Cruz das Palmeiras, foram inferiores para o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e superiores para o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Apesar de as três regiões encontrarem-se no Estado de São Paulo e sob influência da cultura da cana-de-açúcar, as diferenças observadas podem estar associadas ao manejo das culturas em cada região e ao período em que foram desenvolvidos os trabalhos, que podem apresentar diferenças nos procedimentos de colheita, por exemplo. Lara et al. (2001) realizaram seu trabalho no período de agosto 1997 a julho de 1998, época em que a colheita mecanizada da cana crua ainda era insipiente na região de Piracicaba e Santa Maria e a prática usual era a queima de pré-colheita. Nos últimos anos, as preocupações ambientais aliadas aos avanços tecnológicos da atividade canavieira vêm proporcionando a substituição da queima de pré-colheita pela colheita mecanizada da cana crua, representando 35% da colheita da safra paulista de 2006-2007; para a safra 2007-2008 as projeções chegam a 50% (UNICA, 2007). Em Santa Cruz das Palmeiras, a colheita mecanizada sem queima já é uma realidade e vem sendo ampliada.

Os resultados apresentados por Moreira-Nordemann, Girardi e Ré Poppi (1997) para a região de Campo Grande, MS, foram superiores para os dois íons, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Apesar da

distinção entre as características atmosféricas das duas regiões e do tipo de vegetação queimada, cerrado natural e cana-de-açúcar, pode-se afirmar a diferença observada para o transporte pluvial específico de  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  nessas duas regiões não foi tão acentuada.

### 5.2.6 Transporte fluvial de solutos

O transporte fluvial de solutos foi calculado de acordo com o item 4.5.6. e, devido à ausência de dados fluviométricos para o Ribeirão dos Cocais e à impossibilidade de medidas periódicas de vazão, representou apenas uma estimativa da carga dissolvida transportada pelo Ribeirão dos Cocais em 2007, para os períodos de estiagem, de cheia e anual. O período de estiagem compreendeu os meses de abril a setembro e o período de cheia os meses de janeiro a março e outubro a dezembro.

Foram realizadas quatro excursões a campo, duas no período de estiagem e duas no período de cheia, para a obtenção da velocidade média do fluxo de água e da altura da lâmina de água no ponto de leitura, necessárias para o cálculo das vazões diárias (Tabela 20). Devido aos baixos valores de vazão obtidos, a mesma foi convertida para litros por segundo ( $\text{L s}^{-1}$ ).

Tabela 20. Dados de velocidade média da água, altura da lamina de água e da vazão diária calculada para o Ribeirão dos Cocais.

Período / dia	Velocidade média da água ( $\text{m s}^{-1}$ )	Altura da lâmina de água (m)	Vazão Diária	
			( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	( $\text{L s}^{-1}$ )
Estiagem	27/08/07	1,12	0,02275	22,75
	28/09/07	0,94	0,01404	14,04
Cheia	06/11/07	1,32	0,03171	31,71
	11/12/07	1,56	0,04062	40,62

A partir dos valores de vazão diária, estimou-se a vazão média para o período de estiagem em  $18,39 \text{ L s}^{-1}$ , em  $36,16 \text{ L s}^{-1}$  para o período de cheia e  $27,28 \text{ L s}^{-1}$  para a vazão média anual. Apesar de o Ribeirão dos Cocais ter apresentado um baixo volume de água, a vazão média para o período de cheia representou o dobro da vazão média para o período de estiagem. Com base nesses valores médios de vazão calculou-se o transporte fluvial de solutos, apresentado na tabela 21.

Tabela 21. Transporte fluvial de solutos para os períodos de estiagem, cheia e anual para 2007 e estimativa para o período de amostragem de Solução do Solo.

<b>Transporte Fluvial de Solutos</b>				
	Estiagem	2007 Cheia	Ano	Estimativa para o período de amostragem da Solução do Solo
	(kg período <sup>-1</sup> )	(kg período <sup>-1</sup> )	(kg ano <sup>-1</sup> )	(kg período <sup>-1</sup> )
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	437,25	883,89	1318,34	268,52
<b>Cl<sup>-</sup></b>	66,52	251,92	304,43	115,70
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	1,93	2,55	4,63	19,05
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	20,79	46,16	66,33	20,78
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	35,05	43,94	81,88	100,93
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	28,04	94,59	118,07	63,68
<b>Na<sup>+</sup></b>	119,16	322,02	431,04	262,74
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	3,05	7,82	10,65	6,89
<b>K<sup>+</sup></b>	55,11	244,20	283,60	82,03
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	31,91	98,62	126,38	73,58
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	120,13	368,31	473,17	183,75
<b>NID</b>	25,77	56,52	81,61	46,72
<b>TDS</b>	918,93	2364,02	3218,51	1197,64

Estiagem = meses de abril a setembro.

Cheia = meses de janeiro a março e de outubro a dezembro.

Período de amostragem solução do solo = janeiro a abril de 2006

Durante o período de cheia, o transporte fluvial médio do TDS foi duas vezes e meia maior que o observado para o período de estiagem, com taxas de 2364,02 e 918,93 kg em cada um dos períodos. O NID apresentou comportamento semelhante, sendo o transporte fluvial médio durante o período de cheia duas vezes maior que no período de estiagem, com taxas de 56,52 e 25,77 kg em cada um dos períodos. O maior transporte fluvial observado

durante o período de cheia, tanto para o TDS quanto para o NID, foram influenciados principalmente pelo aumento do volume e da frequência dos eventos de chuva e pela carga dissolvida carregada pelo escoamento superficial, proveniente da solubilização dos fertilizantes e da matéria orgânica mineralizada presentes nas camadas superficiais do solo, uma vez que não ocorreram variações significativas nas concentrações observadas para o lençol freático ao longo do segundo semestre de 2007 (Fig. 43 e 44). Entre os íons nitrogenados destacou-se o  $\text{NO}_3^-$ , para o qual o transporte médio de solutos foi de 46,16 kg no período de cheia, também duas vezes maior do que na estiagem, e representou 82% do NID transportado.

O transporte fluvial específico de solutos foi calculado considerando que a microbacia do Ribeirão dos Cocais drena uma área de 3,5 km<sup>2</sup>, situada a montante do ponto de amostragem, conforme descrito no item 3.2.2. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na tabela 22 e serão discutidos no item 5.2.8., enfocando os íons nitrogenados.

Tabela 22. Transporte fluvial específico de solutos para os períodos de estiagem, cheia e anual para 2007 e estimativa para o período de amostragem de Solução do Solo.

	<b>Transporte Fluvial Específico de Solutos</b>			
	Estiagem (kg ha <sup>-1</sup> período <sup>-1</sup> )	2007 Cheia (kg ha <sup>-1</sup> período <sup>-1</sup> )	Ano (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )	Estimativa para o período de amostragem da Solução do Solo (kg ha <sup>-1</sup> período <sup>-1</sup> )
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	1,25	2,53	3,77	0,77
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0,19	0,72	0,87	0,33
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	0,01	0,01	0,01	0,05
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,06	0,13	0,19	0,06
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	0,10	0,13	0,23	0,29
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	0,08	0,27	0,34	0,18
<b>Na<sup>+</sup></b>	0,34	0,92	1,23	0,75
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0,01	0,02	0,03	0,02
<b>K<sup>+</sup></b>	0,16	0,70	0,81	0,23
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0,09	0,28	0,36	0,21
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0,34	1,05	1,35	0,52
<b>NID</b>	0,07	0,16	0,23	0,13
<b>TDS</b>	2,63	6,75	9,20	3,42

Estiagem = meses de abril a setembro.

Cheia = meses de janeiro a março e de outubro a dezembro.

Período de amostragem solução do solo = janeiro a abril de 2006

### 5.2.7. Potencial de perdas por lixiviação

A solução do solo à 0,90 m de profundidade foi considerada como susceptível à lixiviação e com potencial de atingir o lençol freático, pois nesta camada do solo os íons dissolvidos encontram-se praticamente perdidos para o aproveitamento da cultura (OLIVEIRA et al. 2001). Ao avaliar o sistema radicular da cana-de-açúcar na área experimental objeto deste trabalho, Otto (2008) observou que as plantas apresentaram um maior crescimento radicular na camada superficial de 0 a 0,2 m, onde cerca de 70% das raízes se concentraram.

O potencial de perdas por lixiviação foi calculado conforme o descrito no item 4.5.7., a partir dos valores de densidade de fluxo de água no solo e a concentração média das espécies químicas por extrator e em cada período, apresentados nas tabelas 23 e 24, respectivamente.

Tabela 23. Dados de densidade de fluxo de água no solo para cinco períodos, entre 22/12/05 a 15/05/06.

<b>Densidade de Fluxo de água no solo<sup>(1)</sup></b>			
<b>(mm)</b>			
<b>Período</b>	<b>Data inicial</b>	<b>Data final</b>	<b>Fluxo<sup>(2)</sup></b>
1	22/12/05	10/01/06	- 32,29
2	10/01/06	27/01/06	-0,49
3	27/01/06	21/02/06	-59,06
4	21/02/06	12/04/06	-17,84
5	12/04/06	15/05/06	-0,69

(1) Dados originais ainda não publicados fornecidos pelo Prof. Dr. Paulo Leonel Libardi e Msc. Alexsandro dos Santos Brito (informação pessoal)

(2) Fluxo positivo indica ascensão capilar da água e fluxo negativo indica percolação da água para horizontes mais profundos do solo.

Observou-se que a densidade de fluxo de água no solo foi negativa em todos os períodos, isto é, o fluxo de água foi descendente, indicando que a lixiviação dos íons presentes na solução do solo para o lençol freático pode ter ocorrido. A maior densidade de fluxo de água se deu no período 3, de 27/01/06 a 21/02/06, com -59,06 mm. Em todos os períodos ocorreram fluxos descendentes de água, indicando que pode ter ocorrido a lixiviação dos íons presentes na solução do solo para o lençol freático.

Tabela 24. Concentração média para cada extrator ( $\text{mg L}^{-1}$ ), para os cinco períodos de densidade de fluxo de água no solo, entre 22/12/05 a 15/05/06.

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 1													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
							<i>(mg L<sup>-1</sup>)</i>						
1	31,59	0,35	0,06	0,04	0,06	27,66	5,81	1,38	10,42	10,10	21,84	1,48	109,31
2	21,63	1,27	0,17	0,24	2,13	29,62	2,34	1,44	15,53	3,31	16,49	1,85	94,17
3	19,68	3,10	0,15	1,39	2,20	28,59	2,21	0,60	9,80	2,15	15,18	2,14	85,04
4	10,42	2,49	0,25	0,63	1,35	27,94	2,91	1,22	10,50	4,74	12,77	2,11	75,22
5	16,60	0,85	0,89	0,43	2,48	26,85	8,92	4,03	11,93	6,79	14,41	5,35	94,17

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 2													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
							<i>(mg L<sup>-1</sup>)</i>						
1	35,06	1,78	0,76	1,35	0,16	21,59	4,17	0,39	19,40	4,22	20,54	2,51	109,44
2	0,00	5,12	0,00	1,45	2,61	27,35	2,73	0,39	19,30	6,30	26,22	1,84	91,46
3	21,71	2,62	0,14	1,59	1,33	21,25	3,37	0,57	17,35	1,79	11,61	2,31	83,33
4	8,86	3,52	0,66	1,02	2,82	20,03	3,07	0,85	14,53	2,64	9,22	2,53	67,22
5	6,80	1,15	1,66	0,51	1,34	18,82	9,63	1,11	17,76	3,86	8,94	3,28	71,57

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 3													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
							<i>(mg L<sup>-1</sup>)</i>						
1	32,76	1,30	0,04	0,22	0,06	64,12	5,79	0,46	25,23	10,36	33,18	0,71	173,52
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	19,95	2,53	0,67	1,50	2,29	62,07	3,14	0,75	19,61	3,85	22,99	2,93	135,37
4	12,25	3,19	0,71	1,42	4,99	52,29	3,48	0,45	20,56	4,99	19,33	2,58	122,55
5	7,14	1,75	0,92	1,29	2,37	41,77	5,04	1,92	22,08	6,79	17,81	4,13	108,88

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 4													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
							<i>(mg L<sup>-1</sup>)</i>						
1	31,16	3,20	0,26	4,25	0,66	28,80	4,24	1,18	16,91	5,91	23,09	5,68	119,65
2	18,49	2,96	0,00	1,59	1,29	28,18	4,61	1,43	14,85	2,83	17,53	3,02	87,59
3	10,48	3,67	0,21	1,72	2,03	27,36	2,11	1,69	14,28	2,39	10,98	3,61	75,16
4	5,71	4,63	0,33	1,29	4,56	24,60	3,07	1,09	14,61	3,09	10,24	2,71	73,23
5	5,12	7,36	1,19	1,75	2,27	23,37	5,34	3,28	24,40	5,16	11,47	6,23	90,72

O cálculo dos fluxos para cada período encontra-se apresentados na tabela 25, sendo que o somatório dos fluxos obtidos para os cinco períodos representou o fluxo total no período de amostragem, para cada íon em seu respectivo extrator, em  $\text{mg m}^{-2}$ .

Tabela 25. Potencial de perdas por lixiviação calculados por extrator, para os cinco períodos de densidade de fluxo de água no solo, entre 22/12/05 a 15/05/06.

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 1													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> (mg m <sup>-2</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
1	-1020,07	-11,30	-1,94	-1,40	-1,83	-893,03	-187,71	-44,56	-336,57	-326,02	-705,32	-47,90	-3529,76
2	-10,60	-0,62	-0,08	-0,12	-1,05	-14,51	-1,15	-0,71	-7,61	-1,62	-8,08	-0,91	-46,14
3	-1162,01	-182,87	-8,86	-81,98	-129,70	-1688,29	-130,64	-35,32	-578,91	-126,98	-896,77	-126,15	-5022,30
4	-185,81	-44,50	-4,50	-11,31	-24,09	-498,45	-51,85	-21,77	-187,29	-84,55	-227,73	-37,58	-1341,85
5	-11,45	-0,58	-0,62	-0,29	-1,71	-18,53	-6,16	-2,78	-8,23	-4,69	-9,94	-3,69	-64,98
<b>Total</b>	<b>-2389,94</b>	<b>-239,88</b>	<b>-16,00</b>	<b>-95,10</b>	<b>-158,37</b>	<b>-3112,81</b>	<b>-377,51</b>	<b>-105,13</b>	<b>-1118,60</b>	<b>-543,85</b>	<b>-1847,84</b>	<b>-216,23</b>	<b>-10005,03</b>

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 2													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> (mg m <sup>-2</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
1	-1132,17	-57,58	-24,65	-43,70	-5,27	-697,03	-134,76	-12,59	-626,43	-136,26	-663,24	-80,94	-3533,69
2	0,00	-2,51	0,00	-0,71	-1,28	-13,40	-1,34	-0,19	-9,46	-3,09	-12,85	-0,90	-44,82
3	-1282,13	-154,74	-8,50	-94,14	-78,43	-1255,24	-199,15	-33,78	-1024,45	-105,48	-685,69	-136,43	-4921,74
4	-158,07	-62,71	-11,71	-18,28	-50,36	-357,28	-54,83	-15,10	-259,27	-47,14	-164,53	-45,08	-1199,27
5	-4,69	-0,79	-1,15	-0,35	-0,93	-12,99	-6,64	-0,76	-12,25	-2,66	-6,17	-2,26	-49,39
<b>Total</b>	<b>-2577,07</b>	<b>-278,33</b>	<b>-46,01</b>	<b>-157,18</b>	<b>-136,27</b>	<b>-2335,94</b>	<b>-396,71</b>	<b>-62,43</b>	<b>-1931,86</b>	<b>-294,63</b>	<b>-1532,47</b>	<b>-265,62</b>	<b>-9748,90</b>

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 3													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> (mg m <sup>-2</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
1	-1057,94	-42,08	-1,18	-7,00	-1,94	-2070,33	-186,85	-14,85	-814,78	-334,42	-1071,49	-23,03	-5602,86
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	-1178,10	-149,67	-39,63	-88,81	-135,22	-3665,74	-185,33	-44,53	-1158,40	-227,50	-1357,79	-172,97	-7995,11
4	-218,54	-56,97	-12,75	-25,39	-89,04	-932,85	-62,07	-7,98	-366,71	-89,04	-344,87	-46,11	-2186,34
5	-4,93	-1,21	-0,63	-0,89	-1,63	-28,82	-3,48	-1,32	-15,24	-4,68	-12,29	-2,85	-75,13
<b>Total</b>	<b>-2459,51</b>	<b>-249,93</b>	<b>-54,19</b>	<b>-122,09</b>	<b>-227,84</b>	<b>-6697,73</b>	<b>-437,74</b>	<b>-68,69</b>	<b>-2355,13</b>	<b>-655,64</b>	<b>-2786,44</b>	<b>-244,97</b>	<b>-15859,44</b>

SOLUÇÃO DO SOLO - Extrator 4													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> (mg m <sup>-2</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
1	-1006,23	-103,41	-8,48	-137,07	-21,31	-929,79	-136,83	-37,94	-546,10	-190,91	-745,58	-183,49	-3863,65
2	-9,06	-1,45	0,00	-0,78	-0,63	-13,81	-2,26	-0,70	-7,28	-1,39	-8,59	-1,48	-42,92
3	-619,06	-216,45	-12,50	-101,39	-119,89	-1616,08	-124,42	-99,52	-843,18	-141,27	-648,48	-213,40	-4439,06
4	-101,84	-82,65	-5,84	-23,03	-81,40	-438,81	-54,82	-19,46	-260,71	-55,07	-182,75	-48,33	-1306,37
5	-3,53	-5,08	-0,82	-1,21	-1,57	-16,13	-3,68	-2,27	-16,84	-3,56	-7,91	-4,30	-62,60
<b>Total</b>	<b>-1739,72</b>	<b>-409,04</b>	<b>-27,64</b>	<b>-263,48</b>	<b>-224,80</b>	<b>-3014,61</b>	<b>-322,01</b>	<b>-159,88</b>	<b>-1674,10</b>	<b>-392,20</b>	<b>-1593,31</b>	<b>-451,00</b>	<b>-9714,60</b>

Considerando que as quatro parcelas receberam o mesmo preparo de solo e de adubação, (item 3.2.3.), calculou-se o valor médio do potencial de perdas por lixiviação para cada íon, NID e TDS (Tabela 26).

Tabela 26. Potencial de perdas por lixiviação, valor médio para os quatro extratores, para os cinco períodos de densidade de fluxo de água no solo, entre 22/12/05 a 15/05/06.

SOLUÇÃO DO SOLO - Média para os 4 Extratores													
Período	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> (mg m <sup>-2</sup> )	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NID	TDS
E 1	-2389,94	-239,88	-16,00	-95,10	-158,37	-3112,81	-377,51	-105,13	-1118,60	-543,85	-1847,84	-216,23	-10005,03
E 2	-2577,07	-278,33	-46,01	-157,18	-136,27	-2335,94	-396,71	-62,43	-1931,86	-294,63	-1532,47	-265,62	-9748,90
E 3	-2459,51	-249,93	-54,19	-122,09	-227,84	-6697,73	-437,74	-68,69	-2355,13	-655,64	-2786,44	-244,97	-15859,44
E 4	-1739,72	-409,04	-27,64	-263,48	-224,80	-3014,61	-322,01	-159,88	-1674,10	-392,20	-1593,31	-451,00	-9714,60
<b>Total</b>	<b>-2291,56</b>	<b>-294,29</b>	<b>-35,96</b>	<b>-159,46</b>	<b>-186,82</b>	<b>-3790,27</b>	<b>-383,49</b>	<b>-99,03</b>	<b>-1769,92</b>	<b>-471,58</b>	<b>-1940,02</b>	<b>-294,45</b>	<b>-11331,99</b>

Verificou-se um fluxo total de TDS correspondente a  $-11331,99 \text{ mg m}^{-2}$ , sendo que o sinal negativo do fluxo indicou a ocorrência do processo de lixiviação à profundidade de 0,9 m; e de  $-294,45 \text{ mg m}^{-2}$  para total de íons nitrogenados dissolvidos, NID, sendo que o  $\text{NO}_3^-$  representou 54% desse montante, com  $-159,46 \text{ mg m}^{-2}$ .

É importante destacar que o extrator 4 apresentou maior potencial de perdas por lixiviação dos íons nitrogenados, com um fluxo de NID de  $-451,00 \text{ mg m}^{-2}$ , sendo que 93,9% desse total foram representados pelos íons  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ , que apresentaram um fluxo de  $-263,48 \text{ mg m}^{-2}$  e  $-159,88 \text{ mg m}^{-2}$ , respectivamente. Pode-se dizer que do total de nitrogênio com potencial de lixiviação, parte foram provenientes dos aportes atmosféricos, parte da matéria orgânica, parte do fertilizante e parte das reservas de N no solo, resultantes de adubações em ciclos anteriores da cana-de-açúcar. A contribuição de cada um poderia ser estimada conhecendo-se a relação isotópica do N na água de drenagem (LIBARDI; REICHARDT, 1978), o que não foi objetivo do presente trabalho.

Para o período de 4 meses de experimento verificou-se um potencial de perdas de N por lixiviação de  $294,45 \text{ mg m}^{-2}$ , que corresponde a  $2,94 \text{ kg ha}^{-1}$ . Oliveira et al (2002) observaram perdas na ordem de  $4,5 \text{ kg de N por hectare}$ , para um período de 11 meses em área experimental com solo arenoso cultivado com cana-de-açúcar.

#### **5.2.8. Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados**

Um modelo de balanço de fluxo de massa, relacionando-se as entradas e saídas das espécies nitrogenadas e do total de sólidos dissolvidos no sistema em estudo, foi proposto com base nas estimativas relativas ao período de amostragem da solução do solo (janeiro a abril de 2006). Para isso, foram calculados os transportes pluvial e fluvial específicos de solutos e os valores de potencial de perdas por lixiviação, média dos quatro extratores para esse período, podendo os resultados serem observados na tabela 27.

Tabela 27. Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados, NID e TDS, para o período de 22/12/05 a 15/05/06.

<b>Balanço do fluxo de massa dos íons nitrogenados, NID e TDS.</b>			
	Transporte pluvial específico de solutos	Potencial de perdas por lixiviação ( <i>kg ha<sup>-1</sup> período<sup>-1</sup></i> )	Transporte fluvial específico de solutos
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,81	0,36	0,05
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,30	1,59	0,06
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,73	0,99	0,02
NID	2,84	2,94	0,13
TDS	28,25	113,32	3,42

Observou-se que o transporte pluvial específico de solutos, entendido como aporte atmosférico no período estudado, apresentaram taxas na ordem de 28,25 kg ha<sup>-1</sup> para o TDS, sendo que o NID representou aproximadamente 10% desse total, com 2,84 kg ha<sup>-1</sup> no mesmo período. O NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi o íon de maior participação nos aportes de NID, com 1,30 kg ha<sup>-1</sup>, representando 45% do NID no referido período.

Observou-se que o potencial de perdas por lixiviação apresentou as maiores taxas no balanço do fluxo de massa, com um TDS de 113,32 kg ha<sup>-1</sup> no período de estudo, sendo que o NID representou menos do que 3% desse total, com 2,94 kg ha<sup>-1</sup> no período. Da mesma forma que no transporte pluvial específico, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foi o íon de maior que apresentou a maior taxa, com 1,59 kg ha<sup>-1</sup> no período.

Já para as saídas do sistema, representadas pelo transporte fluvial específico de solutos, foram observadas as menores taxas para o período estudado, com um TDS de 3,42 kg ha<sup>-1</sup> no período e uma participação baixa dos íons nitrogenados, onde o NID representou menos que 5 % do TDS.

### 5.2.9. Razão Íon/Cl<sup>-</sup>

A razão íon/Cl<sup>-</sup>, calculada de acordo com o descrito no item 4.2.9., foi utilizada como traçador na caracterização e origem das águas analisadas, podendo ser observados na tabela 28.

Tabela 28. Razão entre os íons SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup> e o Cl<sup>-</sup>, por ponto de amostragem e os observados para os sais cíclicos, com base na concentração média (mmol).

	Razão Íon / Cl <sup>-</sup>					
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Pluviômetro	0,519	1,108	1,846	0,793	0,547	1,634
Média 4 extratores	4,079	1,938	0,757	4,978	2,130	4,742
Ribeirão dos Cocais	0,209	2,375	0,094	0,815	0,658	1,321
Lençol Freático	0,021	1,185	0,203	0,251	0,110	0,509
Sais cíclicos (chuva marinha)*	0,127	0,841		0,017	0,106	0,018

\* Fonte: Stallard e Edmond (1981)

Pôde ser verificado que as razões íon/Cl<sup>-</sup> determinadas para as águas de chuva do presente estudo não apresentaram características de sais cíclicos e aerossóis marinhos (STALLARD; EDMOND, 1981), mostrando ser influenciadas pelos aportes terrestres locais, oriundos das emissões gasosas e do manejo do solo e da cana-de-açúcar, fato já verificado por Bortoletto Junior (2004) para as bacias agrícolas dos rios Tietê e Piracicaba. No entanto, no presente estudo, o sinal íon/Cl<sup>-</sup> estabelecido para as águas de chuva serviram como traçadores originais, podendo ser seguidos nas demais águas analisadas.

As razões íon/Cl<sup>-</sup>, calculadas para os íons SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, evidenciaram que as águas do Ribeirão dos Cocais e do lençol freático se mostraram controladas pelo aporte atmosférico total (chuva), embora o sinal para as águas subterrâneas tenha sido um pouco mais amortecido. As elevadas razões íon/Cl<sup>-</sup> observadas para a solução do solo se mostraram associadas principalmente aos minerais residuais presentes no solo, provenientes dos consecutivos processos de adubação, corroborando o efeito de diluição dos

fertilizantes e corretores do solo aplicados na área experimental de cana-de-açúcar descrito no item 5.2.

Não foram observadas evidências de lixiviação para o lençol freático, indicando que durante o período de estudo pode ter ocorrido a retenção da carga dissolvida presente na solução do solo, que ficou estocada residualmente na faixa de solo da zona não saturada. Processos químicos e físicos podem ter favorecido essa retenção, como por exemplo, a interação dos íons dissolvidos com a matéria orgânica presente em horizontes mais profundos da zona não saturada; a existência de cargas elétricas positivas em profundidade no solo (Dyňa, 2000); horizontes com maior teor de argila abaixo de 0,9 m, dificultando a passagem da água e possibilitando a formação de filmes salinos, entre outros.

## 6. CONCLUSÕES

O presente trabalho colaborou com o aprofundamento do conhecimento sobre o comportamento do N inorgânico dissolvido em águas superficiais e sub-superficiais em área cultivada com cana-de-açúcar. Esse comportamento foi avaliado em quatro segmentos distintos do ciclo da água no ambiente de estudo. A composição química observada para todos os pontos de amostragem refletiu, de forma geral, a influência da cultura da cana-de-açúcar e seu manejo, presente na região desde os anos 1970. Durante o período estudado, as águas de chuva e do Ribeirão dos Cocais apresentaram as menores concentrações iônicas, com TDS médio de 5,28 e 3,71 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente; e a solução do solo as maiores concentrações, com o TDS médio variando entre 78,67 a 130,56 mg L<sup>-1</sup>, devido à solubilização dos fertilizantes e corretores de solo e dos restos culturais incorporados ao solo. É importante destacar que a solução do solo à 0,90 m de profundidade foi considerada como susceptível à lixiviação e com potencial de atingir o lençol freático, pois nesta camada do solo os íons dissolvidos encontraram-se praticamente perdidos para o aproveitamento da cultura. As águas do lençol freático apresentaram valores intermediários de concentrações em relação aos demais pontos de amostragem, com TDS médio de 12,72 mg L<sup>-1</sup>.

Entre os íons majoritários analisados observou-se o predomínio do HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, que representou aproximadamente 60% dos ânions nos pontos Pluviômetro (58,97%), Ribeirão dos Cocais (60,36%) e Lençol Freático (60,34%). Para o ponto extratores de solução do solo, verificou-se uma alternância entre SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, de acordo com o extrator analisado; entretanto, quando somados, representaram aproximadamente 80% dos ânions majoritários presentes na solução do solo. Em relação aos cátions, o NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foi predominante nas águas de chuva (30,83%) e o Na<sup>+</sup> no Ribeirão dos Cocais (45,13%) e no Lençol Freático (52,98%).

Para a Solução do Solo observou-se novamente a alternância entre dois íons,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , que, somadas suas participações, representaram em torno de 70% dos cátions majoritários.

A análise do comportamento temporal das concentrações das espécies químicas presentes nas águas de chuva permitiu verificar o efeito de lavagem da atmosfera, com uma maior concentração iônica nos primeiros eventos de chuva, após os períodos de estiagem, que foi mais evidente para os íons  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ . Observou-se uma pequena variabilidade temporal nas concentrações dos íons majoritários presentes nas águas do Ribeirão dos Cocais, associada principalmente às recargas via precipitação. Já para a concentração iônica da solução do solo não foi possível estabelecer uma relação com a precipitação; entretanto acredita-se que essa relação exista, tendo em vista que os quatro extratores apresentaram valores de concentração iônica um pouco superiores no início de janeiro e que foram decrescendo ao longo do período estudado, indicando que pode ter ocorrido um pico de concentração de íons dissolvidos antes do início do período de amostragem, conforme observado em outra área de estudo do projeto temático, Usina Santa Adélia, e no relatado pela literatura. Para o Lençol Freático, as variações das concentrações das espécies químicas, observadas de uma forma geral, mostraram que não houve influência significativa da precipitação durante o período estudado.

Em relação aos íons nitrogenados, observou-se uma participação de 17,87% no total de sólidos dissolvidos para as águas de chuva, com a ocorrência de picos de concentração dos íons  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$  no início dos períodos chuvosos, como por exemplo, as concentrações de  $4,47 \text{ mg L}^{-1}$  e  $3,19 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, observadas em 20 de setembro de 2006. Para os demais pontos de amostragem, a participação do NID no TDS foi inferior a 5%, sem variações significativas ao longo do período estudado, indicando que não houve influência significativa da recarga do sistema. As águas do Ribeirão dos Cocais e o Lençol Freático apresentaram concentrações muito baixas para as espécies nitrogenadas, com valores

inferiores a  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , e o NID da solução do solo, média para os quatro extratores, apresentou um certo equilíbrio durante o período de estudo, possivelmente associado ao efeito do adubo que permaneceu no solo. Cabe destacar que, entre os íons nitrogenados, o  $\text{NO}_3^-$  foi a espécie de maior participação no TDS, em todos os pontos de amostragem.

O transporte pluvial de solutos, entendido como aporte atmosférico, apresentou uma redução de aproximadamente 10% de 2006 para 2007, em termos de TDS, com  $333,76$  e  $303,53 \text{ kg a}^{-1}$ , respectivamente. O íon nitrogenado de maior contribuição foi o  $\text{NO}_3^-$ , que não apresentou variação expressiva na taxa anual, com  $35,68 \text{ kg a}^{-1}$  em 2006 e  $34,66 \text{ kg a}^{-1}$  em 2007; já o  $\text{NH}_4^+$  apresentou uma redução de 46% de 2006 para 2007, com taxas de  $26,43$  e  $12,33 \text{ kg a}^{-1}$ , respectivamente, em consequência do aumento de áreas de reforma na região.

Em relação ao transporte fluvial médio estimado para 2007, observou-se que a carga dissolvida total (TDS) transportada no período de cheia foi duas vezes e meia superior ao observado para o período de estiagem, com taxas de  $2364,02$  e  $918,93 \text{ kg}$ , respectivamente, por período. Entre os íons nitrogenados destacou-se o  $\text{NO}_3^-$ , com uma taxa de  $46,16 \text{ kg}$  no período de cheia, que representou o dobro da carga dissolvida transportada estimada para o período de estiagem e correspondeu a 82% do NID transportado no período. Essas diferenças se deram principalmente pelo aumento do volume e da frequência dos eventos de chuva e pela carga dissolvida carregada pelo escoamento superficial no período de cheia.

Verificou-se também que durante o período de amostragem de solução do solo os fluxos de água no solo foram sempre descendentes, indicando um potencial de perdas por lixiviação na ordem de  $113,32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ período}^{-1}$  para o TDS e de  $2,94 \text{ kg ha}^{-1} \text{ período}^{-1}$  para o NID, sendo que o  $\text{NO}_3^-$  representou 54% desse montante, com  $1,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ período}^{-1}$ .

As razões  $\text{íon}/\text{Cl}^-$  observadas para as águas de chuva mostraram a influência dos aportes terrestres locais e evidenciaram o controle dos aportes atmosféricos totais (chuva) sobre as águas do Ribeirão dos Cocais e do lençol freático; já para a solução do solo,

corroboraram os efeitos de diluição dos fertilizantes e corretores do solo, sem, no entanto, apresentarem evidências de lixiviação para o lençol freático.

Apesar de as concentrações máximas de NID presentes nas águas analisadas neste estudo terem sido sempre inferiores ao limite recomendado pela OMS para o consumo humano, que é de 10 mg de  $\text{N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  e representa somente um dos íons nitrogenados, recomenda-se cautela na análise e interpretação dos resultados apresentados para se avaliar os riscos ambientais decorrentes da atividade canavieira, principalmente em relação às espécies nitrogenadas. Os avanços tecnológicos da atividade canavieira têm proporcionado uma redução nos riscos ambientais associados a essa atividade, mas a possibilidade de contaminação dos corpos de água por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas, não pode ser descartada. Os fertilizantes e defensivos, que são aplicados anualmente, alimentam os processos de circulação de nutrientes e outras substâncias no ambiente e, mesmo que a atividade agrícola cessasse, os aportes continuariam ocorrendo por algum tempo, devido à defasagem temporal associada ao acúmulo de nutrientes no solo e aos transportes de superfície e de sub-superfície a ela relacionados.

## Referências.

- ALMASRI, M.N.; KALUARACHCHI, J.J. Assessment and management of long-term nitrate pollution of ground water in agriculture-dominated watersheds. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.295, p.225-245, 2004.
- ARAUJO, A.R.; CARVALHO, J.L.N.; GUILHERME, L.R.G.; CURTI, N.; MARQUES, J.J. Movimentação de nitrato e amônio em colunas de solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.28, n.3, p.537-541, maio/jun, 2004.
- ARAVENA, R.; EVANS, M.; CHERRY, J.A. Stable isotopes of oxygen and nitrogen in source identification of nitrate from septic systems. **Ground Water**, Dublin, v.31, p.180-186, 1993
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13895/1997 Construção de poços de monitoramento e amostragem**. Rio de Janeiro, 1997. 21p.
- BATALHA, M.A.; ARAGAKI, S.; MANTOVANI, V. Florística do cerrado em Emas, Pirassununga, SP. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, São Paulo, v.16, p.49-64, 1997.
- BIRKINSHAW, S.J.; EWEN, J. Nitrogen transformation component for SHETRAN catchment nitrate transport modeling. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.230, p.1-17, 2000.
- BORIN, M.; VIANELLO, M.; MORARI, F.; ZANIN, G. Effectiveness of buffer strips in removing pollutants in runoff from a cultivated field in North-East Italy. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.105, p.101-114, 2005.
- BORTOLETTO JUNIOR, M.J. **Características hidrogeoquímicas e processos erosivos mecânicos e químicos nas bacias de drenagem dos rios Tietê e Piracicaba**. 2004. 202 f. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- BOTTCHER, J.; STREBEL, O.; VOERKELIUS, S.; SCHIMIDT, H.L. Using isotope fractionation of nitrate-nitrogen and nitrate-oxygen for evaluation of microbial denitrification in a sandy aquifer. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.114, p.413-424, 1990.
- CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes uréia (<sup>15</sup>N) e aquamônia (<sup>15</sup>N) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. 104 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.
- CASTELLANOS BONILLA, A.L. **Balanço de nitrogênio em microbacias pareadas (Floresta vs pastagem) no Estado de Rondônia**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório da qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo, 2001-2003**. São Paulo: CETESB, 2004. 211 p. (Série Relatórios).
- CRAVOTTA, C.A. **Use of stable isotopes of carbon, nitrogen and sulfur to identify sources of nitrogen in surface waters in the lower Susquehanna River Basin, Pennsylvania**. Reston: U.S. Geological Survey, 1997. 99 p. (Water-Supply Paper, 2497).
- DIONEX CORPORATION. **ICS-90 ion chromatography system operator's manual**. California: Dionex Corporation, 2004. (Document n.031851, revision 4).

- DYNIA, J.F. Nitrate retention and leaching in variable charge soils of a watershed in São Paulo State, Brazil. **Communications Soil Science in Plant Analysis**. New York, v.31, n5/6, p. 777-791, 2000.
- EDMOND, J.M. High precision determination of titration alkalinity and total carbon dioxide content of seawater by potentiometric titration. **Deep-Sea Research. Part I: Oceanographic Research Papers**, Oxford, v.17, n.4, p.737-750, 1970.
- ESPIRONELLO, A.; RAIJ, B. VAN; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Fundação IAC, 1996. p.237-239. (Boletim 100).
- FAQUIM, V.; ANDRADE, A.T. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- FERREIRA, P.A.; RIBEIRO, A.C.; SANTOS, C.R.; HENRIQUES, H.P.; CAIXETA, T.J. Movimento vertical de nitrato, amônio, cloreto e potássio em colunas de solo irrigado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.37, n.210. p.152-166, 1990.
- FLIPSE, W.J.; BONNER, F.T. Nitrogen-isotope ratios of nitrate in ground water under fertilized fields, Long Island, New York. **Ground Water**, Dublin, v.23, n.1, p.59-67, 1985.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Protección de la calidad del agua subterránea**: definición de estrategias y establecimiento de prioridades – 2002 - 2006. Washington: Banco Mundial, 2002. (Serie de Notas Informativas, 8).
- FOSTER, S.S.D.; CHILTON, P.J.; STUART, M.E. Mechanisms of groundwater pollution by pesticides. **Journal of Institution of water & environmental Management**, Oxford, v.5, p.186-193, 1991.
- FRENCH, C.; WU, L.; MEIXNER, T.; HAVER, D.; KABASHIMA, J.; JURY, W.A. Modeling nitrogen transport in the Newport Bay/San Diego Creek watershed of Southern California. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.81, p.199-215, 2006.
- GALLOWAY, J.N. The global nitrogen cycle: changes and consequences. **Environmental Pollution**, London, v.102, p.15-24, 1998.
- GLOBAL WATER INSTRUMENTATION INC. **FP101-FP201 Global flow probe**. User's Manual. Gold River, 2004. 15 p.
- HEATON, T.H.E. Isotopic studies of nitrogen pollution in the hydrosphere and atmosphere: a review. **Chemical Geology**, Amsterdam, v.59, p.87-102, 1986.
- HIRATA, R.C.A.; FERREIRA, L.M.R. Os aquíferos da bacia hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.31, n.1, p.43-50, 2001.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Recursos Naturais Estudos Ambientais, 1991. 92 p.
- INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário florestal da vegetação natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Florestal, Imprensa Oficial, 2005.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA. **Tracer manual on crops and soils**. Technical Reports Series 171, Viena, 1976, 277 p.

KREITLER, C.W. Nitrogen-isotope ratio studies of soils and groundwater nitrate from alluvial fan aquifers in Texas. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.42, p.147-170, 1979.

KREITLER, C.W.; RAGONE, S.E.; KATZ, B.G.  $N^{15}/N^{14}$  ratios of ground-water nitrate, Long Island, New York. **Ground Water**, Dublin, v.16, n.6, p.404-409, 1978.

KRUSCHE, A.V.; CAMARGO, P.B. de; CERRI, C.E.; BALLESTER, M.V.; LARA, L.B.L.S.; VICTORIA, R.L.; MARTINELLI, L.A. Acid rain and nitrogen deposition in a sub-tropical watershed (Piracicaba): ecosystem consequences. **Environmental Pollution**, London, v.121, p.389-399, 2003.

KRYSANOVA, V.; HABERLANDT, U. Assessment of nitrogen leaching from arable land in large river basins. Part I. Simulation experiments using a process-based model. **Ecological Modeling**, Amsterdam, v.150, p.255-275, 2002.

LARA L.B.L.S., ARTAXO P., MARTINELLI L.A., VICTORIA R.L., CAMARGO P.B., KRUSCHE A., AYERS G.P., FERRAZ E.S.B., BALLESTER M. V. Chemical compositions of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.35, p.4937-4945, 2001.

LEAL, T.F.M.; FONTENELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.J.; FORNARO, A. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.6, p.855-861, 2004.

LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Destino de uréia aplicada a um solo tropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.1, p.40-44, 1978.

LIU, G.D.; WU, W.L.; ZHANG, J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in Northern China. **Agriculture Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.107, p.211-220, 2005.

MANOEL FILHO, J. Contaminação das águas subterrâneas. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia** – conceitos e aplicações. 2. ed. Fortaleza: CPRM; REFO, LABHID/UFPE, 2000.

MEYBECK, M. **Les fleuves et le cycle géochimique des éléments**. 1984. 558 f. Thèse (Sci.) – Université de Paris - Sorbonne IV, Paris, 1984.

MIGLIAVACCA, D.M.; TEIXEIRA, E.C.; MACHADO, A.C.M.; PIRES, M.R. Composição química da precipitação atmosférica no sul do Brasil – estudo preliminar. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n.3, p.371-379, 2005.

MORAES, J.F.V.; DYNIA, J.F. Uso de cápsula porosa para extrair solução do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.10, p.1523-1528, 1990.

MOREIRA-NORDEMANN, L.M.; GIRARD, P.; RÉ POPPI, N. Química da precipitação atmosférica na cidade de Campo Grande – MS. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v.15, n.1, p.35-44, 1997.

MORTATTI, J.; PROBST, J.L. **Hidrogeoquímica de bacias de drenagem**. Piracicaba: CPG/CENA-USP, 1998. 235 p. (Série Didática, 1).

MORTATTI, J.; VICTORIA, R.L.; TARDY, Y. Balanço de alteração e erosão química na Bacia Amazônica. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p.2-13, 1997.

MUÑOZ-CARPENA., R.; RITTER, A.; LI, Y.C. Dynamic factor analysis of groundwater quality trends in an agricultural area adjacent to Everglades National Park. **Journal of Contaminant Hydrology**, Amsterdam, v.80, p.49-70, 2005.

OLIVEIRA, F.A. **Produção e qualidade da água em bacias hidrográficas contendo diferentes coberturas vegetais na região de Agudos, São Paulo**. 1989. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.1, p.171-180, 2001.

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; BOARETTO, A.E.; MURAOKA, T.; MORTATTI, J. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in a sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.861-868, 2002.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT; V.C.; ALVES, M.C. Aplicação de vinhaça em solo arenoso do Brasil e poluição do lençol freático com nitrogênio. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.13, n.6, p.14-16, 1995.

OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007. 116 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PERAY, N. **Composition chimique des eaux e l’Ill à Strasbourg**: variations saisonnières des flux de matières et bilan de l’erosion chimique. Strasbourg: UPL, Centre de Géochimie de la Surface, 1998.

PÉREZ, T.L.; CASTILLO, J.R.F. Calidad de las aguas subterranas de Gerona y La Fe. **Contribucion a la Educación y la Protección Ambiental**, Habana, v.6, p.46-58, 2005.

PROBST, J.L. Dissolved major elements exported by the Congo and the Ubangi rivers during the period 1987-1989. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v.135, p.337-257, 1992.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; VICTÓRIA, R.L.; VIEGAS, G.P. Dinâmica do nitrogênio num solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.3, n.1, p.17-20, 1979.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, p. 265-301, 1990.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C.B.G.; COLLINS, C.H.; JARDIM, I.C.S.F.; MELO, L.F.C. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, São Paulo, v.27, n.5, p.771-780, 2004.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: o autor, 2004. 302 p.

ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Laboratório de Geomorfologia, Depto Geografia, FFLCH-USP; Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT; FAPESP, 1997. 63 p.

SANTOS, A.C. Noções de hidroquímica. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J. (Coord.). **Hidrogeologia – conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.

SILVA, D.M.L.; OMETTO, J.P.H.B.; LOBO, G.A.; LIMA, W.P.; SCARANELLO, M.A.; MAZZI, E.; ROCHA, H.R. Can land use changes alter carbon, nitrogen and major ion transport in subtropical brazilian streams? **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.4, p.317-324, 2007.

SISTEMA INTERGRADO DE GERENCIAMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO - SIGRH. **Banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo**, 2007. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em: 23 jul. 2007.

SOUZA, P.A.; DE MELLO, W.Z.; MALDONADO, J.; EVANGELISTA, H. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.3, p.471-476, 2006. STALLARD, R.F.; EDMOND, J.M. Precipitation chemistry and marine contribution to the dissolved load at the time of peak discharge. **Journal of Geophysical Research. Serie C**, Washington, v.86, n.10, p.9844-9858, 1981.

STUMM, W.; MORGAN, J.J. **Aquatic chemistry**: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural water waters. New York: John Wiley and Sons, 1981. 780 p.

TARDY, Y.; BUSTILLO, V.; ROQUIN, C.; MORTATTI, J.; VICTORIA, R. The Amazon. Biogeochemistry applied to river basin management. Part I. Hidro-climatology, hydrograph separation, mass transfer balances, stable isotopes and modeling. **Applied Geochemistry**, Aberystwyth, v.20, p.1746-1829, 2005.

TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Manejo do nitrogênio e enxofre na nutrição e adubação da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2., 2005, Piracicaba. **Palestra**. Piracicaba: GAPE – Grupo de Apoio à Pesquisa e Extensão, ESALQ/USP, 2005. 1 CD-ROM.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Perfil da produção**. São Paulo, 2007. Disponível em: [http://www.portalunica.com.br/portalunica/unica em ação/ cana de açúcar/ perfil da produção](http://www.portalunica.com.br/portalunica/unica%20em%20a%C3%A7%C3%A3o/cana%20de%20a%C3%A7%C3%BAcar/perfil%20da%20produ%C3%A7%C3%A3o)>. Acesso em: 05 fev. 2007.

VARNIER, C.; HIRATA, R. Contaminação da água subterrânea por nitrato no Parque Ecológico do Tietê, São Paulo, Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, São Paulo, n.16, p.97-104, 2002.

VITOUSEK, P.M. The effects of deforestation on air, soil and water. In BOLIN, B; COOK, R.B. (Eds.). **The major biogeochemical cycles and their interactions**. Chichester: Wiley, p. 223-245, 1983.

VITOUSEK, P.M.; ABER, J.D.; HOWART, R.W.; LIKENS, G.E.; MATSON, P.A.; SCHINDLER, D.W.; SCHLESINGER, W.H.; TILMAN, D.G. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. **Ecological Applications**, Washington, v.7, n.3, p.737-750, 1997.

VITOUSEK, P.M.; HÄTTENSCHWILLER, S.; OLANDER, L.; ALLISON, S. Nitrogen and nature. **Ambio**, Stockholm, v.31, n.2, p.97-101, 2002.

WEINZETTEL, P.; USUNOFF, E. Estimacion de la recarga em um área de llanura mediante el muestreo del ion cloruro com cápsulas de succión. In: CALVETE, F.J.S.; GONZÁLEZ, A.P. (Org.). **Estudios de la zona no saturada del suelo**. v.7, p.63-68, 2005.

## ANEXO A

Cálculo de fluxo em tubos parcialmente cheios.

<b>B</b>	<b>C</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0,01	0,0013	0,51	0,4027
0,02	0,0037	0,52	0,4127
0,03	0,0069	0,53	0,4227
0,04	0,0105	0,54	0,4327
0,05	0,0147	0,55	0,4426
0,06	0,0192	0,56	0,4526
0,07	0,0242	0,57	0,4625
0,08	0,0294	0,58	0,4723
0,09	0,0350	0,59	0,4822
0,10	0,0409	0,60	0,4920
0,11	0,0470	0,61	0,5018
0,12	0,0534	0,62	0,5115
0,13	0,0600	0,63	0,5212
0,14	0,0668	0,64	0,5308
0,15	0,0739	0,65	0,5404
0,16	0,0811	0,66	0,5499
0,17	0,0885	0,67	0,5594
0,18	0,0961	0,68	0,5687
0,19	0,1039	0,69	0,5780
0,20	0,1118	0,70	0,5872
0,21	0,1199	0,71	0,5964
0,22	0,1281	0,72	0,6054
0,23	0,1365	0,73	0,6143
0,24	0,1449	0,74	0,6231
0,25	0,1535	0,75	0,6318
0,26	0,1623	0,76	0,6404
0,27	0,1711	0,77	0,6489
0,28	0,1800	0,78	0,6573
0,29	0,1890	0,79	0,6655
0,30	0,1982	0,80	0,6736
0,31	0,2074	0,81	0,6815
0,32	0,2167	0,82	0,6893
0,33	0,2266	0,83	0,6969
0,34	0,2355	0,84	0,7043
0,35	0,2450	0,85	0,7115
0,36	0,2546	0,86	0,7186
0,37	0,2644	0,87	0,7254
0,38	0,2743	0,88	0,7320
0,39	0,2836	0,89	0,7384
0,40	0,2934	0,90	0,7445
0,41	0,3032	0,91	0,7504
0,42	0,3130	0,92	0,7560
0,43	0,3229	0,93	0,7612
0,44	0,3328	0,94	0,7662
0,45	0,3428	0,95	0,7707
0,46	0,3527	0,96	0,7749
0,47	0,3627	0,97	0,7785
0,48	0,3727	0,98	0,7816
0,49	0,3827	0,99	0,7841
0,50	0,3927	1,00	0,7854

Fonte: GLOBAL WATER INSTRUMENTATION INC., 2004.