

ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO DAS ZONAS NÃO-SATURADA E SATURADA EM TERRENOS SUBTROPICAIS ÚMIDOS

Mária Szikszay⁽¹⁾
Annkarin Aurelia Kimmelmann e Silva⁽²⁾
Raphael Hypólito⁽³⁾

RESUMO

Com a finalidade de estudar a composição química das águas nas zonas não-saturada e saturada, em terrenos subtropicais úmidos, foi instalada uma Estação Experimental no Campus da Universidade de São Paulo, em São Paulo, constituindo uma investigação pioneira no Brasil. Os resultados da monitoração semanal (análises químicas) realizadas durante 14 meses (outubro 1985-janeiro 1987) são apresentados nos diagramas de PIPER, para classificação.

De acordo com esses diagramas, as águas se classificam como cloretadas sódicas e cloretadas mistas na parte superior da zona não-saturada, passando para bicarbonatadas mistas, bicarbonatadas mistas sódicas até cloretadas sódicas em profundidade.

Enquanto a composição química da água na parte superior da zona não-saturada é influenciada pelo clima, foi observado que na parte mais profunda ela é controlada pela litologia local. Não foram notadas variações significativas da composição química com as estações, refletindo o clima mais ou menos homogêneo do tipo subtropical úmido.

As águas da zona saturada (aquífero-PF) classificam-se como clorobicarbonatadas sódicas, refletindo a influência das águas provenientes da zona não-saturada. Em outros pontos de amostragem (piezômetros) do aquífero, elas classificam-se como bicarbonatadas cálcicas, já sendo misturadas em decorrência da contribuição de fluxos de todas as direções. Essa classificação é típica das águas da zona superficial de aquíferos, confirmando os resultados de estudos referentes à zonalidade da composição química de aquíferos, encontrados na literatura.

INTRODUÇÃO

Com o objetivo de estudar a dinâmica e a evolução da composição química das águas que percolem a zona não-saturada até o aquífero, em terrenos subtropicais úmidos, foi instalada uma Estação Experimental no Viveiro de Plantas da Universidade de São Paulo, em São Paulo (figura 1). Essa investigação é pioneira no Brasil.

Do ponto de vista geológico, a área situa-se na bacia de São Paulo, constituída por sedimentos de origem fluvial restritamente lacustrina, predominantemente arenosos em algumas áreas, tornando-se essencialmente

silito-argilosos em outras. A espessura dos sedimentos é em torno de 300m. A idade indicada por estudos paleontológicos é eocênica superior.

A descrição da instalação dos aparelhos na Estação Experimental encontra-se em Szikszay et alii (1986), enquanto a litologia local detalhada e os primeiros resultados preliminares referentes à dinâmica das águas na zona não-saturada são descritos em Szikszay et alii (1987).

O objetivo do presente trabalho é classificar as águas das zonas não-saturada e saturada e mostrar, através dos diagramas de PIPER, as variações na classificação, ligadas à litologia e às estações.

METODOLOGIA

A extração da água da zona não-saturada foi feita através de cápsulas porosas instaladas a partir da superfície do terreno, de 0,50 em 0,50m, até atingir o aquífero, numa profundidade de mais de 10,50m. A água é extraída por sucção, aplicando uma pressão de 0,40bar. O aquífero foi amostrado através de um poço (P) e de três piezômetros (P-1, P-2 e PF).

Durante a amostragem foram medidos "in situ" os seguintes parâmetros físicos, físico-químicos e químicos das águas: temperatura, pH, Eh, condutividade elétrica, alcalinidade, O₂ e CO₂ dissolvidos, NH₄, NO₂ e Fe total. No laboratório foram determinados os ânions: F⁻, Cl⁻, NO₂, NO₃, HPO₄, Br⁻ e SO₄, e os cátions: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, F²⁺ e Al³⁺.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da monitoração semanal durante 14 meses (outubro 1985-janeiro 1987) estão plotados nos diagramas de PIPER em miliequivalentes.

¹Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Geral-USP

²Instituto de Geociências, Departamento de Geologia Econômica e Geofísica Aplicada-USP

³Instituto de Geociências, Departamento de Mineralogia e Petrologia-USP

Águas na Zona Não-Saturada

Na figura 2 são apresentados os resultados das análises de águas provenientes de cápsulas porosas, a partir da superfície do terreno, até mais ou menos 5,0m de profundidade de 0,5 em 0,5m. Nota-se que existe uma evolução na classificação das águas relacionadas com a evolução da composição química. Assim, as águas provenientes de cápsulas porosas de 0,5-2,0m de profundidade (43, 44, 45, 46 e 13) são cloretadas mistas e mistas.

As águas das cápsulas colocadas a 3,5-4,0m (6, 7 e 12) se classificam como cloretadas cálcicas e cloretadas mistas.

Os números 4, 9, 8, 11, 2, 3 e 39 correspondendo às águas provenientes de cápsulas porosas localizadas a uma profundidade de 3,0-4,5m, são mistas, bicarbonatadas mistas, cloretadas mistas e bicarbonatadas cálcicas.

As águas provenientes de cápsulas a 2,5-4,0m de profundidade (9, 30 e 31) são bicarbonatadas sódicas, cloretadas sódicas e mistas sódicas. Entre 4,5 e 5m (19 e 20) as águas são cloretadas sódicas.

As águas provenientes de 2,0-4,5m de profundidade (10, 42, 1, 41, 27 e 29) são todas bicarbonatadas mistas.

Um outro grupo observado é constituído por águas bicarbonatadas sódicas (32, 36 e 15).

As outras águas classificam-se como bicarbonatadas mistas e bicarbonatadas sódicas, predominantemente.

Na figura 3 são apresentados os resultados das águas extraídas de cápsulas porosas localizadas entre 5 e 10,5m, em intervalos de 0,5 em 0,5m.

Observando-se a figura 3 verifica-se que existe uma continuação na evolução da classificação das águas da figura 2. As águas da figura 3 são predominantemente bicarbonatadas sódicas. Alguns pontos são diferentes (3, 4, 6, 1, 78, 68, 9 e 17) e se classificam como bicarbonatadas sódicas, mistas e cálcicas.

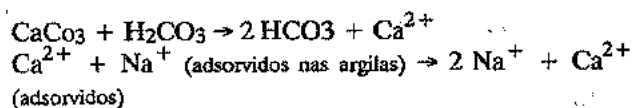
Um outro grupo que se diferencia é o dos números: 81, 82, 83, 7, 32 e 5, e as águas se classificam como mistas sódicas.

Considerando o perfil total da zona não-saturada observa-se que as águas na parte superior da zona não-saturada são cloretadas mistas, passando para bicarbonatadas mistas e bicarbonatadas sódicas até cloretadas sódicas em profundidade.

Na parte superior a classificação das águas na zona não-saturada reflete os processos consecutivos de evapo-infiltração das águas de chuva, em cujas composições químicas predominam cloretos, sulfatos, sódio e cálcio.

Com a profundidade diminui a influência da composição química das águas de chuva e aumenta a da litologia. As águas não são mais cloretadas, mas bicarbonatadas (com algumas exceções). O aparecimento do bicarbonato está ligado às reações bioquímicas do solo, fornecedoras do CO₂. Entre os cátions, o sódio é predominante, proveniente das camadas argilosas presentes e de processos de troca iônica.

Observou-se também, na literatura que as águas provenientes de sedimentos argilosos caracterizam-se como bicarbonatadas sódicas (Freeze & Cherry, 1978). Esse fato pode ser explicado pelo efeito combinado de troca de cátions.



O comportamento dos alcalinos é estudado através do índice de troca de bases, i.t.b. Na tabela 1 encontram-se os valores calculados de i.t.b.

Até mais ou menos 1m de profundidade o i.t.b. é positivo, indicando fornecimento de alcalinos da água para o terreno, através do processo de evaporação da água.

Depois de 1,5m os valores de i.t.b. tornam-se negativos, isto é, os alcalinos passam para a mistura aquosa por dissolução, ou seja, o terreno fornece os alcalinos, inclusive no aquífero.

Na parte inferior da zona não-saturada (figura 3) as águas são predominantemente bicarbonatadas sódicas, refletindo a litologia, que é constituída por camadas argilosas, silto-argilosas, areias silticas e areias.

Como se observaram algumas exceções na classificação das águas em profundidade, foi realizado também outro tratamento, em função das estações (tabela 2).

Verificou-se que as águas em todas as estações são cloretadas mistas e mistas na parte superior da zona não-saturada.

Nas profundidades médias elas variam de bicarbonatadas mistas a bicarbonatadas sódicas em todas as estações, com exceção do mês de dezembro, quando são bicarbonatadas cálcicas.

Em maior profundidade as águas variam de bicarbonatadas mistas a cloretadas mistas, seguindo bicarbonatadas sódicas e finalmente cloretadas sódicas em todas as estações, confirmando portanto as observações anteriores, que a influência maior na composição química da água na zona não-saturada é da litologia e que somente a parte superior é influenciada pelo clima.

Águas no Aquífero

Na figura 4 são apresentados os resultados das análises químicas de águas provenientes de três piezômetros (P-1, P-2 e PF) e de um poço (P). As águas provenientes do P-1 se classificam como bicarbonatadas cálcicas e mistas durante todo o período de amostragem. Essas águas são diferentes das do restante do aquífero e refletem mais as condições locais e particulares, tais como, por exemplo, sedimentos ricos em matéria orgânica, onde a contribuição do bicarbonato para as águas é maior.

As águas do P-2 se classificam como bicarbonatadas

cálcicas e mistas, com uma exceção (6), quando são bicarbonatadas sódicas.

As águas do PF são cloretadas sódicas no inverno, ou seja, na época de pouca chuva. Assim, as águas do aquífero, nesse ponto, refletem a contribuição de águas da zona não-saturada. Com a primavera passam a ser bicarbonatadas sódicas, sendo diluídas com as águas de chuva, passando para mistas, e voltando no outono para bicarbonatadas sódicas.

As águas do poço P são, no verão, mistas cálcicas, passando no início do outono para mistas sódicas e cloretadas sódicas, continuando no inverno e início da primavera como bicarbonatadas mistas e bicarbonatadas cálcicas.

No ponto PF as águas são clorobicarbonatadas sódicas, mostrando a influência imediata das águas da zona não-saturada.

Na jusante (P—poço) as águas já se misturaram recebendo contribuições de fluxos de todas as direções, tornando-se bicarbonatadas cálcicas. Essa classificação é típica para águas de zona superficial em aquíferos, confirmando os resultados para estudos referentes à zonalidade de composição química em aquíferos encontrados na literatura.

Considerando os valores médios de todas as análises, as águas da zona não-saturada e do aquífero se classificam da seguinte maneira:

- 0,0 – 0,5m – clorossulfatadas cálcicas
- 0,5 – 1,0m – cloretadas magnesianas
- 1,0 – 1,5m – cloretadas sódicas
- 1,5 – 3,0m – bicarbonatadas magnesianas
- 3,0 – 4,0m – bicarbonatadas cálcicas
- 4,0 – 6,0m – bicarbonatadas sódicas
- 6,0 – 6,5m – bicarbonatadas sódico-potássicas
- 6,5 – 10,5m – bicarbonatadas sódicas
- PF – clorobicarbonatadas sódicas
- P-1 – bicarbonatadas cálcicas
- P-2 – bicarbonatadas cálcicas
- P – bicarbonatadas cálcicas

CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser tiradas do presente trabalho:

- As águas na parte superior da zona não-saturada se classificam como cloretadas sódicas e cloretadas mistas, passando para bicarbonatadas mistas e bicarbonatadas sódicas até cloretadas sódicas com a profundidade.

- Na parte superior da zona não-saturada a classificação das águas reflete as condições climáticas e em maiores profundidades a litologia.

- Não se observaram variações significativas com as estações.

- No aquífero, no piezômetro P-1, o mais profundo, as águas se classificaram durante todo o período de amostragem, como bicarbonatadas cálcicas, não sendo influenciadas pelas estações.

- No ponto de amostragem P-2 as águas também são bicarbonatadas cálcicas, com exceção do mês de junho, quando são bicarbonatadas sódicas.

- As águas no PF são cloretadas sódicas no outono e inverno, refletindo a influência das águas provenientes da zona não-saturada.

- Maiores variações com as estações foram observadas nas águas do poço (P), o mais superficial, portanto refletindo mais as variações do clima.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e à FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos) pelo apoio oferecido na realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FREEZE, R.A. & CHERRY, J.A. 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 604 p.

SZIKSZAY, M.; CONSONI, A.J.; GUIGUER, N.; HASSUDA, S.; KIMMELMANN, A.A.; PARISOT, E.; SGAMBATO, F.; YOSHINAGA, S. 1986. Instalação de uma estação experimental para estudos da dinâmica e evolução da composição química da água na zona não-saturada. *Revista Águas Subterrâneas*, 10, p. 5-20.

-----; -----; IOKOTA, K.H.; ARAUJO, J.R.; DUARTE, U.; KANEHISA, M.S. 1987. Estudo preliminar da hidrodinâmica na zona não-saturada da estação experimental (Cidade Universitária, São Paulo). *Revista Águas Subterrâneas*, 11, p. 33-62.

Tabela 1 - Média dos Valores através de Índice de Troca de Bases (i.t.b.).

$$\text{i.t.b.} = \frac{r\text{Cl} - r(\text{Na} + \text{K})}{r\text{Cl}}$$

Profundidade (m)	i.t.b.
0,5	+0,07
1,0	+0,21
1,5	-3,02
2,0	-2,46
2,5	-2,13
3,0	-0,96
3,5	-1,23
4,0	-1,85
4,5	-0,40
Fundo de Escavação	
5,5	-0,90
6,0	-1,85
6,5	-0,85
7,0	-2,05
7,5	-1,93
8,0	-1,23
8,5	-2,13
9,0	-1,40
9,5	-1,80
10,0	-3,62
10,5	-3,81
Aqüífero	
PF	-0,50
P2	-1,00
P1	-1,50
P	-1,30

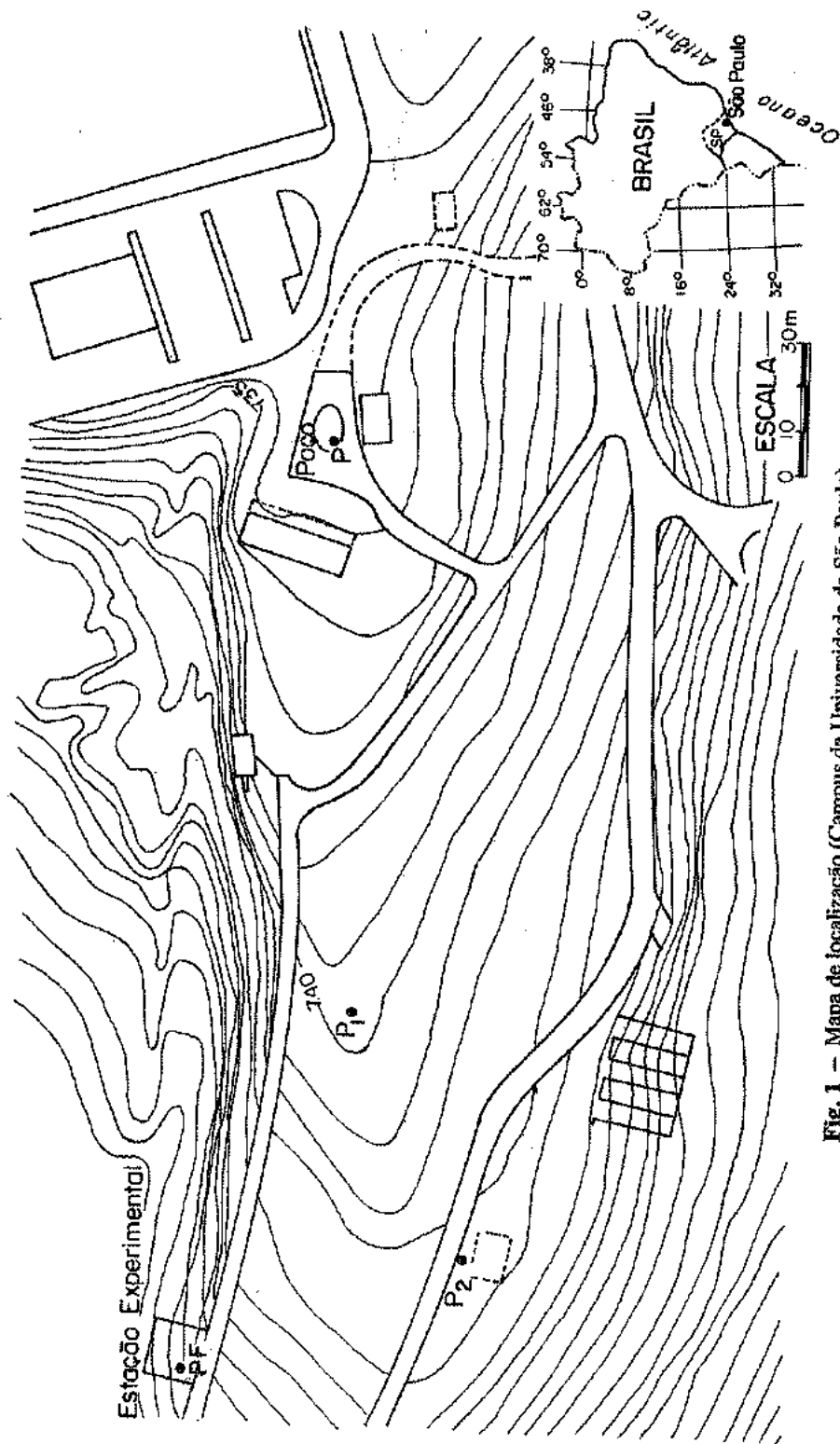


Fig. 1 – Mapa de localização (Campus da Universidade de São Paulo).

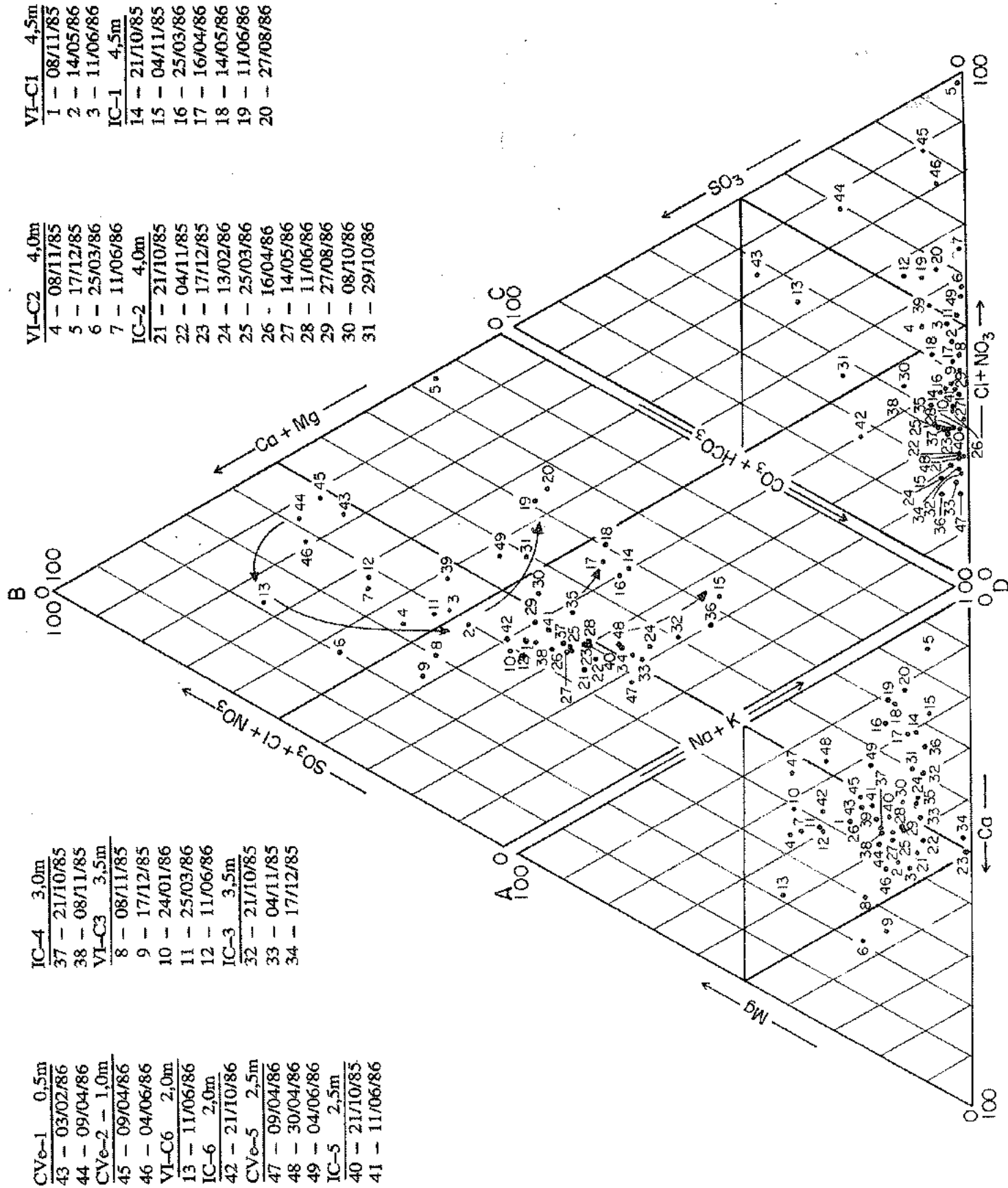


Fig. 2 - Diagrama de Piper - Zona não-saturada (da superfície até ± 5,0m).

CVI-1	5,5m	CVI-3	6,5m	CVI-5	7,5m	CVI-7	8,5m	CVI-9	9,5m	CVI-11	10,5m
1	08/11/85	17	11/11/85	38	11/11/85	58	18/11/85	78	18/11/85	95	27/11/85
2	17/12/85	18	09/01/86	39	15/01/86	59	15/01/86	79	15/01/86	96	24/01/86
3	25/03/86	19	24/01/86	40	24/01/86	60	28/01/86	80	03/02/86	97	03/02/86
4	16/04/86	20	13/02/86	41	13/02/86	61	21/05/86	81	23/04/86	98	25/05/86
5	14/05/86	21	16/04/86	42	16/04/86	62	10/07/86	82	10/07/86	99	20/08/86
6	30/06/86	22	14/05/86	43	14/05/86	63	13/08/86	83	13/08/86	100	24/09/86
7	25/07/86	23	30/06/86	44	30/06/86	64	24/09/86	84	24/09/86	101	15/10/86
CVI-2	6,0m	24	25/07/86	45	25/07/86	65	15/10/86	85	15/10/86	102	05/11/86
8	08/11/85	25	17/09/86	46	17/09/86	66	05/11/86	86	05/11/86		
9	09/01/86	26	08/10/86	47	15/10/86	67	19/11/86	CVI-10	10,0m		
10	24/01/86	CVI-4	7,0m	48	05/11/86	CVI-8	9,0m	87	27/11/85		
11	13/02/86	27	11/11/85	49	19/11/86	68	18/11/85	88	24/01/86		
12	25/03/86	28	15/01/86	CVI-6	8,0m	69	15/01/86	89	03/02/86		
13	16/04/86	29	24/01/86	50	18/11/85	70	28/01/86	90	10/07/86		
14	14/05/86	30	13/02/86	51	13/02/86	71	21/05/86	91	20/08/86		
15	30/06/86	31	16/04/86	52	14/05/86	72	10/07/86	92	24/09/86		
16	25/07/86	32	14/05/86	53	30/06/86	73	13/08/86	93	15/10/86		
		33	30/06/86	54	13/08/86	74	24/09/86	94	05/11/86		
		34	25/07/86	55	24/09/86	75	15/10/86				
		35	17/09/86	56	05/11/86	76	05/11/86				
		36	08/10/86	57	19/11/86	77	19/11/86				
		37	29/10/86								

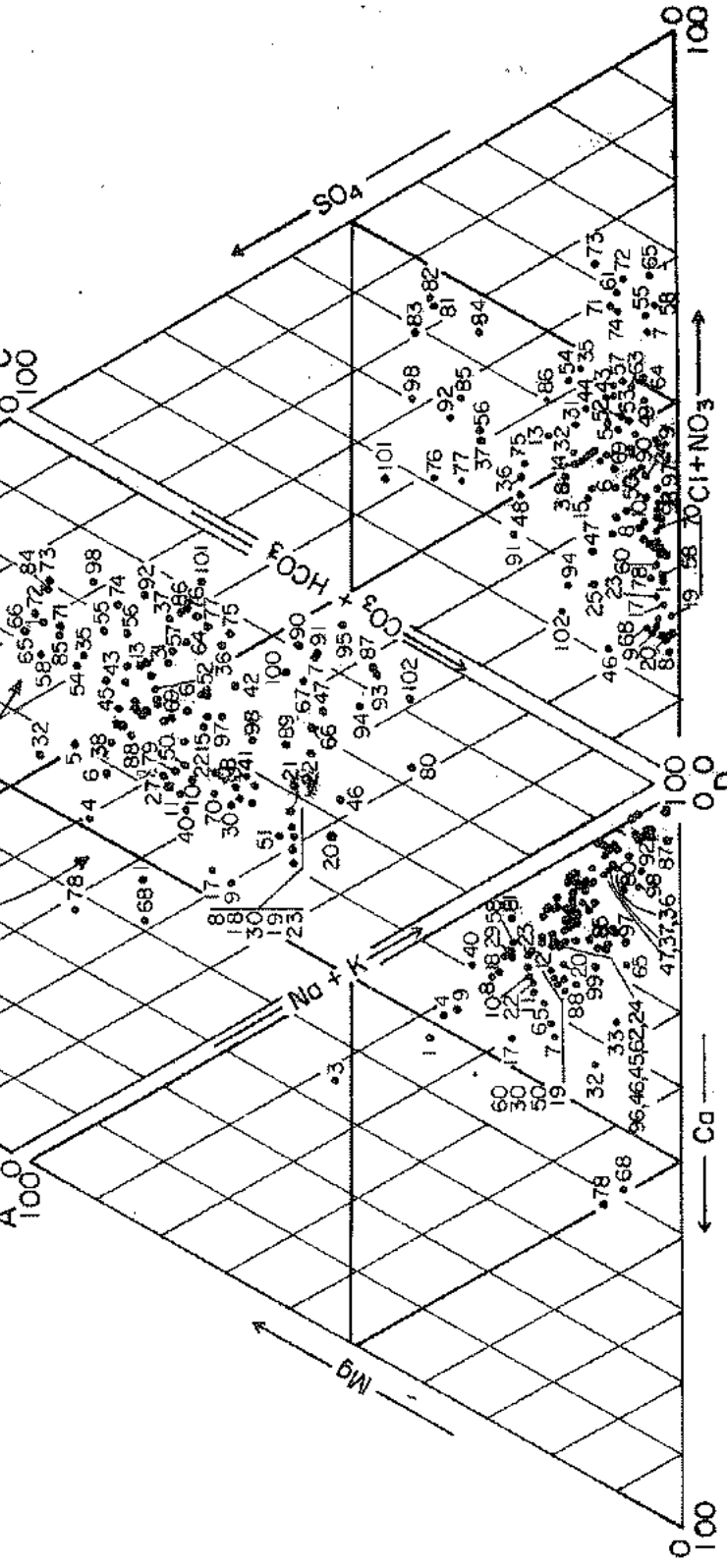


Fig. 3 - Diagrama de Piper - Zona não-saturada (de ± 5,0m ± 10,5m).

