

PROJETO HIDROGEOLOGIA DO CENTRO DE MINAS GERAIS E NORTE DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO FINAL

Chefe do Projeto	Antonio de Souza Leal
Equipe Executora	Floriano Garcia Costa Franklin de Moraes José do Espírito Santo Lima Sérgio Murillo Achão
Auxiliares	Almir Gomes Freire Cícero de Souza Barbosa Dâmaso Parreiras Dornelas Hélio Carvalho de Miranda Júlio de Freitas F. Vasques
Colaboração Especial	José M. da Motta Marques

PROJETO HIDROGEOLOGIA DO CENTRO DE MINAS GERAIS E NORTE DO ESPÍRITO SANTO

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE DOS VOLUMES

VOL. I : FOLHA BELO HORIZONTE-NO

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

VOL. II : FOLHA BELO HORIZONTE-SO

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

VOL. III : FOLHA BELO HORIZONTE-SE

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

VOL. IV : FOLHA RIO DOCE-SO

Parte I: TEXTO

Parte II: ANEXOS

APRESENTAÇÃO

Expõe o presente os resultados obtidos pelo Projeto Hidrogeologia do Centro de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo, executado pela Superintendência Regional de Belo Horizonte, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, para o Departamento Nacional da Produção Mineral. Objetivou, fundamentalmente, o estudo hidrogeológico a nível de pré-via bilidade de uma área de aproximadamente 262.500 km², compreendendo uma porção do noroeste e toda faixa central leste-oeste de Minas Gerais, a metade norte do Espírito Santo e porções do sudoeste de Goiás e do extremo sul da Bahia.

O relatório é apresentado em quatro volumes, por folha de 2° x 3° segundo a divisão do IBGE para as Gar tas do Brasil na escala 1:500.000. Cada volume compreende duas partes, uma dedicada ao texto e outra aos anexos.

No capítulo 4 de cada volume é feita uma sínte se dos principais aspectos fisiográficos, climáticos e só cio-econômicos da área correspondente, e no capítulo 5 são ex postas sumariamente as principais feições geológicas, com es pecial ênfase aos aspectos importantes à hidrogeologia.

Os capítulos 6, 7 e 8 são dedicados ao estudo das águas subterrâneas, orientado no sentido de uma avaliação dos sistemas aquíferos, determinação, quando possível, das reservas permanentes e das vazões do escoamento natural e qualificação dos diversos tipos de água para os seus vários usos.

Na 2ª parte de cada volume, estão relacionados, como anexos, os catálogos fluviométrico, pluviométrico e de pontos d'água, bem como perfis de poços, relatório de testes de bombeamento e os vários mapas na escala de 1:500.000.

S U M Á R I O

1.	RESUMO	01
2.	ABSTRACT	02
3.	INTRODUÇÃO	03
4.	ASPECTOS GERAIS	05
4.1	Localização	05
4.2	Elementos do Clima	05
4.2.1	Pluviometria	05
4.2.2	Temperatura	06
4.2.3	Insolação, Umidade Relativa e Ventos	07
4.2.4	Evaporação e Evapotranspiração	08
4.2.5	Tipos de Clima	09
4.2.6	Balanço Hídrico	10
4.3	Elementos de Hidrologia de Superfície.....	11
4.3.1	Escoamento Superficial	11
4.3.2	Estudo das Recessões	13
4.4	Morfologia	18
4.5	Solos e Vegetação	20
4.6	Aspectos Sócio-Econômicos	21
5.	GEOLOGIA	25
5.1	Generalidades	25
5.2	Associação Barbacena	26
5.2.1	Complexo - B (Grupo Araxá)	26
5.2.2	Complexo - C (Grupo Canastra)	27

5.2.3	Complexo - D (Formação Ibiá)	29
5.3	Grupo Bambuí	30
5.3.1	Formação Paranoá	33
5.3.2	Formação Paraopeba	34
5.3.3	Formação Três Marias	36
5.4	Cretáceo	39
5.4.1	Formação Areado	40
5.4.2	Formação Mata da Corda	41
5.4.3	Formação Urucuia	42
5.5	Terciário - Quaternário	43
5.6	Quaternário	45
5.6.1	Quaternário Pleistoceno - Holoceno Indife renciado	45
5.6.2	Depósitos Recentes (Qha)	47
5.7	Tectônica	47
5.8	História Geológica	50
6.	HIDROGEOLOGIA	55
6.1	Generalidades	55
6.2	Relação entre Geologia e Águas Subterrâneas	55
6.3	Água Subterrânea em Rochas Fissuradas ...	58
6.3.1	Associação Barbacena	59
6.3.1.1	Alimentação, Escoamento e Descarga Natu ral	59
6.3.1.2	Características Dimensionais e Hidrodi nâmicas - Produtividade dos Poços	62
6.3.2	Grupo Bambuí	64
6.3.2.1	Formação Paranoá	65

6.3.2.1.1	Alimentação, Escoamento e Descarga...	65
6.3.2.1.2	Características Dimensionais e Hidro dinâmicas	65
6.3.2.2	Formação Paraopeba	66
6.3.2.2.1	Alimentação, Escoamento e Descarga...	66
6.3.2.2.2	Características Dimensionais e Hidro dinâmicas	70
6.3.2.3	Formação Três Marias	75
6.4	Água Subterrânea em Zonas Cársticas.....	75
6.4.1	Características Dimensionais	75
6.4.2	Alimentação	76
6.4.3	Circulação e Descarga	77
6.4.4	Características Hidrodinâmicas	78
6.5	Água Subterrânea em Sedimentos Granulares..	79
6.5.1	Cretáceo	79
6.5.1.1	Água Subterrânea na Formação Areado....	79
6.5.1.2	Água Subterrânea na Formação Mata da Corda	79
6.5.1.3	Água Subterrânea na Formação Urucua ..	80
6.5.2	Aqüíferos Terciário - Quaternários	81
6.5.2.1	Características Litológicas	81
6.5.2.2	Características Dimensionais	81
6.5.2.3	Alimentação, Circulação e Descarga	82
6.5.2.4	Características Hidrodinâmicas	83
6.5.3	Aqüíferos Quaternários	83
6.5.3.1	Coberturas Detríticas (Qphi)	83
6.5.3.1.1	Características Litológicas	84

6.5.3.1.2	Características Dimensionais	84
6.5.3.1.3	Alimentação, Circulação e Descarga	84
6.5.3.1.4	Características Hidrodinâmicas	87
6.5.3.2	Aluviões	87
6.5.3.2.1	Características Litológicas	88
6.5.3.2.2	Características Dimensionais	88
6.5.3.2.3	Alimentação, Circulação e Descarga	89
6.5.3.2.4	Características Hidrodinâmicas	89
6.6	Estimativa das Reservas das Águas Subterrâneas	90
6.6.1	Rochas Fissuradas	91
6.6.2	Zonas Cársticas	93
6.6.3	Sedimentos Granulares	94
6.6.3.1	Coberturas do Terciário - Quaternário (TQi)	94
6.6.3.2	Coberturas Indiferenciadas do Quaternário	95
6.6.3.3	Aluviões	96
7.	HIDROQUÍMICA	97
7.1	Generalidades	97
7.2	Composição Química das Águas	98
7.2.1	Tipos Químicos das Águas	99
7.2.2	Relações Iônicas e Índices de Troca de Bases	104
7.3	Qualidade das Águas para o Consumo Humano e Animal	107
7.4	Qualidade das Águas para a Irrigação	109
7.5	Qualidade das Águas para Indústrias	110

8.	CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO E DEMANDA	111
8.1	Possibilidades de Exploração	111
8.1.1	Profundidade de Captação	111
8.1.2	Profundidade dos Níveis D'água	111
8.1.3	Capacidade de Produção dos Poços	113
8.1.4	Qualidade Química das Águas	115
8.2	Zonas mais Favoráveis para Exploração	117
8.3	Demanda e Uso Atual	118
9.	CONCLUSÕES	120
10.	BIBLIOGRAFIA	125

ANEXOS

Anexo	I	-	Catálogo de observações pluviométricas
Anexo	II	-	Catálogo de observações fluviométricas
Anexo	III	-	Catálogo de pontos d'água
Anexo	IV	-	Perfís de Poços
Anexo	V	-	Ensaio de Bombeamento
Anexo	VI	-	Mapas
		-	Geológico
		-	Hidrológico
		-	De Poços
		-	Piezométrico
		-	De Pontencial Explorável
		-	De Hidroquímica

1. RESUMO

Este relatório apresenta os resultados do estudo hidrogeológico, a nível de reconhecimento, efetuado na área que corresponde a folha Belo Horizonte-NO, compreendendo uma superfície de 71.200 km². Foram utilizadas as informações disponíveis sobre a geologia da região, abordados aspectos climatológicos, hidrológicos e sócio-econômicos, além de caracterizados do ponto de vista hidrogeológico, os diferentes sistemas aquíferos, estando os resultados sintetizados nos mapas, gráficos e tabelas que acompanham o trabalho. Foi inventariado um total de 632 pontos d'água, dos quais 188 são poços tubulares, os quais apresentam valores médios de capacidade específica entre 100 l/h/m (F. Paranoá) e 6.033 l/h/m (Paraopeba cárstico). Foram utilizados os dados de 17 ensaios de bombeamento visando-se a determinação das características hidrodinâmicas dos aquíferos, além de realizadas 141 análises químicas de amostras para caracterização hidroquímica das águas subterrâneas. A facies bicarbonatada predomina nas águas analisadas, registrando-se maior incidência dos sub-tipos bicarbonatadas cálcicas, cálcio-magnesianas e mistas. Tratam de águas cujos valores de resíduo seco não ultrapassam a 500 mg/l. As Formações Paranoá, Três Marias, Cretáceas e Coberturas do Terciário-Quaternário apresentam um potencial hídrico fraco a muito fraco. A Associação Barbacena, Formação Paraopeba (excetuando-se as áreas cársticas) e coberturas do Quaternário (Qphi) possuem uma potencialidade hídrica média a fraca. As áreas cársticas da Formação Paraopeba e as aluviões nas confluências dos rios Urucua e Paracatu com o rio São Francisco apresentam um potencial hídrico elevado a médio.

2. ABSTRACT

This report accounts for the hydrogeologic activities carried out, at reconnaissance level, over an area of 71,200 km², related to the Belo Horizonte-NO Sheet. The results of these activities, summarized on the attached maps, plates and tables, include geological informations on the studied area, its climatologic, hydrologic and socio-economic aspects, as well as a hydrogeologic characterization of its different aquifer systems. A total of 632 water points (of which 188 driven - wells) presenting mean values of specific discharge ranging from 100 l/h/m (Paranoa Formation) to 6,033 l/h/m (carstic Paraopeba) have been inventoried. Data from 17 pumping tests have been employed to define the aquifer hydrodynamic characteristics and made 141 chemical analyses on water samples for hydrochemical characterization of groundwaters. In the analyzed samples, the bicarbonated facial group of waters is the predominant type with a major incidence of the calcic-bicarbonated, calcic-magnesian and mixed subtypes, that present mean values of dry residual not exceeding to 500 mg/l. The Paranoa and Tres Marias Formation and the Cretaceous and Tertiary-Quaternary mantle show a low to very low hydric potentiality; the Barbacena Association and Paraopeba Formation (excepting the carstic areas) and Quaternary mantle show a medium to low potentiality, and the carstic areas and the alluvia of the Urucuia and Paracatu River in its junction with the São Francisco River, presents a medium to high potentiality.

3. INTRODUÇÃO

Em prosseguimento ao "Inventário Hidrogeológico do Brasil" preconizado no Plano Mestre Decenal para Avaliação dos Recursos Minerais do Brasil (1965-1974), coube a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais a elaboração de 4 cartas hidrogeológicas, na escala de 1:500.000, correspondentes às quadrículas Belo Horizonte-NO, Belo Horizonte -SO, Belo Horizonte-SE e Rio Doce-SO.

O presente relatório apresenta os resultados dos estudos efetuados na quadrícula Belo Horizonte-NO, inserida na folha 4 SE-23 do IBGE e limitada pelos paralelos 16° e 18° de latitude sul e meridianos 45° e 48° de longitude oeste, com uma superfície de 71.200 km².

O estudo hidrogeológico consistiu inicialmente de um relatório preliminar consubstanciado na coleta e sistematização de toda a documentação disponível, incluindo aspectos climáticos e sócio-econômicos, mapas e seções geológicas, fichas técnicas dos poços, perfis litológicos dos poços e furos estratigráficos quando existentes, dados de testes de bombeamento e resultados de análises químicas das águas subterrâneas, propiciando a elaboração em caráter preliminar, de mapas climático e geológico da área, catálogo preliminar bem como de um mapa de locação de pontos d'água.

Em etapa seguinte, processou-se o inventário de pontos d'água, onde foram obtidas informações pontuais sobre profundidade de níveis d'água (níveis estático e dinâmico), vazões de exploração e específicas, produção diária e uso atual incluindo o equipamento de captação utilizado. Além disto foram realizadas coletas de amostras d'água para análises, visando uma caracterização hidroquímica das águas subterrâneas na região, assim como, efetuados testes de

bombeamento orientados a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos, os quais foram aproveitados para os cálculos das reservas das águas subterrâneas. Estas reservas também foram estimadas a partir de hidrogramas de descargas fluviais, principalmente quando se trata de coberturas sedimentares do Terciário e Quaternário.

Foram inventariados 632 pontos, dos quais 188 são poços tubulares, 237 poços escavados e 207 nascentes.

A rede de pontos de observação foi lançada, no campo, em cartas topográficas em escala conveniente (1:100.000) e posteriormente lançada em uma base na escala de 1:500.000.

A partir das informações existentes e subsídios levantadas no campo, foram elaborados os mapas hidrogeológicos, na escala de 1:500.000, onde estão representados os principais parâmetros hidrogeológicos, incluindo, quando possível, curvas isopiezométricas, curvas de igual concentração de resíduo seco, valores de vazão específica, valores de transmissibilidade e coeficiente de armazenamento, além da locação e caracterização de todos os pontos inventariados

Foi possível a partir dos dados coletados apresentar uma caracterização dos principais aquíferos da área e proceder uma avaliação inicial das reservas de água subterrânea, bem como conhecer os tipos químicos de água mais frequentes em cada aquífero e determinar a sua adequabilidade para o consumo humano, agrícola e industrial.

4. ASPECTOS GERAIS

4.1 Localização

A área, abrangendo parte do noroeste de Minas Gerais e faixa do sudeste de Goiás, está compreendida entre os paralelos 16° e 18° da latitude sul e meridianos 45° e 48° de longitude oeste de Greenwich, correspondendo aproximadamente a uma superfície de 71.200 km^2 (fig. 4.1).

4.2 Elementos do Clima

A análise dos principais parâmetros climáticos foi efetuada com base nas normais obtidas de estações climatológicas pertencentes ao Departamento Nacional de Meteorologia-M.A. e ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica.

Consideradas de grande interesse ao presente estudo, seis das estações são climatológicas completas e estão em funcionamento a um longo período. Ressalte-se que foram consideradas entre estas estações as de Catalão, Pira-pora e São Francisco, foras da área, porém bem próximas aos seus limites. Além deste aspecto serão consideradas, para e feitos de uma correlação regional com áreas de alto índice de aridez do Polígono das Secas (NE), as estações de Quixeramobim (CE) e Cruzeta (RN).

4.2.1 Pluviometria

Os dados de pluviometria que possibilitaram a elaboração do mapa de isoietas (fig. 4.2) foram obtidos de 14 estações climatológicas existentes, das quais as 6 per

SITUAÇÃO DA FOLHA

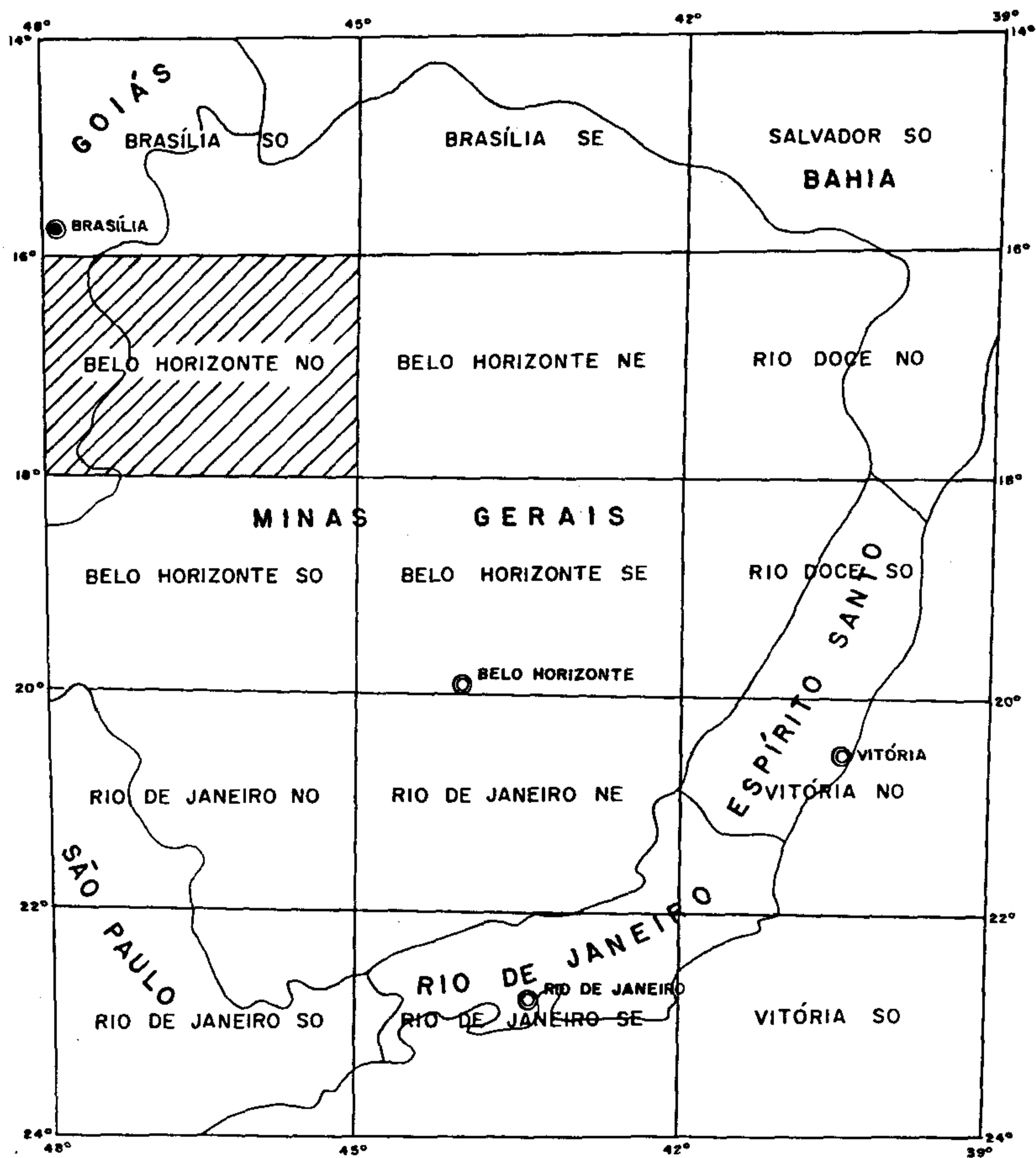


Fig. 4.1

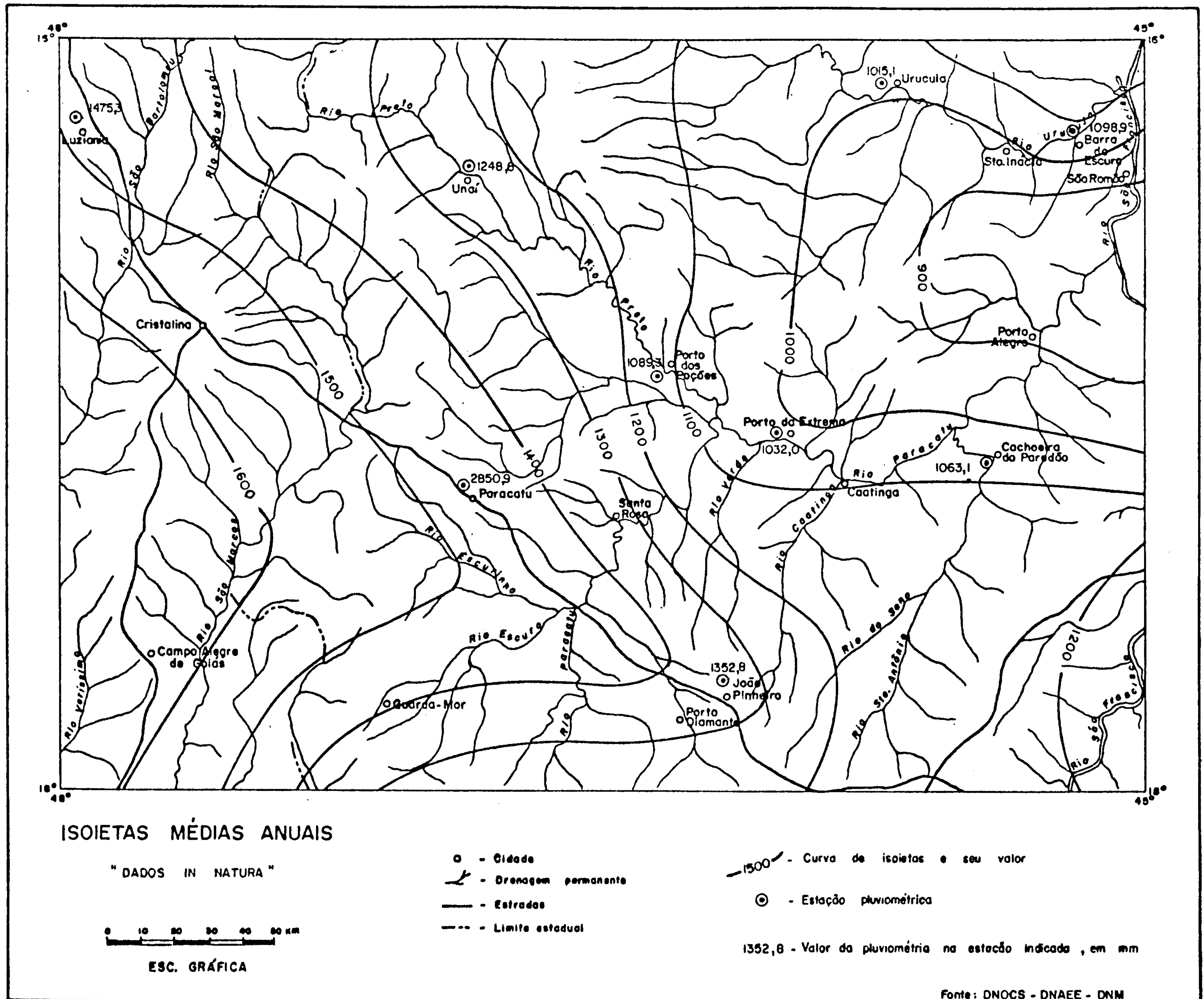


Fig.4.2

tencentes ao Ministério da Agricultura são completas e co
brem longos períodos de observação. As 8 restantes perten
cem ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. As
estações de Cachoeira do Paredão e Santo Inácio são as que
apresentam períodos mais curtos de observação (8 anos). As
estações de Urucuaia, Unai, Porto da Extrema e Porto Alegre
cobrem períodos de 9 anos e as demais estão em funcionamento
por períodos mais longos, que variam de 20 a 48 anos.

O período estival, em geral, abrange um total
de 5 meses secos, com exceção das áreas que sofrem influên
cias climáticas da região de Paracatu, as quais apresentam
somente 4 meses secos. Conforme indica o mapa de isoietas
(fig. 4.2), a pluviometria cresce de ENE (900 mm) para WSW
até atingir, no meridiano de 48° WGr, valores situados en
tre 1.600 a 1.700 mm, com uma importante anomalia em áreas
do município de Paracatu. A precipitação média anual em
Paracatu, atingiu, por exemplo, no período de 1931 a 1960
valor da ordem de 2.850,9 mm.

O quadro 4.1 apresenta os valores de precipitaç
ção pluviométrica, indicados também em gráficos (figs.
4.3 e 4.4), obtidos das principais estações climatológicas,
que servirão para se estabelecer, juntamente com outros pa
râmetros, uma definição climática da área.

A precipitação média anual, calculada pelo
método de Thyessen, atinge um valor de 1.220 mm.

4.2.2 Temperatura

O reduzido número de estações dificulta a ela
boração de um mapa de isothermas. Não obstante, os dados das
seis estações climatológicas pertencentes ao Ministério da

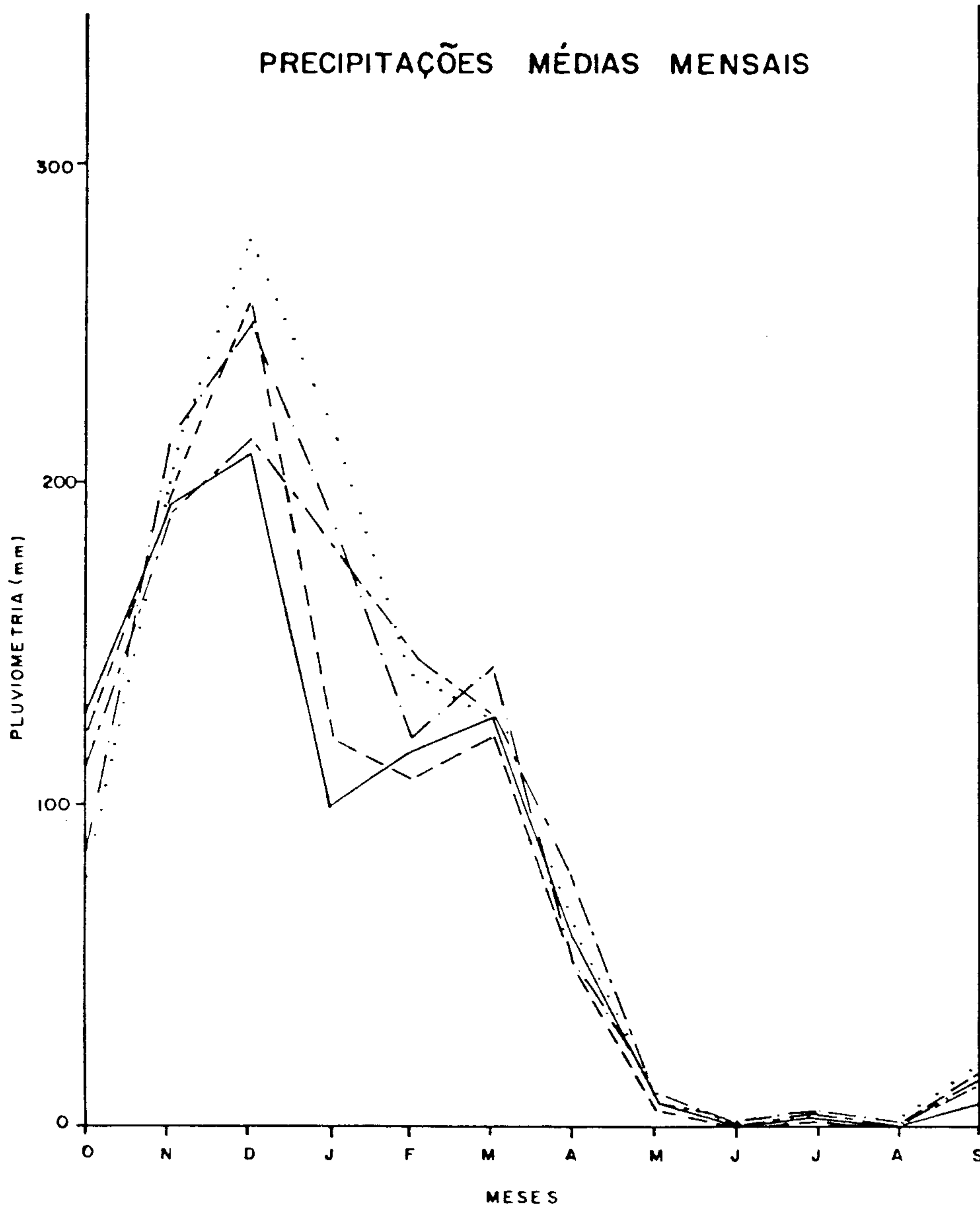
PLUVIOMETRIA (mm)

ESTAÇÃO	M E S E S												NÚMERO DE DIAS DE CHUVA NO ANO	PERÍODO	
	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.			TOTAL
Barra do Escuro	83,6	213,8	252,2	190,9	122,4	149,6	52,5	11,0	2,1	5,0	0,6	15,2	1098,9	79	1956-1975
Cachoeira do Paredão	137,6	247,8	187,0	127,7	113,4	124,1	64,0	18,6	6,8	6,6	2,1	27,4	1063,1	88	1968-1975
Catalão	142,5	239,7	341,1	314,7	234,1	229,0	82,0	27,6	8,7	5,0	3,8	36,5	1664,7	-	1931-1960
João Pinheiro	124,4	207,7	292,5	210,5	190,2	180,7	76,5	28,3	19,0	1,4	0,0	21,3	1352,5	94	1949-1957
Luziânia	129,9	215,4	316,5	228,1	200,9	229,1	96,3	16,1	6,7	4,4	4,7	27,2	1475,3	-	1931-1960
Paracatu	195,7	438,2	658,2	502,0	439,5	328,5	171,4	32,4	25,9	3,1	4,3	51,7	2850,9	-	1931-1960
Pirapora	75,1	201,8	277,8	220,3	143,1	127,3	62,6	11,0	3,1	3,0	1,3	19,0	1145,5	-	1931-1960
Porto Alegre	130,2	195,0	210,6	100,7	117,6	128,6	58,4	7,8	1,4	4,3	0,2	8,8	963,6	82	1967-1975
Porto Extrema	119,8	194,1	213,9	129,6	139,2	129,1	74,1	10,8	7,0	3,5	0,3	10,6	1032,0	65	1967-1975
Porto dos Poções	113,6	192,1	215,8	182,8	149,8	129,3	75,7	7,3	4,0	4,6	1,2	13,1	1089,3	72	1965-1975
Santo Inácio	123,9	275,2	182,6	112,2	134,6	118,1	79,4	10,6	0,0	2,8	2,4	13,0	1054,8	80	1968-1975
São Francisco	91,4	209,0	254,8	216,9	170,2	140,1	65,4	19,8	5,2	2,3	6,0	20,5	1201,6	80	1967-1976
Unaí (Rio Preto)	159,4	232,5	234,5	157,9	161,6	155,0	99,7	8,8	5,8	2,8	3,4	27,4	1248,8	80	1967-1975
Urucuaia	124,5	197,0	258,0	122,7	109,2	123,4	50,4	7,2	0,6	1,9	1,6	18,6	1015,1	73	1967-1975
Quixeramobim (CE)	2,3	5,8	20,8	66,8	107,8	187,8	168,8	110,8	54,0	25,6	9,1	3,3	763,0	95	1911-1942
Cruzeta (RN)	5,6	1,1	11,1	38,6	77,6	129,3	98,0	56,8	36,6	7,4	1,9	0,8	464,8	45	1930-1942

Fonte: DNAEE e SNM

QUADRO: 4.1

PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS



ESTAÇÃO	PERÍODO
— Porto Alegre	DNAEE 1967 - 1975
- - Urucua	DNAEE 1967 - 1975
- · - Porto das Poções	DNAEE 1965 - 1975
- - - Barra do Escuro	DNAEE 1956 - 1975
· · · Pirapora	M A 1931 - 1960

Fig. 4.3

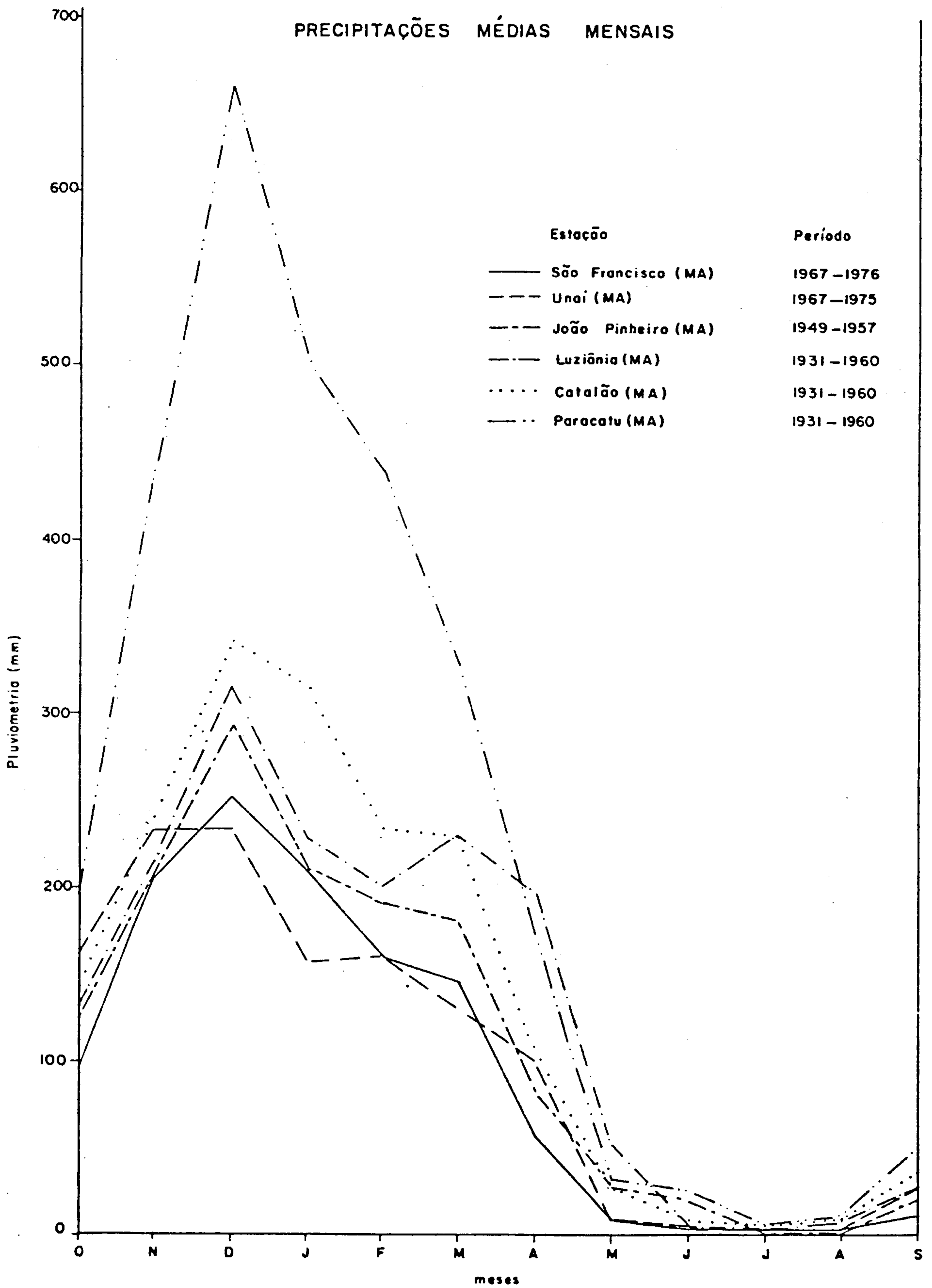


Fig. 4.4

Agricultura foram manipulados para os cálculos da evapotranspiração potencial e evapotranspiração real em diversas regiões da área..

As características térmicas podem ser resumidas no seguinte:

- a) A amplitude térmica varia de $0,2^{\circ}\text{C}$ (Catalão) a $39,8^{\circ}\text{C}$ (João Pinheiro e São Francisco). Todavia, segundo informações da população, já ocorreram temperaturas negativas na cidade de Cristalina.
- b) A temperatura média anual oscila de $20,9^{\circ}\text{C}$ (Luziânia) a $23,9^{\circ}\text{C}$ (João Pinheiro).
- c) Ao trimestre mais frio correspondem os períodos maio-julho ou junho-agosto.
- d) Ao trimestre mais quente correspondem os períodos setembro-novembro ou outubro-dezembro.
- e) A queda de temperatura a partir do seu valor máximo coincide com o início do ano hidrológico.
- f) Os valores de temperatura média anual decrescem da porção oriental para a porção ocidental da área.

O quadro 4.2 apresenta os valores médios de temperatura e a figura 4.5 seu comportamento através de gráficos.

4.2.3 Insolação, Umidade Relativa e Ventos.

A insolação é definida como o número de horas

TEMPERATURA (° C)

ESTAÇÃO	M E S E S												MÉDIA ANUAL	MÍNIMA ABSOLUTA	MÁXIMA ABSOLUTA	PERÍODO
	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.				
CATALÃO	23,0	22,6	22,1	22,3	22,6	22,3	21,4	19,8	18,8	18,7	20,9	22,7	21,4	0,2 (Jun)	36,1(Out)	1931-1960
JOÃO PINHEIRO	25,8	24,7	24,2	24,8	24,6	25,0	23,8	22,7	21,5	21,7	22,8	25,4	23,9	2,4 (Jul)	39,8(Out)	1949-1957
LUZIÂNIA	22,3	21,9	21,6	21,9	22,0	21,7	21,1	19,4	18,3	18,1	20,0	22,1	20,9	2,7 (Jun)	38,8(Ago)	1931-1960
PARACATU	24,2	23,4	22,9	23,6	23,4	23,3	22,4	20,1	18,7	18,8	20,8	23,2	22,0	2,5 (Jun)	39,2(Nov)	1931-1960
PARACATU	24,2	23,6	23,2	23,5	23,6	23,6	23,0	21,0	19,5	18,9	21,4	23,5	22,4	0,5 (Jul)	38,0(Nov)	1919-1939
PIRAPORA	25,3	24,9	24,4	24,7	24,9	24,7	23,5	21,3	19,9	19,7	21,5	24,1	23,2	5,4 (Jul)	39,6(Out)	1931-1960
PIRAPORA	25,5	24,9	24,5	24,9	24,9	24,7	23,8	21,8	20,0	19,5	21,6	24,4	23,4	3,0 (Jul)	39,6(Out)	1915-1939
SÃO FRANCISCO	25,7	24,6	24,2	24,1	24,4	24,1	23,3	21,6	19,8	20,0	21,7	24,2	23,1	3,8 (Jun)	39,8(Out)	1931-1960
SÃO FRANCISCO	25,0	24,3	23,8	23,8	23,8	24,0	23,3	21,5	20,0	19,7	21,4	23,4	22,8	3,0 (Jul)	39,8(Nov)	1913-1937
QUIXERAMOBIM (CE)	28,4	28,5	28,8	28,6	27,8	27,1	26,8	26,5	26,2	26,4	27,3	28,0	27,5	18,4 (Mai/Jun)	36,7(Jan)	1911-1942
CRUZETA (RN)	28,0	28,4	28,6	28,5	28,1	27,6	27,3	26,9	26,0	25,8	26,2	27,3	27,4	17,0 (Jul)	39,0(Jan)	1930-1942

Fonte: SNM - MA

QUADRO: 4.2

INSOLAÇÃO (h)

ESTAÇÃO	M E S E S													TOTAL (h)	PERÍODO
	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.			
CATALÃO	205,3	181,0	159,9	183,2	171,4	207,1	236,4	264,1	268,2	284,2	288,2	226,5	2675,5	1931-1960	
PARACATU	128,8	82,3	60,8	74,6	65,9	69,0	71,9	80,2	87,1	106,1	136,3	139,5	1102,5	1931-1960	
PIRAPORA	197,2	181,0	154,2	195,1	197,9	213,8	231,8	269,5	261,4	274,1	290,1	221,4	2687,5	1931-1960	
QUIXERAMOBIM (CE)	280,0	261,5	251,7	229,2	189,3	200,6	220,3	225,0	231,4	261,7	286,3	277,1	2893,8	1911-1942	
CRUZETA (RN)	298,3	281,5	286,7	246,8	216,0	241,5	241,2	234,8	226,5	243,6	275,3	280,1	3072,3	1930-1942	

Fonte: SNM - MA

QUADRO: 4.3

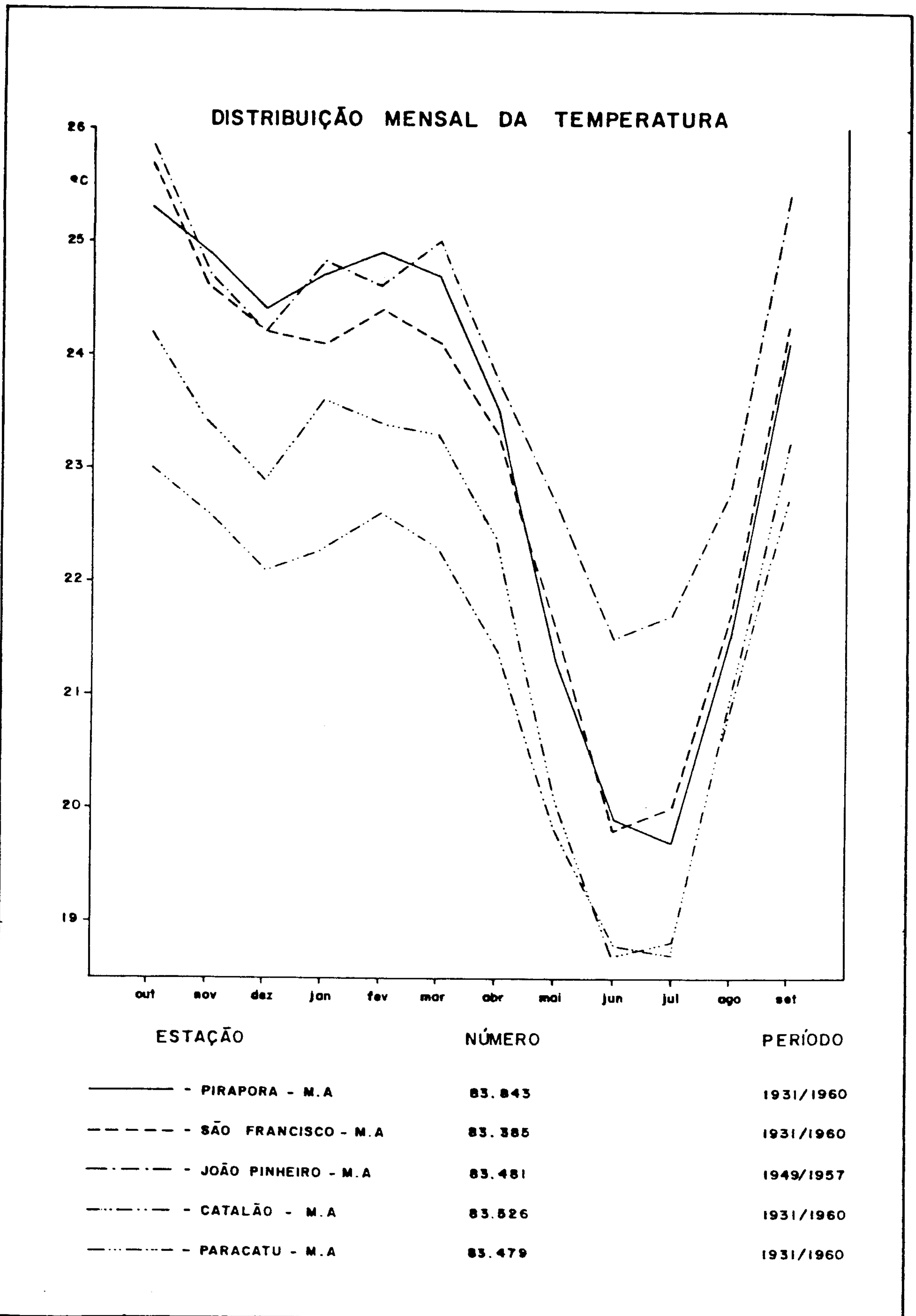


Fig. 4.5

em que o heliógrafo está exposto aos raios do sol ao longo do ano. Foi observada apenas nas estações de Paracatu, Catalão e Pirapora, pertencentes ao Ministério da Agricultura.

Analisando os resultados obtidos nas estações mencionadas para o período de 1931-1960, verifica-se que os valores mínimos foram registrados em Paracatu que apresenta um total de 1.102,5 h/ano, e os máximos em Pirapora com um total de 2.687,5 h/ano.

O quadro 4.3 indica os valores de insolação, representados também em gráfico (fig. 4.6), obtidos nas estações de Paracatu, Catalão e Pirapora.

A média anual de umidade relativa, no âmbito da folha, oscila entre 63,5 e 74% com amplitude de 38,34%, tendo sido o valor mínimo (45,5%) registrado na estação de João Pinheiro, no mês de setembro, e o valor máximo (83,8%) correspondente a estação de Luziânia, registrado no mês de dezembro.

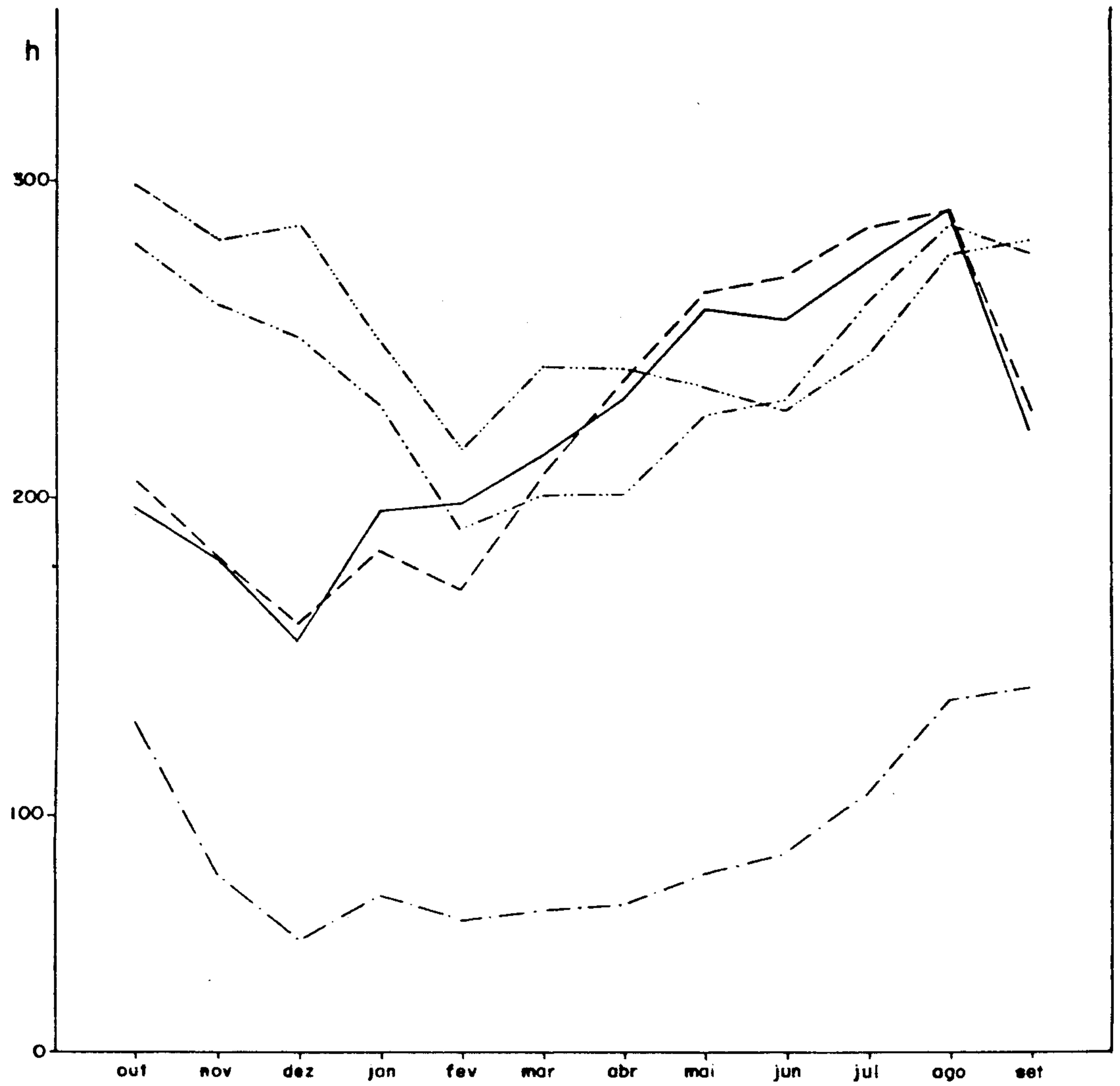
No quadro 4.4 está exposta a distribuição mensal de umidade relativa, para diversos períodos em diversas estações. Estes valores estão representados também através de gráfico na figura 4.7.

Os ventos se deslocam, em geral, para NE, podendo apresentar algumas variações para E ou W nos meses de novembro-dezembro e junho-julho. Entretanto, no município de São Francisco a direção predominante é E, podendo variar para NE nos meses de novembro e dezembro.

4.2.4 Evaporação e Evapotranspiração

No que concerne a evaporação, apenas as estações climatológicas de Paracatu, Catalão e Pirapora apresentam interesse ao presente estudo. Das três estações, a

DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA INSOLAÇÃO



ESTAÇÃO	NÚMERO	PERÍODO
— — — — — PIRAPORA - M.A	83.483	1931/1960
- - - - - CATALÃO - M.A	83.526	1931/1960
- · - · - PARACATU - M.A	83.479	1931/1960
- · · · · QUIXERAMOBIM - M.A	82.586	1911/1942
- · - · - CRUZETA - M.A	82.693	1930/1942

Fig. 4.6

UMIDADE RELATIVA (%)

ESTAÇÃO	M E S E S												MÉDIA ANUAL	PERÍODO
	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.		
CATALÃO	64,2	74,7	81,0	79,5	79,0	78,4	75,1	69,8	64,5	58,3	48,9	51,3	68,7	1931-1960
JOÃO PINHEIRO	57,2	69,1	75,7	70,5	74,1	70,4	69,3	64,5	62,2	54,9	48,6	45,5	63,5	1949-1957
LUZIÂNIA	69,1	79,3	83,8	80,7	80,6	82,1	78,7	75,5	69,1	63,5	56,0	57,9	73,0	1931-1960
PARACATU	68,0	75,4	81,1	75,8	76,5	76,5	74,2	71,8	71,6	69,2	64,9	64,8	72,5	1931-1960
PIRAPORA	64,0	74,4	79,2	78,4	78,1	78,0	76,9	74,4	71,9	68,8	60,6	57,9	71,9	1931-1960
SÃO FRANCISCO	64,0	76,4	81,9	81,5	80,8	82,2	79,6	76,5	73,6	69,2	62,2	59,8	74,0	1931-1960
QUIXERAMOBIM	153,5	54,5	55,3	58,8	64,6	70,1	72,7	71,2	67,4	61,0	55,9	54,5	61,6	1911-1942
CRUZETA	55,1	54,6	56,6	60,6	64,9	68,8	70,1	67,0	66,1	61,9	58,9	55,7	61,7	1930-1942

Fonte: SNM - MA

QUADRO : 4.4

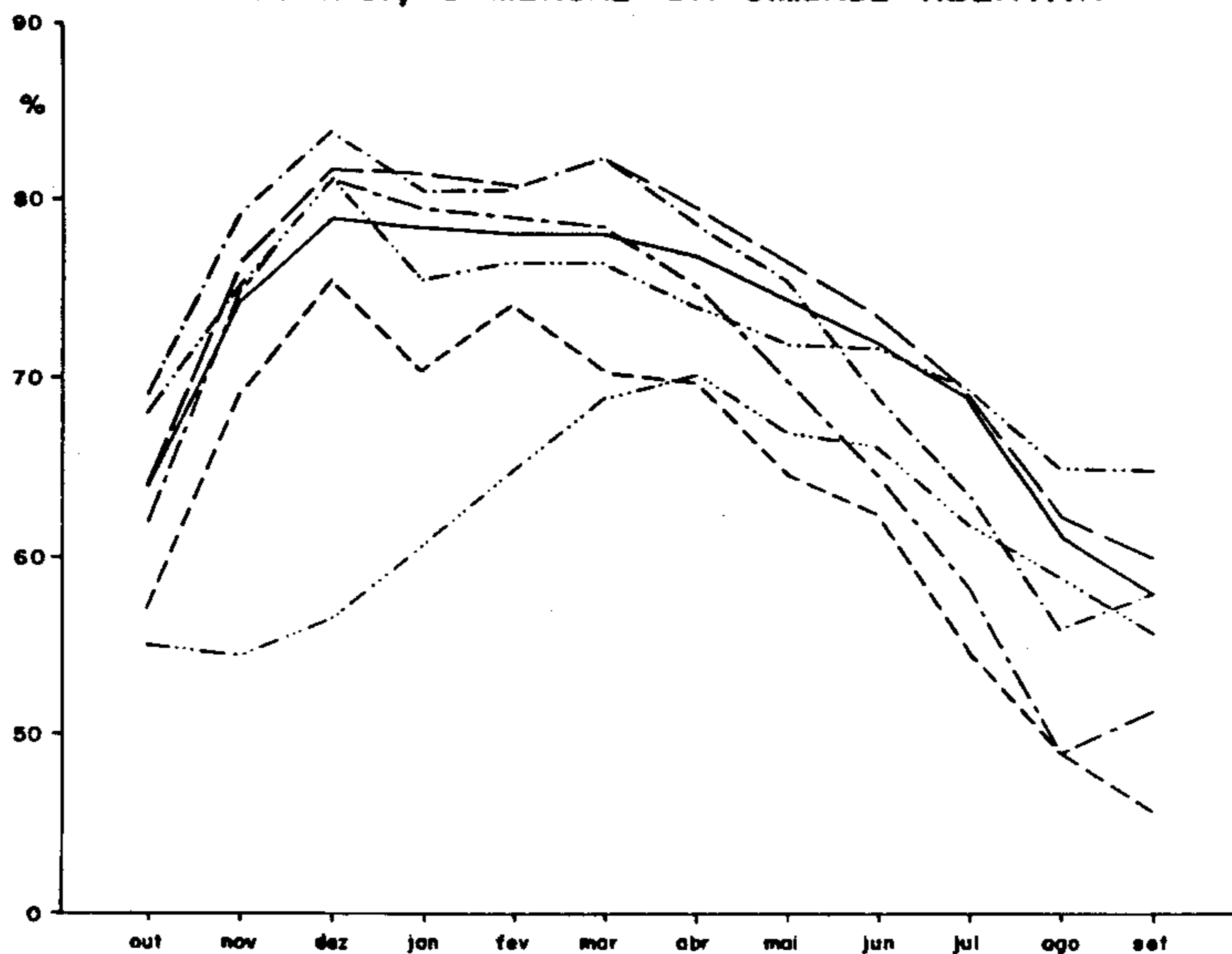
EVAPORAÇÃO (mm)

ESTAÇÃO	M E S E S												TOTAL (mm)	PERÍODO
	OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.		
CATALÃO	119,3	76,8	57,0	61,5	57,4	63,3	69,0	85,0	96,4	120,1	159,4	157,8	1123,0	1931-1960
PARACATU	128,8	82,3	60,8	74,6	65,9	69,0	71,9	80,2	87,1	106,1	136,3	139,5	1102,5	1931-1960
PIRAPORA	146,6	91,8	67,3	72,1	68,1	73,6	73,4	75,5	85,1	108,9	142,5	155,0	1159,9	1931-1960
QUIXERAMOBIM	173,8	169,7	165,5	141,7	99,9	84,6	74,2	78,9	90,3	122,1	150,8	161,9	1513,4	1911-1942

Fonte: SNM - MA

QUADRO: 4.5

DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA UMIDADE RELATIVA



ESTAÇÃO	NÚMERO	PERÍODO
— PIRAPORA - M.A	83.483	1931/1960
- - SÃO FRANCISCO - M.A	83.385	1931/1960
- . - JOÃO PINHEIRO - M.A	83.481	1949/1957
- - - CATALÃO - M.A	83.526	1931/1960
- . - LUZIANIA - M.A	83.427	1931/1960
- . . PARACATU - M.A	83.479	1931/1960
- . . . CRUZETA - M.A	82.693	1930/1942

FIG. 4.7

de Pirapora apresenta maiores valores de evaporação, com uma média de 1.159,9 mm, e na de Paracatu foram registrados os menores valores, com uma média de 1.102,5 mm. No quadro 4.5 indicamos os valores da evaporação, também representados em gráfico (fig. 4.8), obtidos nas estações retromencionadas.

No que tange a evapotranspiração potencial, para a obtenção de seus valores mensais foi usado o método gráfico Thornthwaite desenvolvido por Palmer e Havens.

A evapotranspiração potencial anual na área atinge um valor médio da ordem de 1.357,3 mm, com valor mínimo de 1.240 mm (Luziânia) e máximo de 1.473 mm (João Pinheiro).

A evapotranspiração real determinada pelo balanço hídrico é em média de 1.002,8 mm, com um mínimo de 943,4 mm (Luziânia) e um máximo de 1.081,4 mm (Paracatu). Segundo os resultados determinados pela fórmula de Turc, a média de evapotranspiração real anual na área situa-se em torno de 1.070,3 mm, com um mínimo médio de 938,9 mm (Pirapora) e um valor máximo médio de 1.255,9 mm, referente a região de Paracatu.

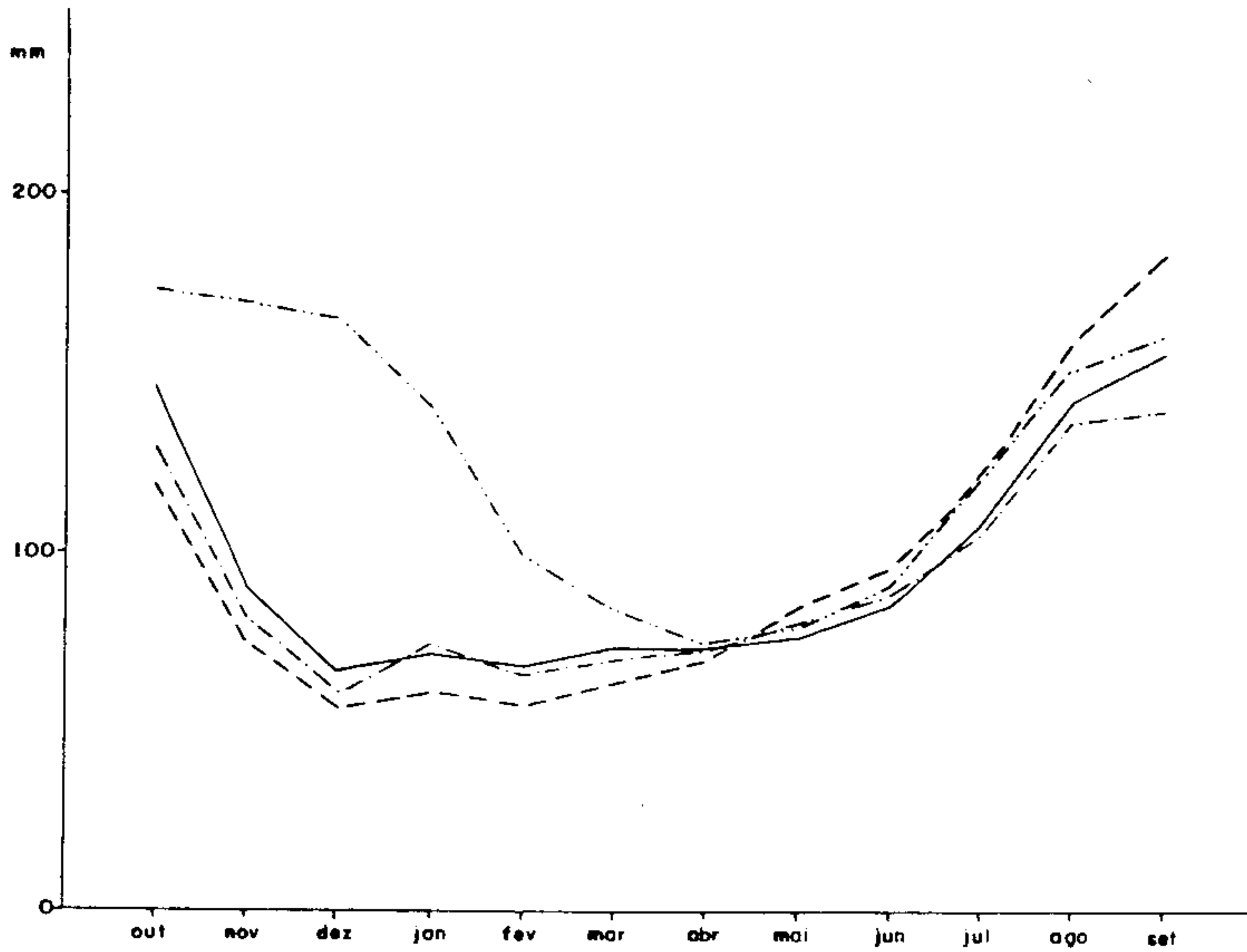
4.2.5 Tipos de Clima

Segundo a classificação de Koeppen, predomina na área da folha Belo Horizonte-NO, o tipo climático Aw (subtropical quente e úmido).

O clima Cwa (tropical de altitude) ocorre em pequena área no canto noroeste da folha (fig.4.9), em parte do município de Luziânia.

De acordo com a classificação bioclimática de Gaussen, ocorrem os tipos climáticos 4cTh ou Termo-xeroquimê

DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA EVAPORAÇÃO



ESTAÇÃO	NÚMERO	PERÍODO
— PIRAPORA - M.A	83.483	1931/1960
- - CATALÃO - M.A	83.526	1931/1960
- . - PARACATU - M.A	83.479	1931/1960
. . . QUIXERAMOBIM - M.A	82.586	1911/1942

Fig.4.8

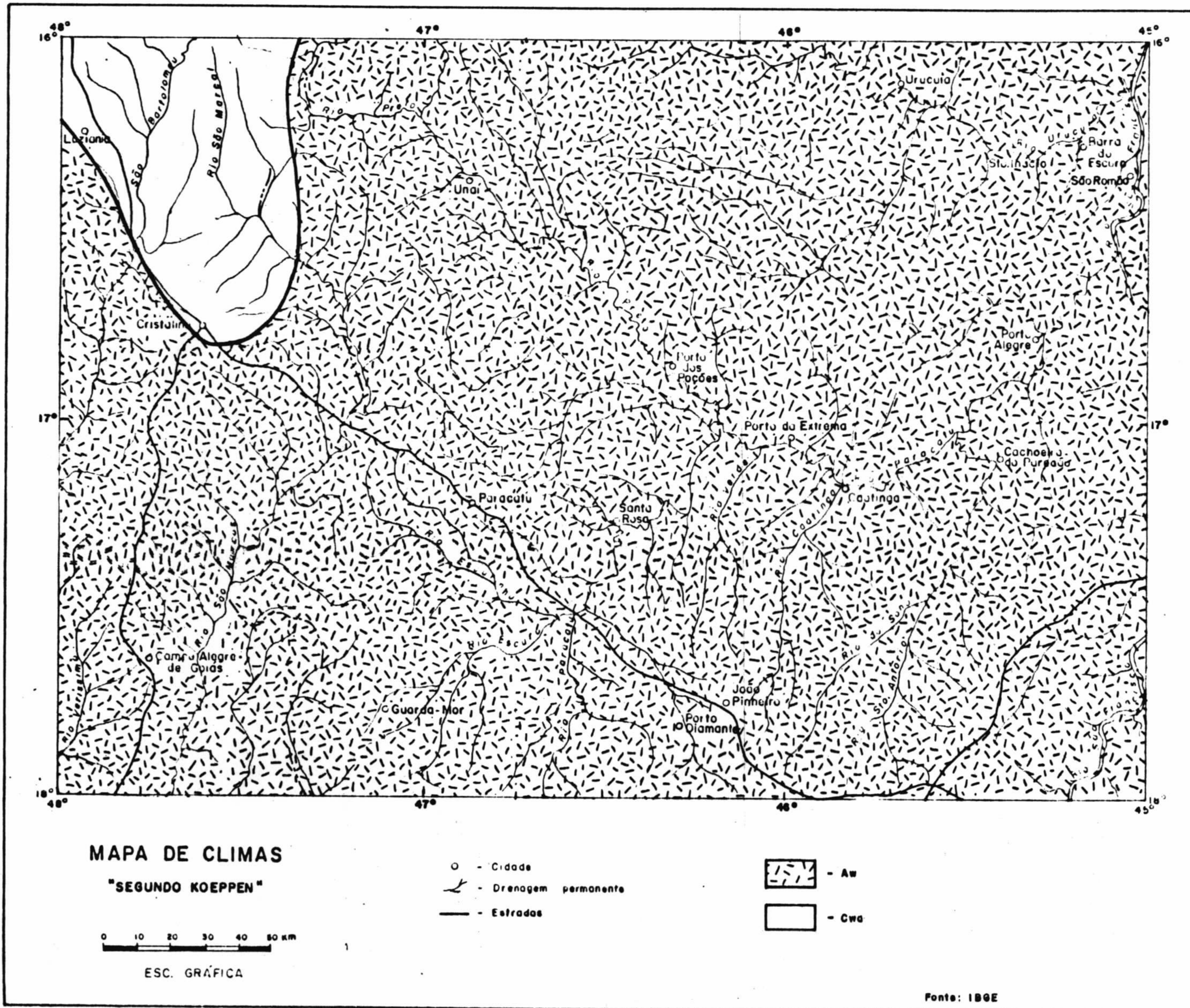


Fig. 4.9

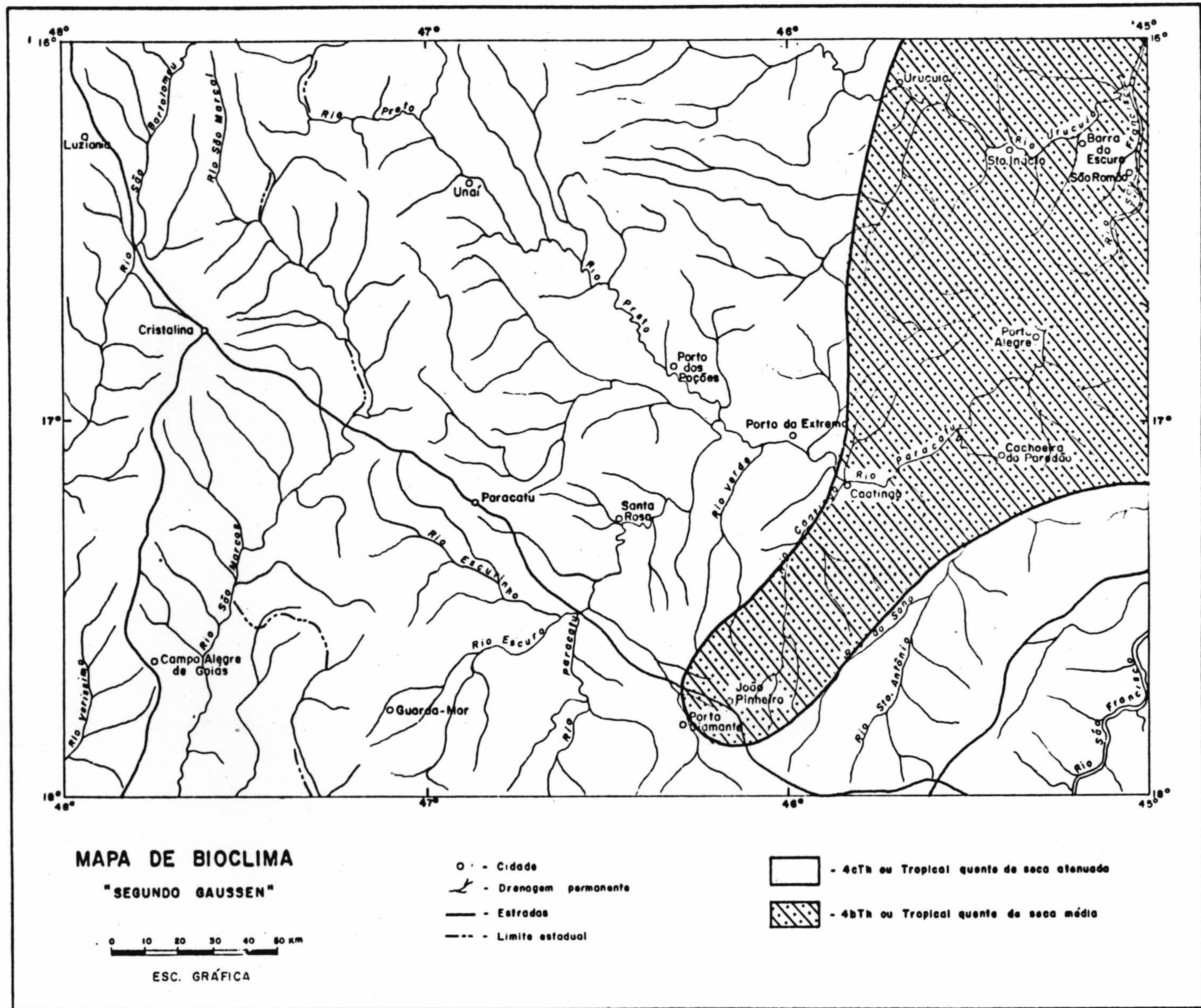


Fig. 4.10

nico médio, em caráter predominante e o 4bTh em áreas dos municípios de João Pinheiro, Buritizeiro, Bonfinópolis de Minas, Santa Fé de Minas, Unaí, Arinos e São Francisco (fig. 4.10).

4.2.6 Balanço Hídrico

De posse dos dados de precipitação e evaporação e transpiração potencial, pode-se elaborar o balanço hídrico para algumas regiões, a partir da expressão:

$$P = ETR + Ex + R \text{ onde:}$$

$$P = \text{Precipitação (mm)}$$

$$ETR = \text{Evapotranspiração real (mm)}$$

$$Ex = \text{Excedente de água (mm)}$$

$$R = \text{Variação das reservas do solo (mm) na condição de ETR menor ou igual que ETP.}$$

Através do balanço hídrico foram determinados valores de excesso e déficit das reservas de água do solo, para as regiões de São Francisco, Pirapora, João Pinheiro, Luziânia, Catalão e Paracatu (Quadro 4.6 e 4.7 e figs. 4.11 a 4.13) que podem ser resumidos no seguinte:

Nas regiões de São Francisco, Pirapora e João Pinheiro, registram-se valores de déficit nas reservas de água do solo no período de maio-outubro, correspondentes a 449,4 , 434,7 e 412,5 mm, respectivamente. Ainda para estas regiões foram determinados valores de excesso de água correspondentes a 246 e 292,3 mm no período de

BALANÇO HÍDRICO

REGIÃO IND.	SÃO FRANCISCO					PIRAPORA					JOÃO PINHEIRO				
	MESES	P.	ETP.	ETR.	D.	E.	P.	ETP.	ETR.	D.	E.	P.	ETP.	ETR.	D.
OUTUBRO	91,4	142,0	91,4	50,6	-	75,1	138,0	138,0	-	-	124,4	143,0	143,0	-	-
NOVEMBRO	209,0	133,0	133,0	-	-	201,9	135,0	135,0	-	-	207,7	144,0	144,0	-	-
DEZEMBRO	254,8	134,0	134,0	-	97,8	277,8	138,0	138,0	-	53,8	292,5	134,0	134,0	-	103,9
JANEIRO	216,9	134,0	134,0	-	82,9	220,3	138,0	138,0	-	82,3	210,5	139,0	139,0	-	71,5
FEVEREIRO	170,2	120,0	120,0	-	50,2	143,1	124,0	124,0	-	19,1	190,2	122,0	122,0	-	68,2
MARÇO	140,1	125,0	125,0	-	15,1	127,3	130,0	130,0	-	-	180,7	132,0	132,0	-	48,7
ABRIL	65,4	113,0	113,0	-	-	62,6	114,0	114,0	-	-	76,5	117,0	117,0	-	-
MAIO	19,8	102,0	71,2	30,8	-	11,0	100,0	46,9	53,1	-	28,3	106,0	87,8	18,2	-
JUNHO	5,2	87,0	5,2	81,8	-	3,1	86,0	3,1	82,9	-	19,0	95,0	19,0	76,0	-
JULHO	2,3	91,0	2,3	88,7	-	3,0	98,0	3,0	95,0	-	1,4	101,0	1,4	99,6	-
AGOSTO	6,0	105,0	6,0	99,0	-	1,3	104,0	1,3	102,7	-	0,0	112,0	0,0	112,0	-
SETEMBRO	20,5	119,0	20,5	98,5	-	19,0	120,0	19,0	101,0	-	21,3	128,0	21,3	106,7	-
ANO	1201,6	1405,0	955,6	449,4	246,0	1145,5	1425,0	990,3	434,7	155,2	1352,8	1473,0	1060,5	412,5	292,3

QUADRO : 4.6

BALANÇO HÍDRICO

REGIÃO IND. MESES	LUZIÂNIA					CATALÃO					PARACATU				
	P.	ETP.	ETR.	D.	E	P.	ETP.	ETR.	D.	E.	P.	ETP.	ETR.	D.	E
OUTUBRO	129,9	116,0	110,0	-	-	142,5	123,0	123,0	-	-	195,7	114,0	114,0	-	-
NOVEMBRO	215,4	124,0	124,0	-	5,3	239,7	118,0	118,0	-	41,2	438,2	129,0	129,0	-	290,9
DEZEMBRO	316,5	117,0	117,0	-	199,5	341,1	123,0	123,0	-	218,1	658,2	127,0	127,0	-	531,2
JANEIRO	228,1	115,0	115,0	-	113,1	314,7	134,0	134,0	-	180,7	502,0	127,0	127,0	-	375,0
FEVEREIRO	200,9	104,0	104,0	-	96,9	234,1	109,0	109,0	-	125,1	439,5	130,0	130,0	-	309,5
MARÇO	229,1	112,0	112,0	-	117,1	229,0	115,0	115,0	-	114,0	328,5	116,0	116,0	-	212,5
ABRIL	96,3	98,0	98,0	-	-	82,0	100,0	100,0	-	-	171,4	121,0	121,0	-	50,4
MAIO	16,1	87,0	87,0	-	-	27,6	88,0	88,0	-	-	32,4	106,0	106,0	-	-
JUNHO	6,7	87,0	34,1	52,9	-	8,7	78,0	30,3	47,7	-	25,9	91,0	52,3	38,7	-
JULHO	4,4	79,0	4,4	74,6	-	5,0	82,0	5,0	77,0	-	3,1	78,0	3,1	74,9	-
AGOSTO	4,7	94,0	4,7	89,3	-	3,8	98,0	3,8	94,2	-	4,3	83,0	4,3	78,7	-
SETEMBRO	27,2	107,0	27,2	79,8	-	36,5	112,0	36,5	75,5	-	51,7	99,0	99,0	47,3	-
ANO	1475,3	1240,0	943,4	296,6	531,9	1664,7	1280,0	985,6	294,4	679,1	2850,9	1321,0	1081,4	239,6	1769,5

QUADRO : 4.7

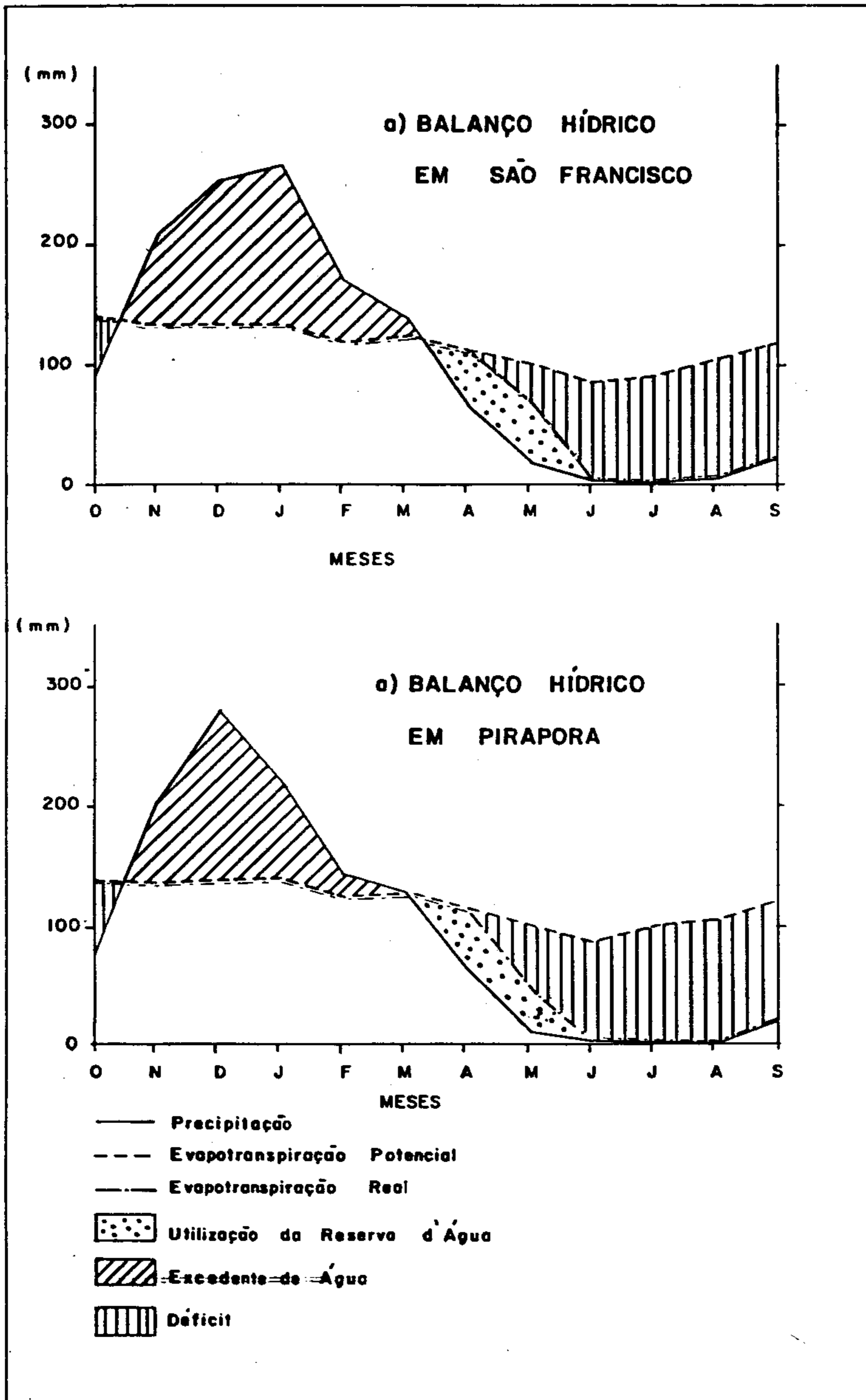


Fig.4.II

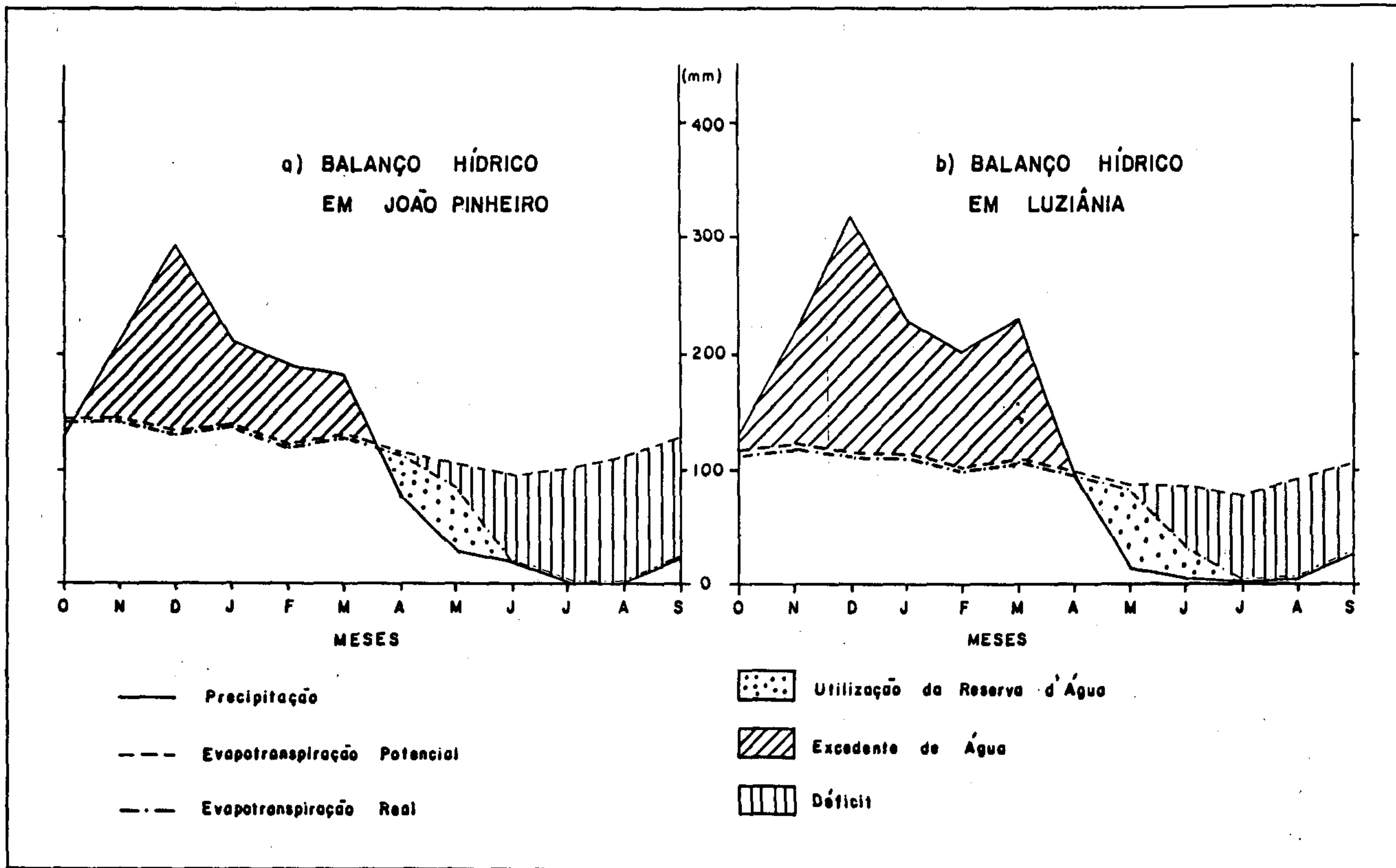


Fig. 4.12

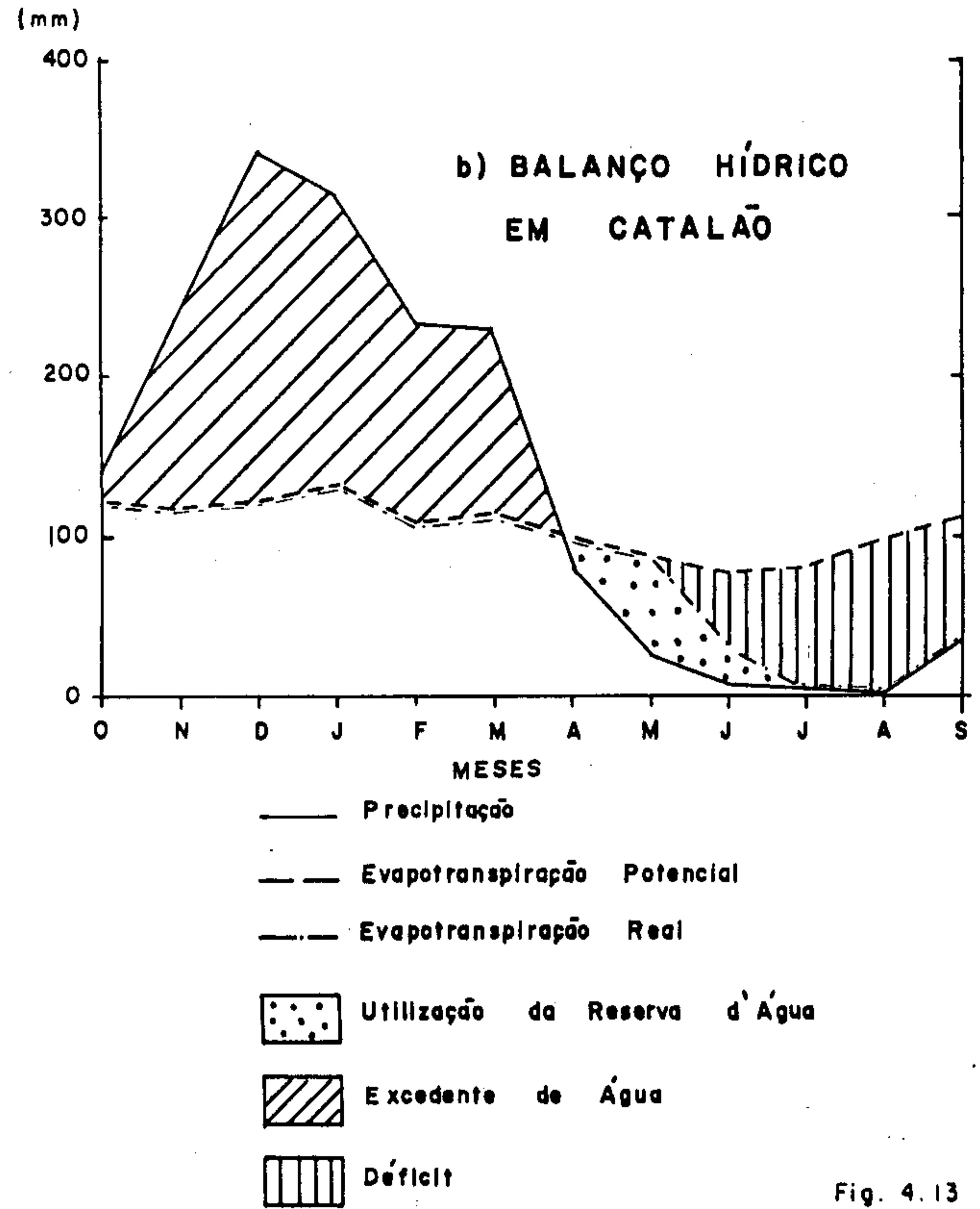
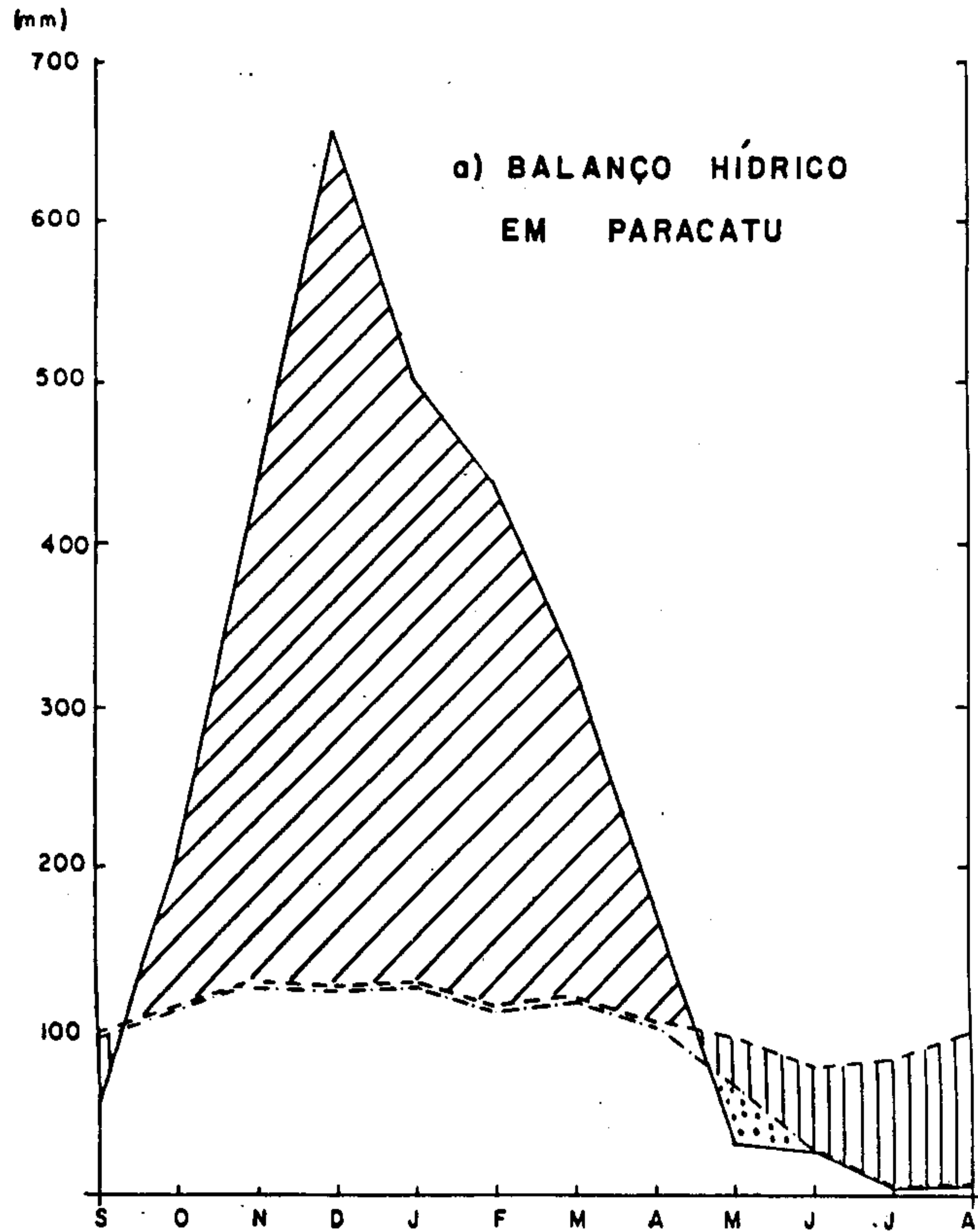


Fig. 4.13

dezembro-março para as regiões de São Francisco e João Pinheiro e de 155,2 mm de dezembro-fevereiro para a região de Pirapora.

Nas regiões de Luziânia, Catalão e Paracatu registram-se na reserva de água do solo valores de déficit de 296,6 , 294,4 e 239,6 mm, no período junho-setembro, e excessos de 531,9 , 679,1 e 1.769,5 mm no período de novembro a abril, respectivamente.

4.3 Elementos de Hidrologia de Superfície

Trata o presente, de considerações sobre o escoamento das águas de superfície, visando, mais adiante, estabelecer uma relação entre estas e as águas subterrâneas.

4.3.1 Escoamento Superficial

Os cursos d'água da região integram-se nas bacias dos rios São Francisco (51.976 km^2) e Paranaíba (19.224 km^2).

Na bacia do São Francisco destacam-se no âmbito da área, duas sub-bacias principais, ou sejam, Paracatu (36.700 km^2) e Urucuia (10.250 km^2). Por sua vez, na sub-bacia Paracatu destacam-se as micro-bacias dos rios Preto, Sono, Caatinga e Prata (fig. 4.14).

Das estações fluviométricas existentes somente os dados de 05 foram aproveitados, sendo 03 situadas na sub-bacia do rio Paracatu, nas localidades de Caatinga, Porto Alegre e Santa Rosa, 01 na sub-bacia do rio Preto, em Porto de Poções, e a outra em Barra do Escuro na sub-bacia do Urucuia. Conforme indicam o quadro 4.8 e fig. 4.15,

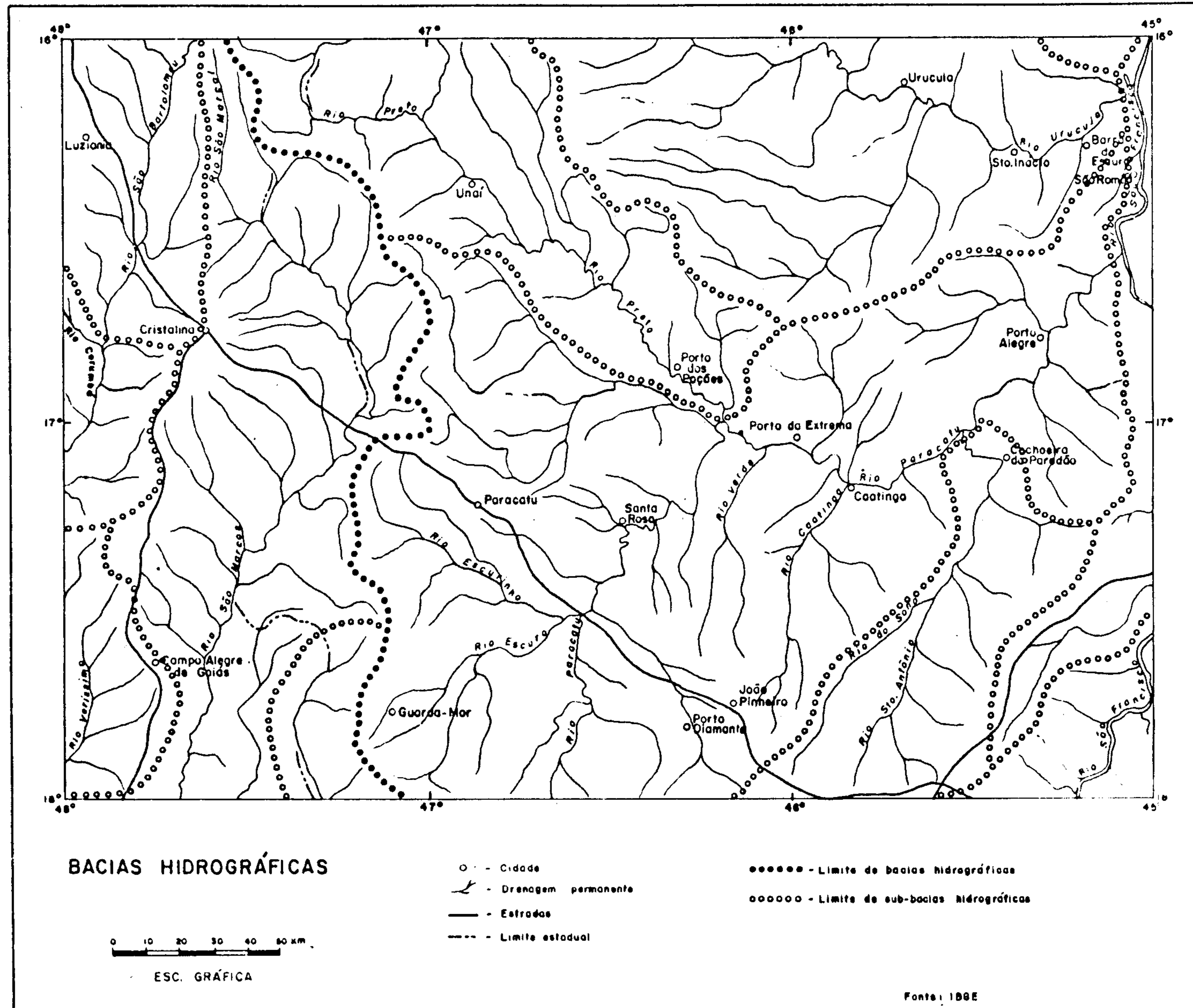


Fig. 4.14

DESCARGAS (m³/s) NA BACIA DO SÃO FRANCISCO

ESTAÇÃO	LOCAL	SUB-BACIA	M E S E S											
			OUT.	NOV.	DEZ.	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.
42395000	SANTA ROSA	PARACATU	72,2	167,3	224,1	233,7	212,2	226,4	153,4	80,2	60,7	51,1	42,5	37,9
42750000	CAATINGA	PARACATU	143,0	354,5	479,2	610,0	543,5	500,4	333,5	188,8	137,4	113,1	90,3	76,0
42980000	PORTO ALEGRE	PARACATU	248,7	556,6	947,6	1.098,9	929,0	1.041,0	675,3	394,0	289,4	230,7	192,6	163,0
42600000	PORTO DOS POÇÕES	PRETO	56,7	136,4	165,0	172,2	166,3	163,8	122,4	71,1	54,0	44,9	36,3	31,0
43980000	BARRA DO ESCURO	URUCUIA	112,8	277,0	425,0	539,6	454,1	476,1	305,6	155,0	103,1	83,0	65,0	55,7

Fonte: DNIAEE

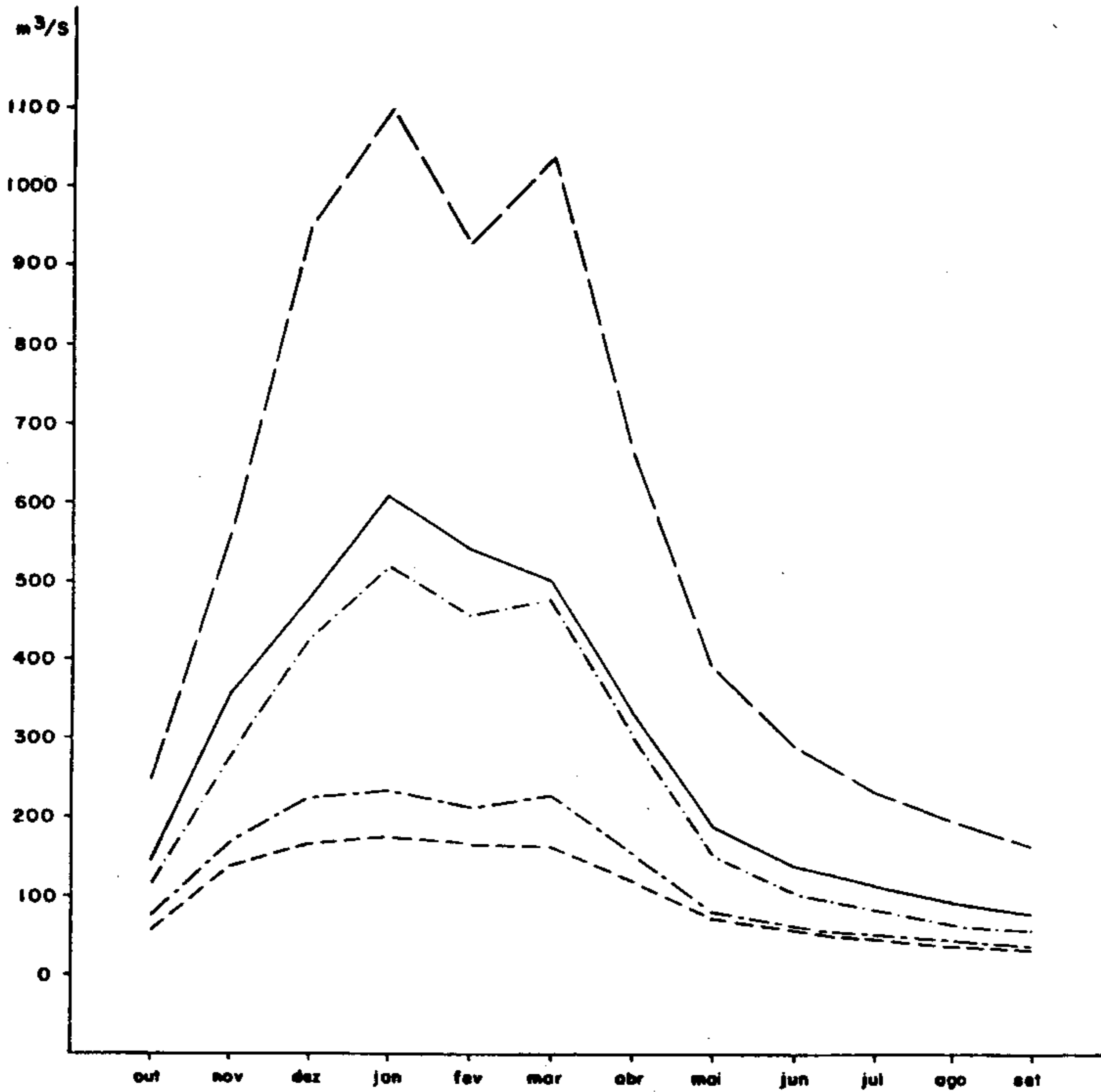
QUADRO: 4.8

ESTAÇÃO		SUB-BACIA	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	DEFLÚVIO MÁXIMO MÉDIO (l/s.km ²)	DEFLÚVIO MÍNIMO MÉDIO (l/s.km ²)	DEFLÚVIO MÁXIMO ABSOLUTO (l/s.km ²)	DEFLÚVIO MÍNIMO ABSOLUTO (l/s.km ²)
LOCAL	NÚMERO						
SANTA ROSA	42395000	PARACATU	12.915	40,69	2,44	56,60	1,59
CAATINGA	42750000	PARACATU	31.943	47,74	1,91	61,33	1,16
PORTO ALEGRE	42980000	PARACATU	42.563	61,12	1,58	89,94	1,15
PORTO DOS POÇÕES	42600000	PRETO	9.959	52,96	2,59	57,94	1,42
BARRA DO ESCURO	43980000	URUCUIA	24.658	48,54	1,69	71,70	0,92

Fonte: DNIAEE

QUADRO: 4.9

**DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS EM SUB-BACIAS
DO SISTEMA SÃO FRANCISCO**



ESTAÇÃO	NÚMERO	SUB-BACIA
— — — — — CAATINGA - DNAEE	42750000	PARACATU
— — — — — PORTO ALEGRE - DNAEE	42980000	PARACATU
- - - - - SANTA ROSA - DNAEE	42395000	PARACATU
- - - - - PORTO DOS POÇÕES - DNAEE	42800000	PRETO
- BARRA DO ESCURO - DNAEE	43980000	URUCUIA

Fig.4.15

o período de menores descargas corresponde aos meses de agosto a setembro, sendo as maiores descargas registradas no período dezembro a março. Segundo os valores obtidos nas retromencionadas estações, o deflúvio máximo médio varia entre 40,69 l/s.km² (Santa Rosa-Paracatu) e 61,12 l/s. km² (Porto Alegre-Paracatu). O deflúvio médio oscila entre 1,58 l/s.km² (Porto Alegre-Paracatu) e 2,59 l/s.km² (Porto de Poções-Preto). No que se refere ao deflúvio máximo absoluto o maior valor - 89,94 l/s.km² - foi registrado na estação de Porto Alegre-Paracatu e o menor, da ordem de 0,92 l/s. km², na estação de Barra do Escuro, situada às margens do rio Urucuia. No quadro 4.9 estão indicados os resultados de deflúvios específicos máximos e mínimos médios, bem como máximos e mínimos absolutos para as estações situadas nas sub-bacias Paracatu, Preto e Urucuia, integrantes da bacia do São Francisco.

A bacia hidrográfica do Paranaíba possui uma área de 19.224 km² na qual se destacam as sub-bacias de São Marcos (10.830 km²), São Bartolomeu (3.550 km²), Veríssimo (2.010 km²), Corumbá (1.490 km²) e Verde (1.450 km²).

Das estações fluviométricas da bacia do Paranaíba, 04 foram aqui consideradas, embora as observações cubram apenas curtos períodos. Destas, 02 são da sub-bacia do rio São Marcos, 01 da sub-bacia do rio São Bartolomeu e 01 da sub-bacia do rio Corumbá. Conforme se verifica nos quadros 4.10 a 4.13 e fig. 4.16, referentes as descargas médias mensais nas estações fluviométricas de Ponte São Marcos, Campo Alegre de Goiás, Ponte São Bartolomeu e Fazenda Buriti, o período de menores descargas corresponde aos meses de julho a setembro, apresentando nos meses de agosto e setembro descargas ainda menores, as quais serão utilizadas no estudo das relações entre as águas superficiais e subterrâneas. Na

DESCARGAS (m³/s) NO POSTO SÃO MARCOS - BACIA SÃO MARCOS

ANO	M E S E S												MÁXIMA	MÍNIMA
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.		
1971	33,9	31,7	38,6	39,3	27,9	22,4	14,9	11,8	10,6	28,5	87,9	172,0	310	8,1
1972	90,5	85,0	90,8	92,1	52,8	39,0	31,8	23,0	17,1	32,0	92,3	123,0	287	14,1
1973	104,0	105,0	121,0	134,0	62,7	45,1	37,7	27,8	20,8	50,3	121,0	114,0	300	17,1
1974	89,2	67,0	186,0	157,0	86,4	57,7	44,2	37,1	26,5	37,7	33,6	51,7	380	21,1
1975	103,0	121,0	58,4	81,0	51,6	36,3	30,0	21,1	13,8	20,5	52,6	58,7	328	11,7

QUADRO : 4.10

DESCARGAS (m³/s) NO POSTO CAMPO ALEGRE DE GOIÁS - BACIA SÃO MARCOS

ANO	M E S E S												MÁXIMA	MÍNIMA
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.		
1974	184,0	135,0	385,0	317,0	185,0	130,0	102,0	81,8	58,5	81,6	73,0	109,0	795	47,2
1975	177,0	229,0	115,0	148,0	105,0	75,3	61,1	42,9	28,4	41,4	103,0	115,0	530	23,7

QUADRO : 4.11

DESCARGAS (m³/s) NO POSTO SÃO BARTOLOMEU - BACIA SÃO BARTOLOMEU

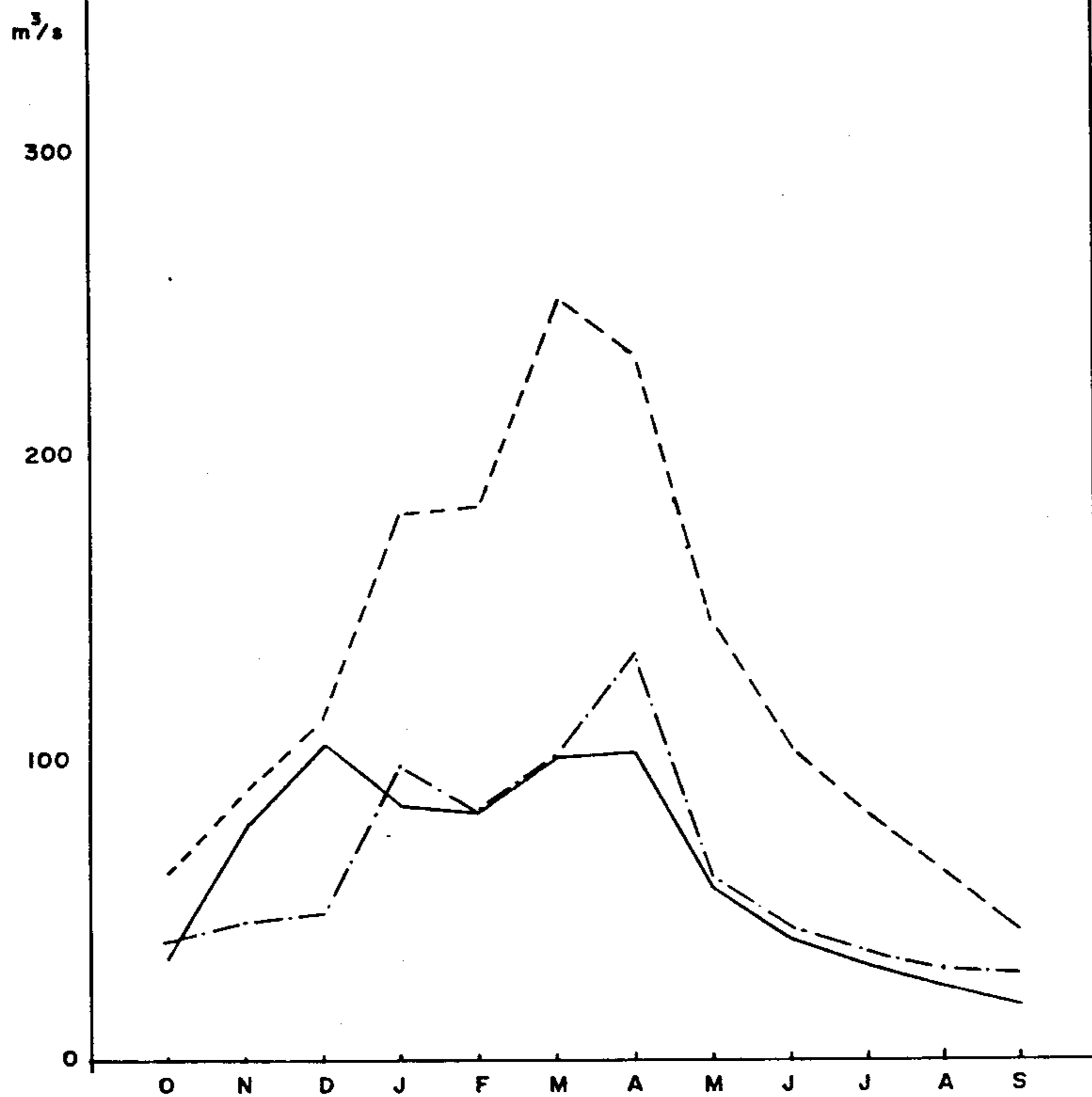
ANO	M E S E S												MÁXIMA	MÍNIMA
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.		
1971	48,3	38,7	43,2	38,9	30,6	22,6	19,7	20,2	16,6	39,2	-	-	-	-
1972	61,0	56,8	58,9	75,9	42,6	37,8	29,8	22,0	22,8	48,0	62,6	-	-	-
1973	78,1	70,7	-	-	59,4	47,1	39,1	27,3	26,3	64,2	99,0	123,0	-	-
1974	119,0	92,9	147,0	180,0	69,1	55,5	42,2	37,7	32,4	46,4	40,9	59,7	257	28,3
1975	75,5	70,1	52,4	97,4	52,4	33,9	28,4	23,4	23,2	30,0	49,7	36,2	174	22,1

QUADRO: 4.12

ANO	M E S E S												MÁXIMA	MÍNIMA
	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.		
1975	-	-	-	-	-	-	114	86,4	71,3	-	192	168	-	-
1976	198	215	314	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

QUADRO : 4.13

DESCARGAS MÉDIAS MENSAIS EM
SUB-BACIAS DO SISTEMA PARANAIBA



ESTAÇÃO	SUB-BACIA	PERÍODO
Ponte São Marcos	São Marcos	1971 - 1975
Campo Alegre de Goiás	São Marcos	1974 - 1975
Ponte São Bartolomeu	São Bartolomeu	1974 - 1975

Fig. 4.16

estação Ponte São Marcos, no rio de mesmo nome, para o período de 1971-75 a menor descarga ($8,1 \text{ m}^3/\text{s}.$) foi registrada no mês de setembro de 1971. Na estação de Campo Alegre de Goiás, também no rio São Marcos, para o biênio 1974-75 a menor descarga registrada foi da ordem de $23,7 \text{ m}^3/\text{s}.$ ocorrida no mês de setembro de 1975. No rio São Bartolomeu, na estação Ponte São Bartolomeu, para o biênio 1974-75 a mínima descarga ocorreu em setembro de 1975 e atingiu um valor de $22,1 \text{ m}^3/\text{s}.$

4.3.2 Estudo das Recessões

A maior parte dos aportes de água subterrânea é proveniente dos aquíferos terciário-quaternários (TQi) e quaternários (Qphi). Os pontos de recarga situam-se geralmente em cotas mais altas em relação aos níveis de drenagem superficial, não havendo, portanto, comunicação direta dos rios com os aquíferos, de modo que os primeiros não alimentam os reservatórios subterrâneos.

Nas aluviões existe comunicação direta rio-aquífero, sendo que nos períodos de águas altas os rios alimentam o aquífero e na estação seca verifica-se a restituição das águas subterrâneas.

Nos aquíferos fraturados e cársticos parece prevalecer condições semelhantes àquelas verificadas para as coberturas do Terciário - Quaternário e o desague dos aquíferos nos rios parece ser rápido.

Para se chegar a uma aproximação dos volumes de restituição das águas subterrâneas aos rios, foi efetuada uma análise de vários hidrogramas e traçadas as curvas de esgotamento.

A rede de estações fluviométricas de interesse ao presente estudo e operando na área é a seguinte:

Posto Cachoeira do Paredão	-	Rio Sono
Posto Porto Diamante	-	Rio da Prata
Posto Fazenda Rio Verde	-	Rio Verde
Posto Barra do Escuro	-	Rio Urucuia
Posto Santa Rosa	-	Rio Paracatu
Posto Porto Alegre	-	Rio Paracatu
Posto Porto dos Poções	-	Rio Preto
Posto Ponte São Marcos	-	Rio São Marcos
Posto Campo Alegre de Goiás	-	Rio São Marcos
Posto Ponte São Bartolomeu	-	Rio São Bartolomeu
Posto Fazenda Buriti	-	Rio Corumbá

Nas seis primeiras das bacias citadas o CETEC já determinou, conforme citações no relatório Planoroeste-2, os valores do coeficiente de recessão, os quais serão aproveitados.

Segundo a interpretação dos hidrogramas de recessão (figs. 4.17 a 4.20), foram calculados os valores do coeficiente de recessão para as bacias de São Marcos, São Bartolomeu e Corumbá, partindo-se da equação:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t}$$

onde:

Q_t = vazão no tempo t , em m^3/s ;

Q_0 = vazão no instante de início da recessão, em m^3/s ;

α = coeficiente de recessão ;

t = tempo da recessão, em dias;

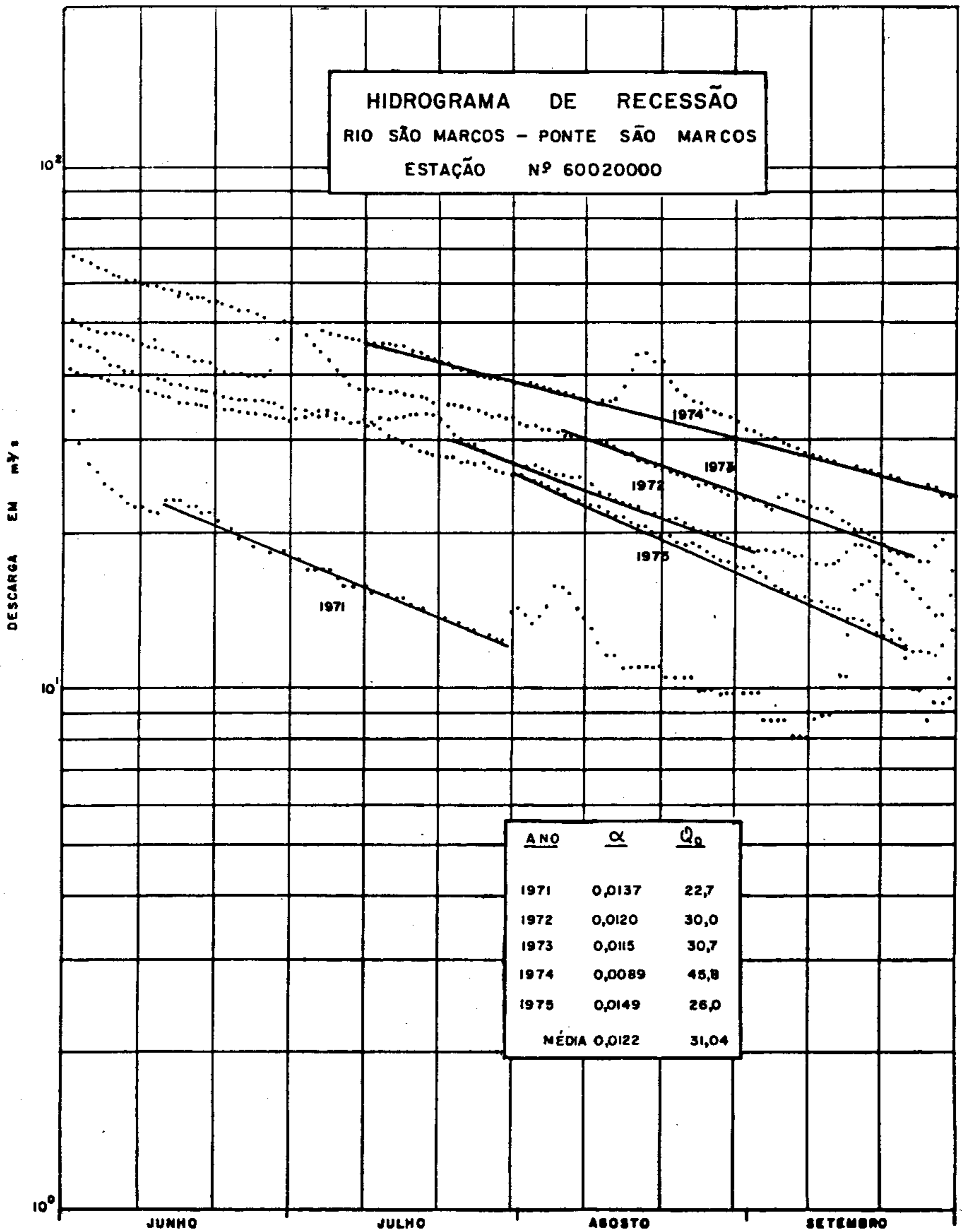


Fig. 4.17

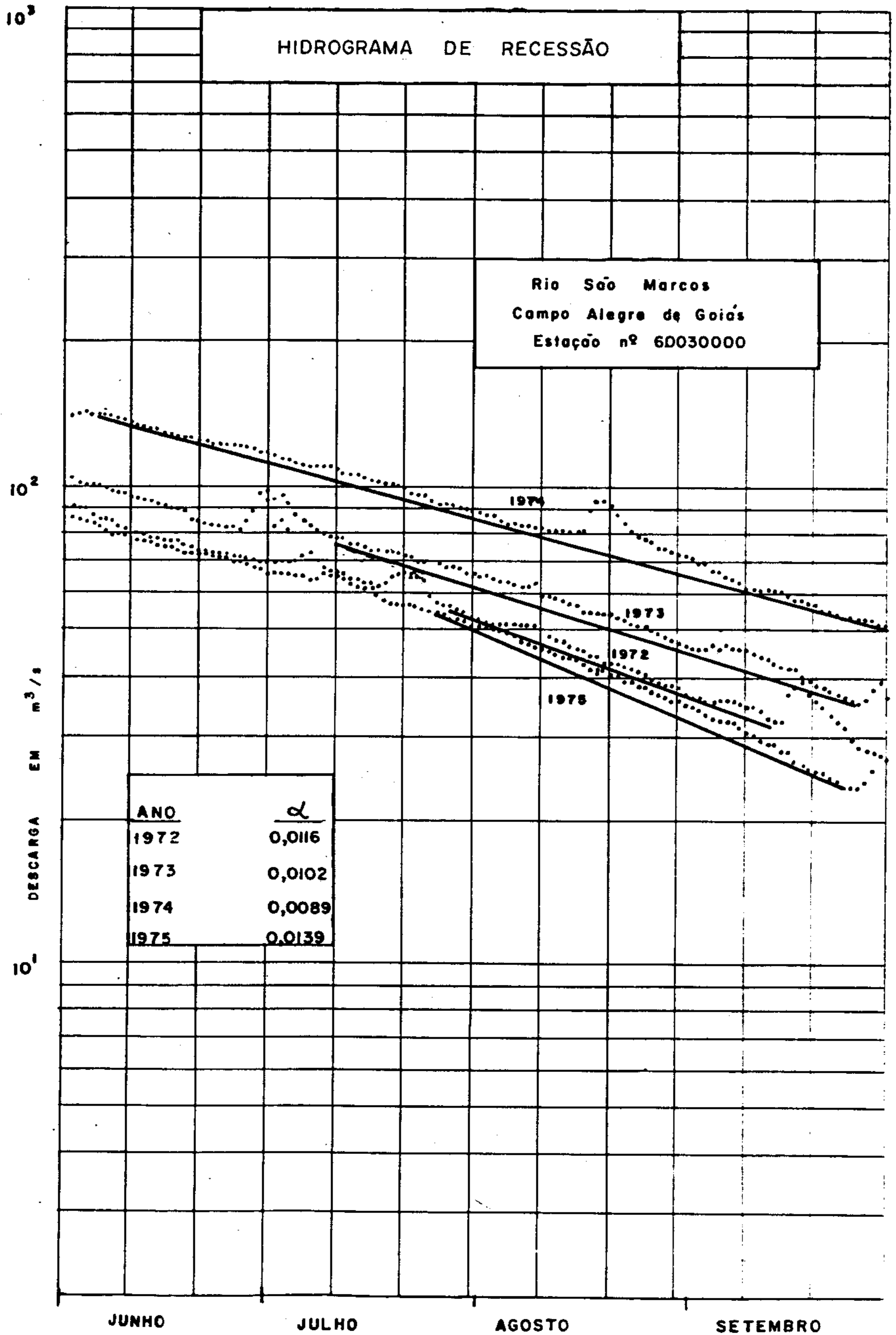
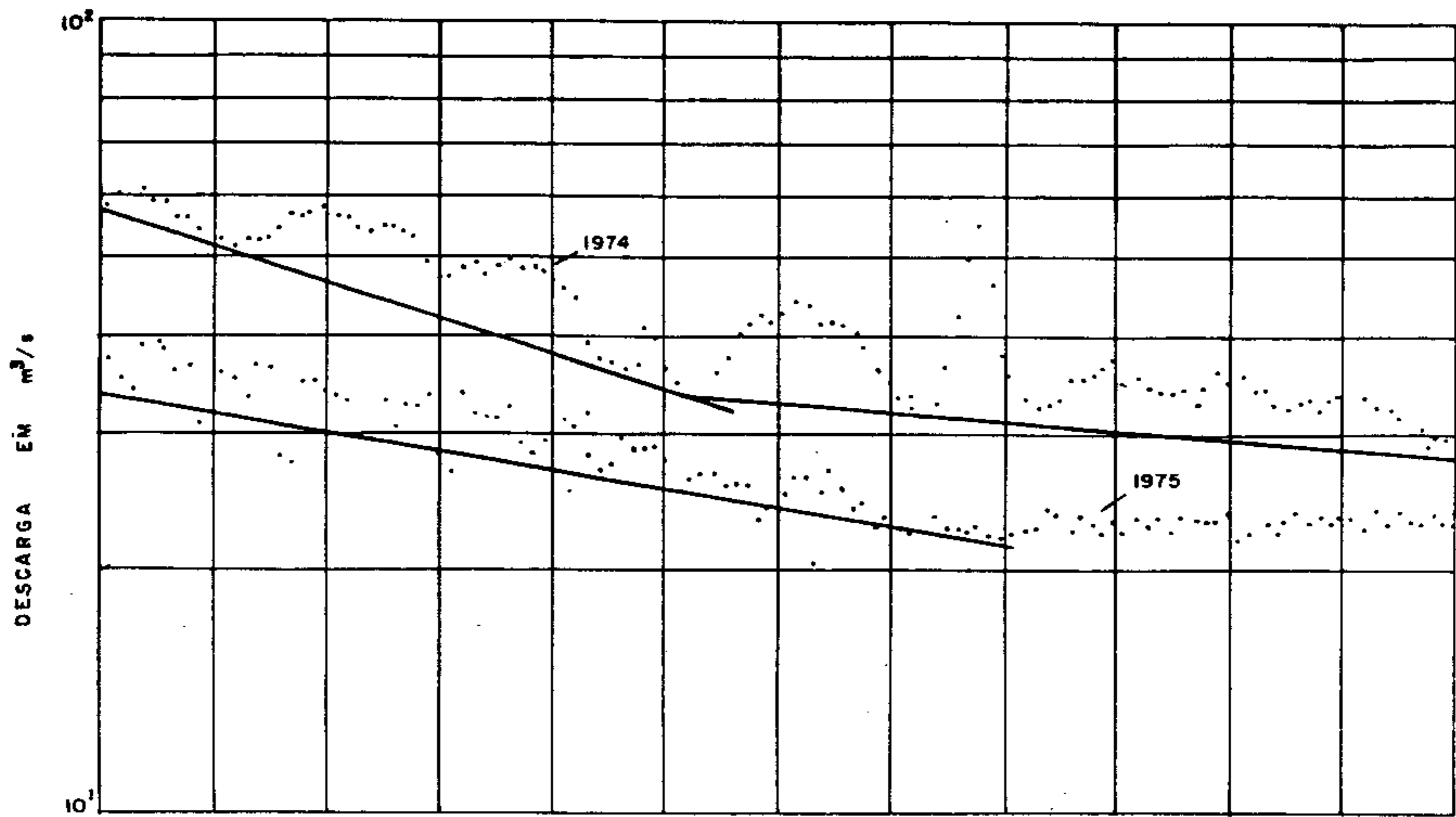
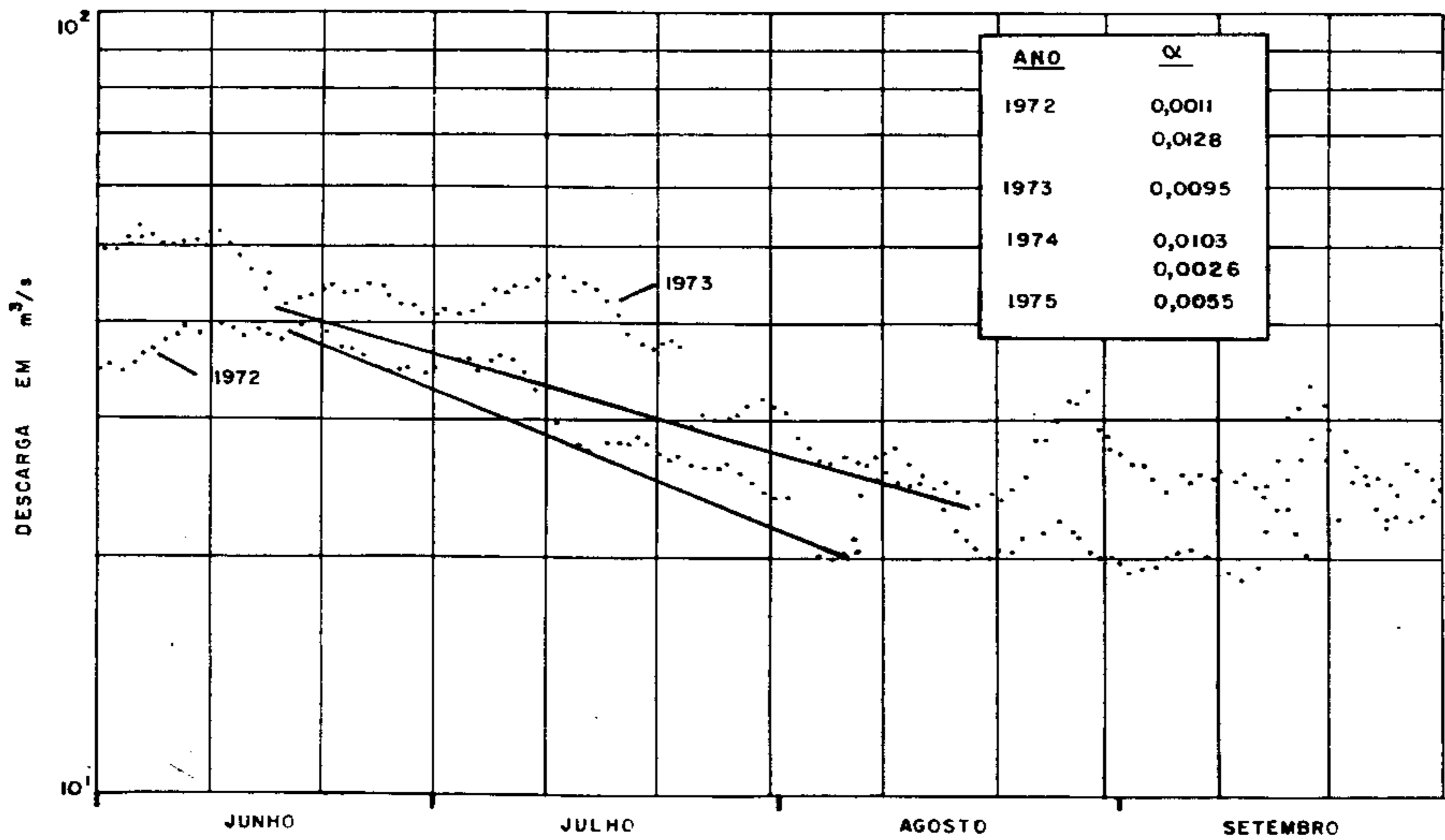


Fig.4.16



HIDROGRAMAS DE RECESSÃO
 RIO SÃO BARTOLOMEU — PONTE SÃO BARTOLOMEU
 ESTAÇÃO Nº 60500000



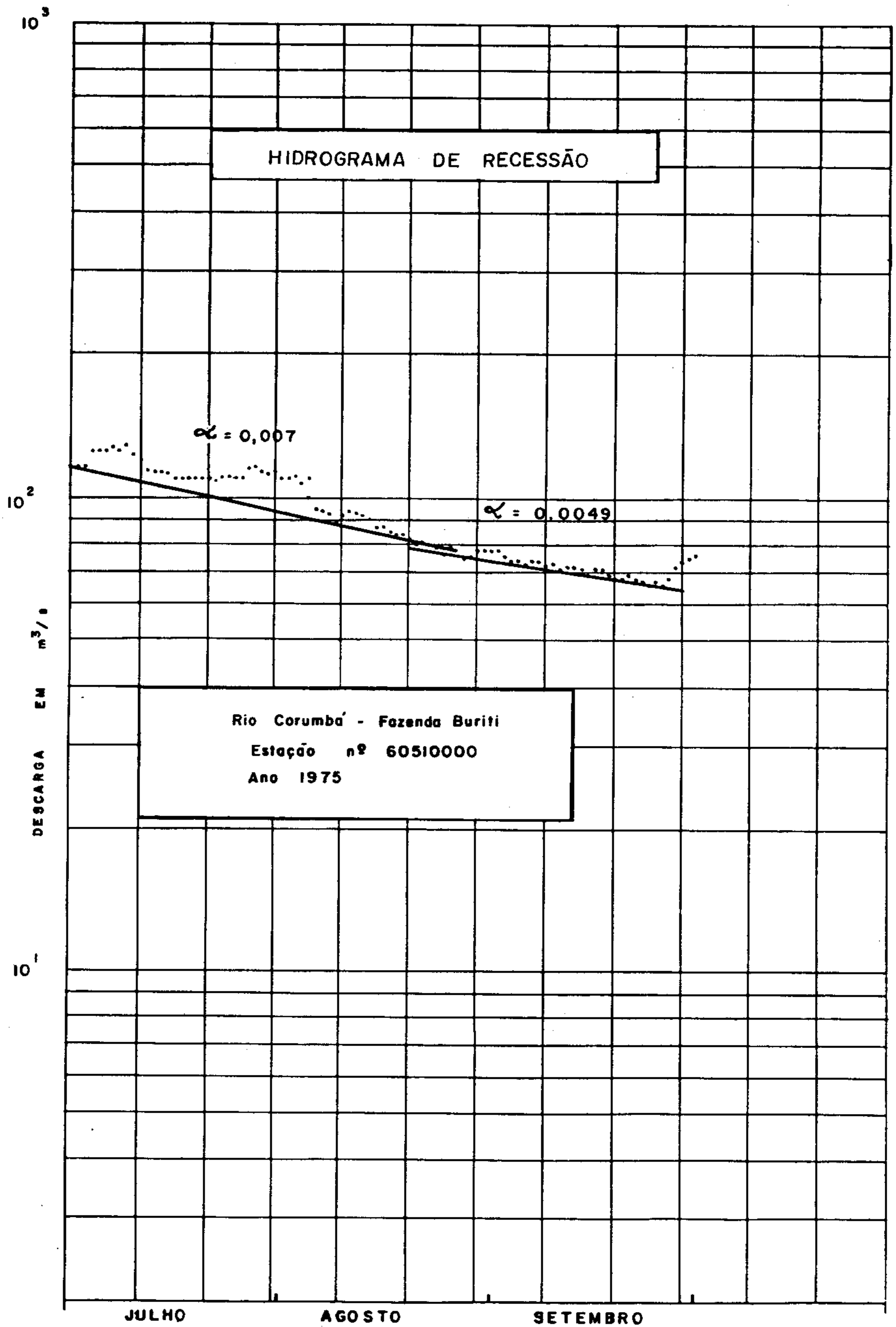


Fig. 4.20

e = base de logaritmos neperianos, igual a 2,71828.

Os valores de coeficiente de recessão definidos na área em estudo para os diversos cursos d'água, foram os seguintes:

<u>Sub-bacia</u>	<u>α</u>
Rio do Sono	0,0060
Rio da Prata	0,0068
Rio Verde	0,0084
Rio Urucuia	0,0061
Rio Paracatu (Porto Alegre)	0,0062
Rio Paracatu (Santa Rosa)	0,0065
Rio Preto	0,0051
Rio São Marcos (Ponte São Marcos)	0,0122
Rio São Marcos (C. Alegre de Goiás)	0,0111
Rio São Bartolomeu	0,0069
Rio Corumbá	0,0059

Estes coeficientes apresentam valores aproximados para as bacias dos rios do Sono, do Prata e Urucuia que drenam áreas de coberturas. Para o rio Preto observa-se um valor muito elevado, considerando tratar-se de uma área com predominância de aquíferos fraturados. No rio Verde o coeficiente de recessão apresenta um valor muito baixo, o que se coaduna com a natureza litológica e espessura reduzida dos sedimentos de cobertura terciário-quadernários que ocorrem em sua bacia de drenagem.

No rio São Marcos, as estações de Ponte São Marcos e Campo Alegre de Goiás apresentam valores aproximados e coerentes para áreas de ocorrência de coberturas do

TQi com as maiores espessuras na área. Nos rios São Bartolomeu e Corumbá os valores, embora elevados, são menores do que os determinados para bacia de São Marcos, isto devido a uma maior participação dos aquíferos fraturados nas duas primeiras bacias se comparadas com a bacia de São Marcos.

O hidrograma de escoamento representa a distribuição total de água que passa por uma determinada estação fluviométrica. Este escoamento total é a soma do escoamento direto, do escoamento hipodérmico e de uma componente de origem subterrânea. Geralmente não é fácil individualizar com precisão a componente subterrânea do escoamento total.

Para os hidrogramas obtidos, efetuou-se a separação do escoamento subterrâneo utilizando-se o método gráfico de Barnes (Custódio, 1976 - p.395). Os limites entre o escoamento superficial e o subterrâneo estão representados nas figuras 4.21 a 4.26. Vale ressaltar que se considera que o escoamento subterrâneo ocorre durante todo o ano, mesmo nos períodos de cheia, uma vez que os pontos de descargas na maioria dos terrenos do Terciário-Quaternário e Quaternário estão em nível acima das calhas dos rios. Apenas nas aluviões verificam-se interrupções de aportes de água subterrânea no período de cheia, devido a inversão dos gradientes hidráulicos, quando passam a ocorrer recarga e armazenamento nas margens.

Para o sistema hidrográfico do rio São Francisco, os resultados obtidos (Quadro 4.14) nas principais subbacias indicam que:

- Nos rios da Prata, Sono, Verde e Urucuia, os escoamentos subterrâneos representam de 30 a 45% do escoamento total. As bacias citadas drenam em maior parte sedimentos das coberturas do TQi e Qphi;

HIDROGRAMAS DE SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

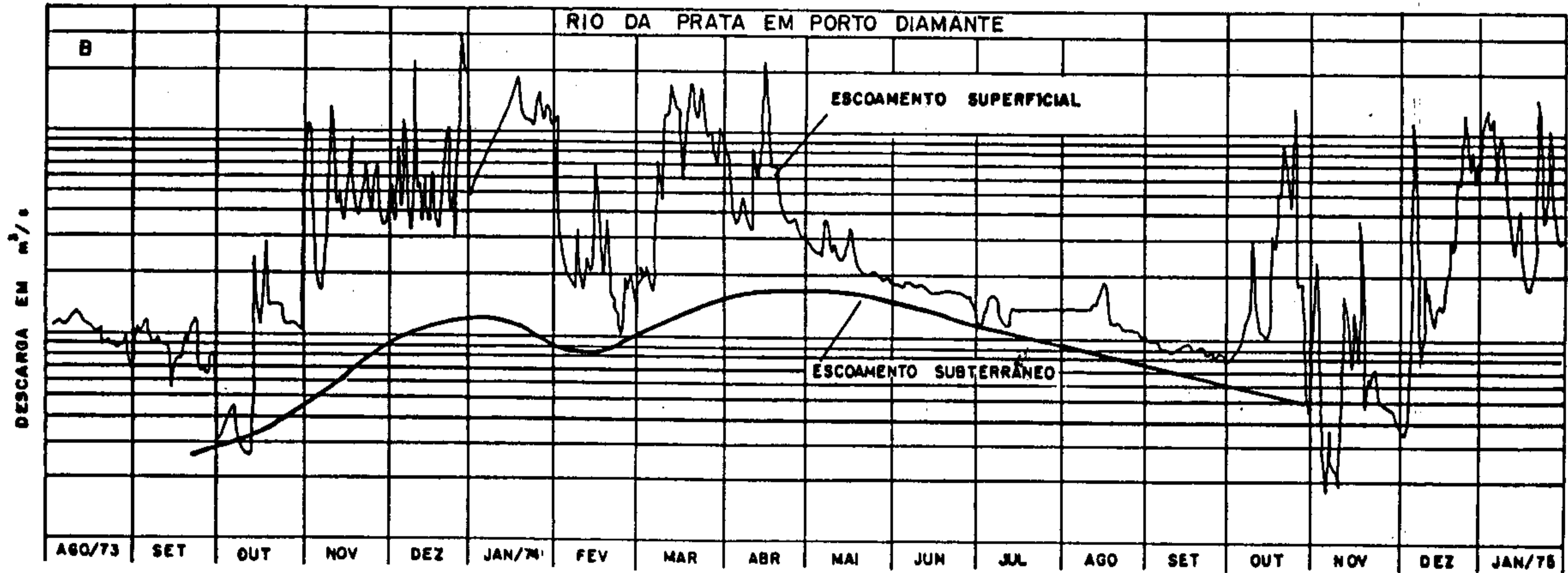
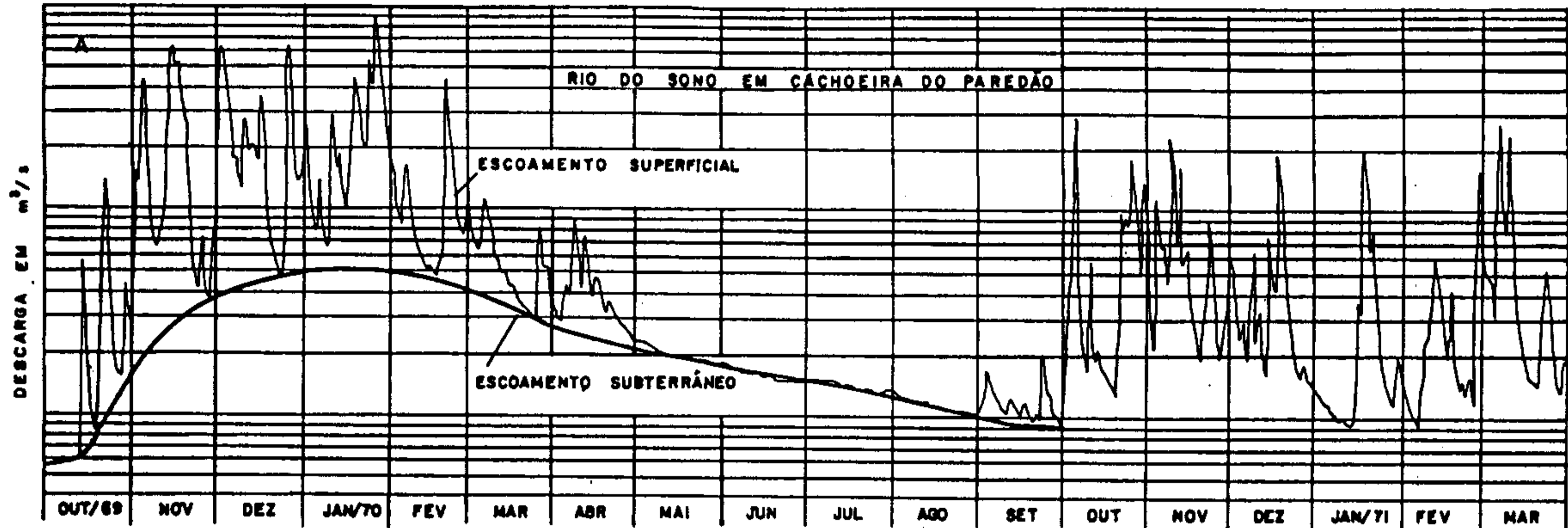


Fig. 4. 21

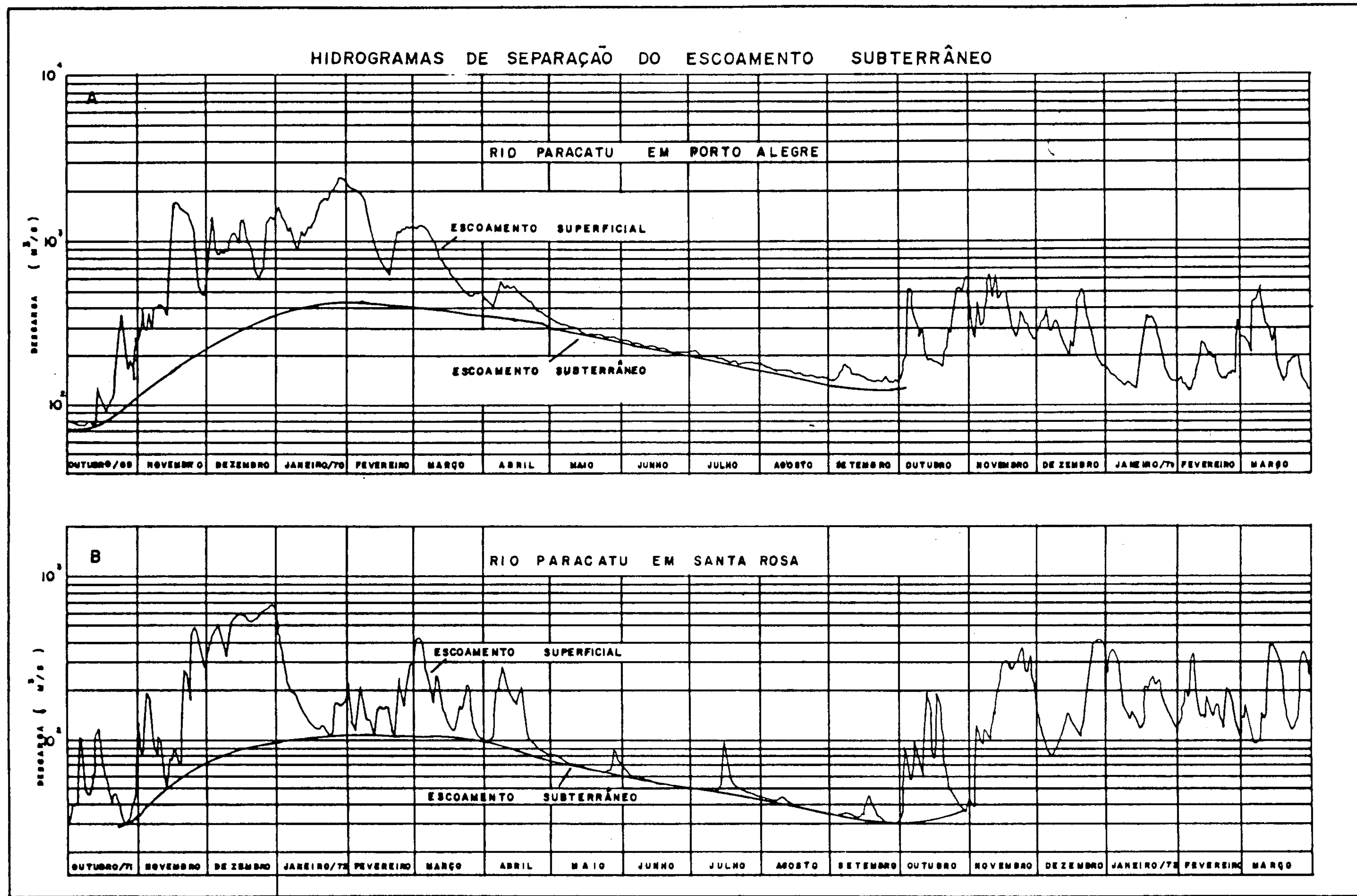


Fig. 4.22

HIDROGRAMAS DE SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

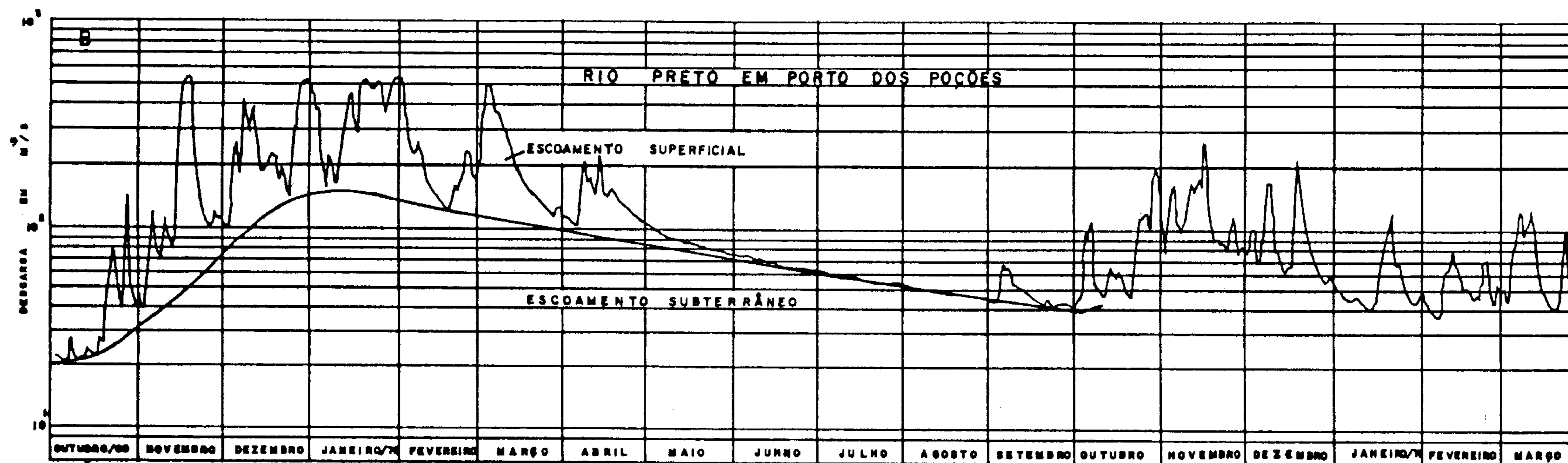
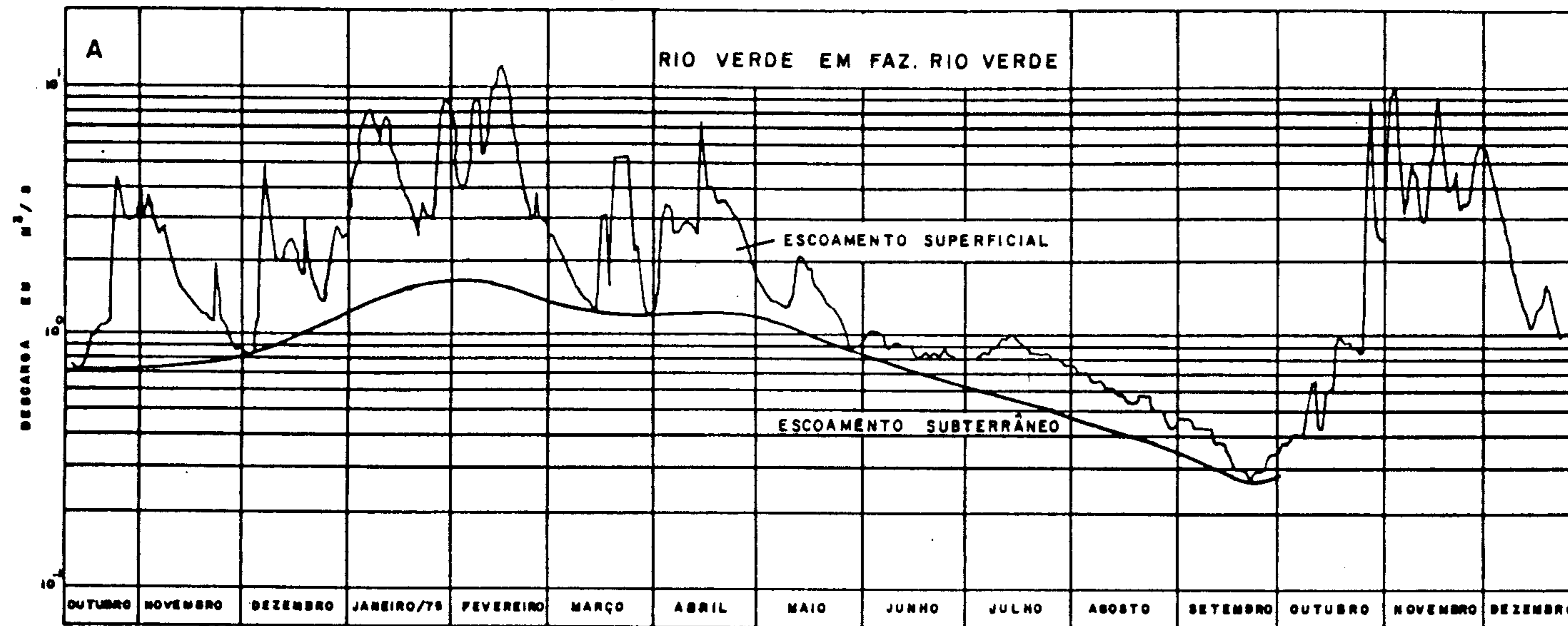


Fig. 4.23

HIDROGRAMA DE SEPARAÇÃO DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

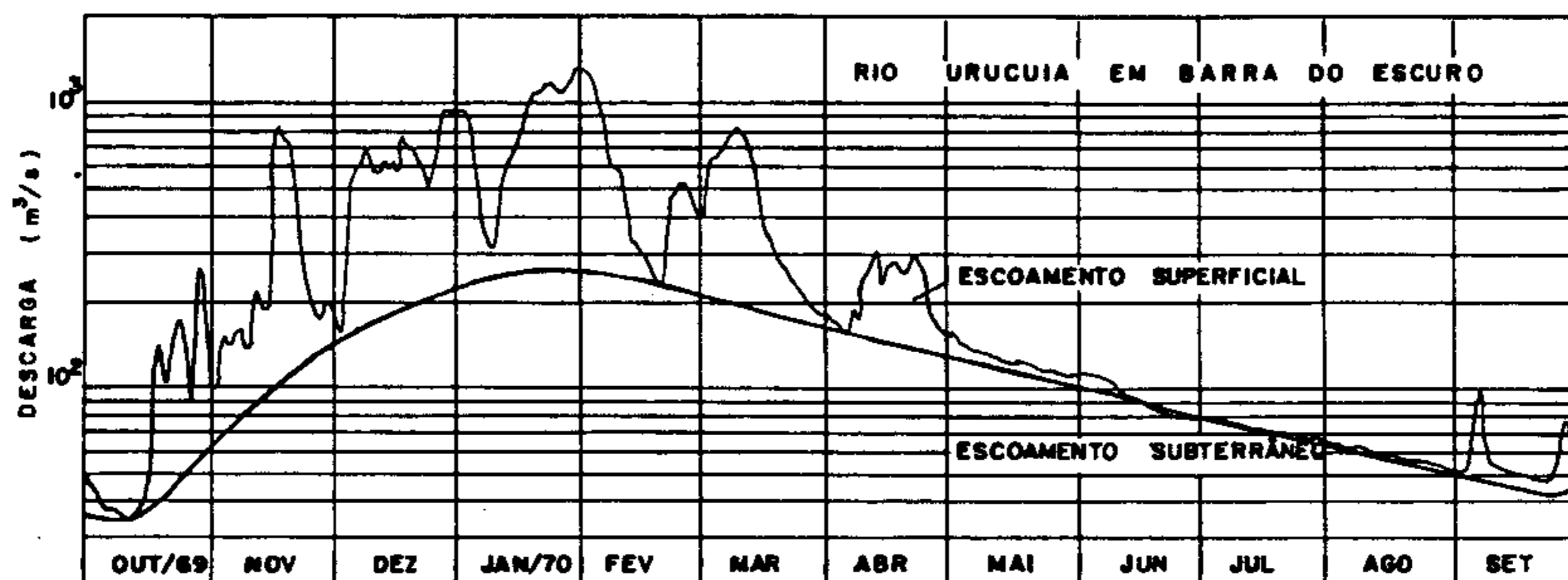


Fig. 4.24

- No rio Paracatu, os resultados obtidos indicam um aumento da contribuição subterrânea no posto de Porto Alegre (48%) próximo a sua confluência com o rio São Francisco, em relação a do posto Santa Rosa (32%). Este aumento justifica-se devido a uma maior área de ocorrência das coberturas do Qphi no baixo curso do rio Paracatu, em relação ao seu alto curso. Ressalte-se ainda uma certa influência do rio Preto.
- Para o rio Preto o escoamento subterrâneo representa 59% do escoamento total, considerado como um pouco elevado. Esta contribuição às águas superficiais provêm de coberturas do Qphi, bem como de exutórios existentes nas áreas cársticas do médio e alto curso do rio Preto.

No sistema hidrográfico Paranaíba os resultados obtidos indicam que:

- Na bacia do São Marcos a contribuição do escoamento subterrâneo varia entre 11 a 15% e trata-se em

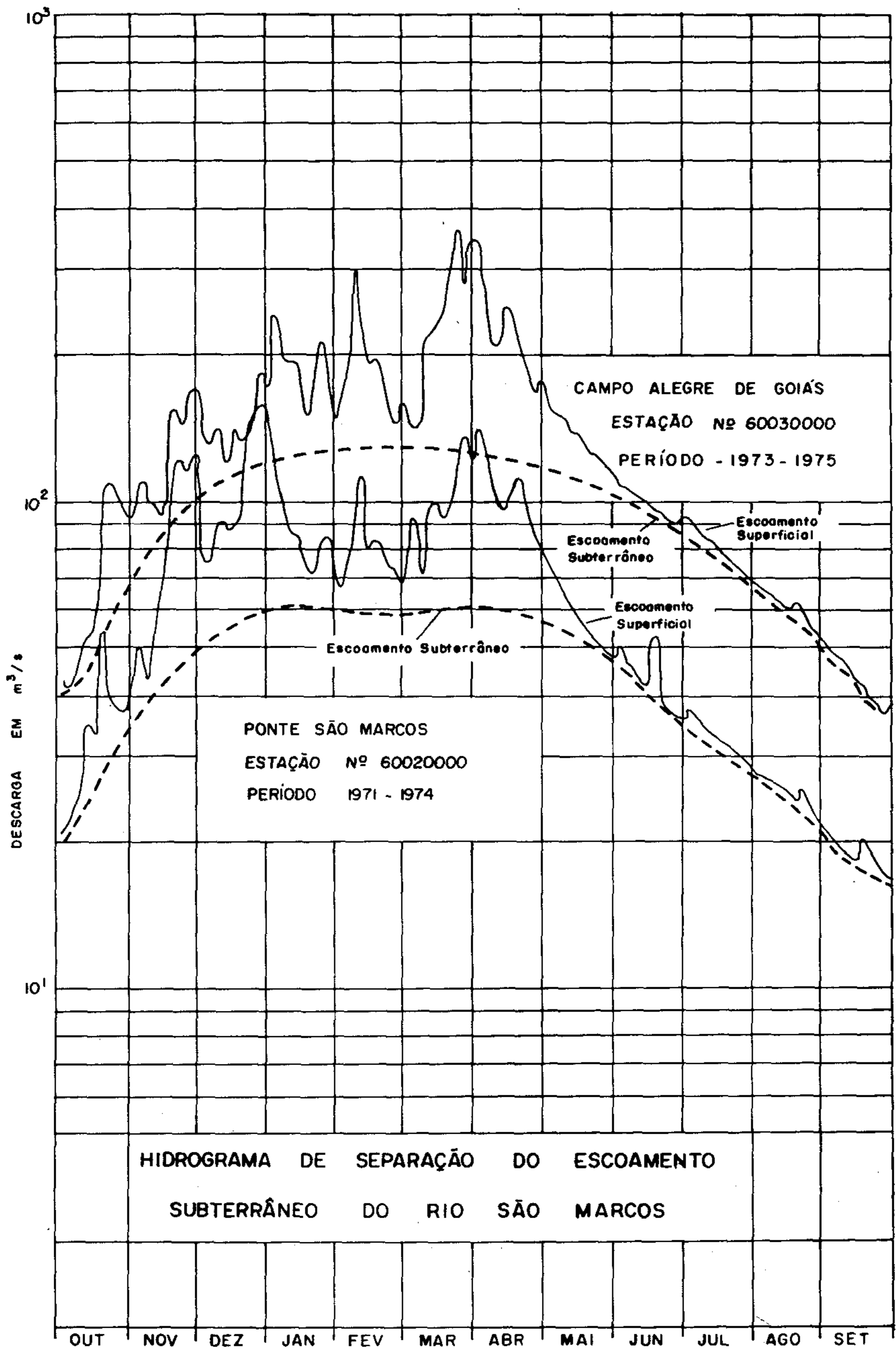


Fig. 4.25

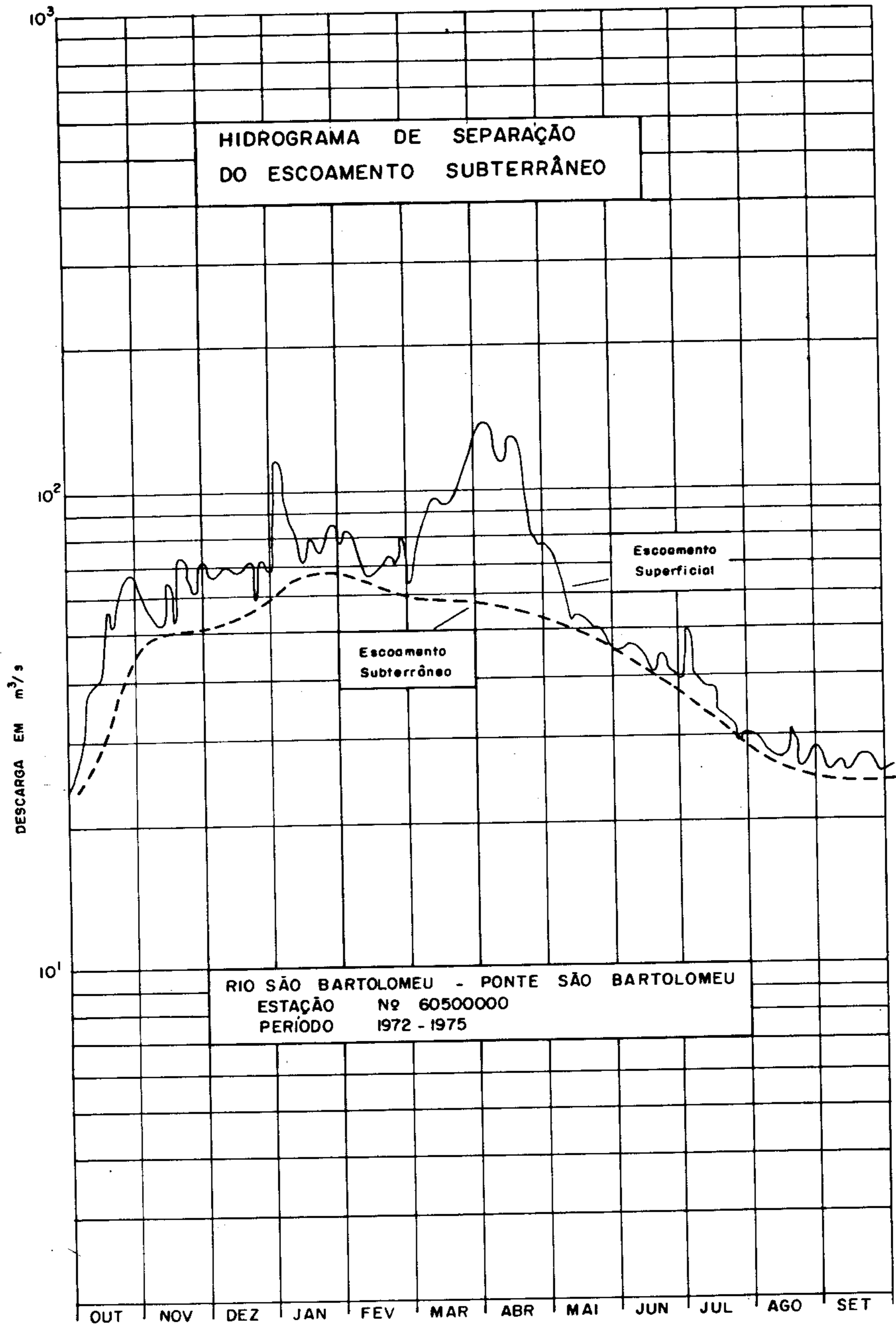


Fig. 4.26

PERCENTAGEM DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO EM RELAÇÃO AO ESCOAMENTO TOTAL

BACIA HIDROGRÁFICA	POSTO FLUVIO MÉTRICO	PERÍODO	DESCARGAS NO PERÍODO (m ³ /s)			PERCENTAGEM DO ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO EM RELAÇÃO AO ESCOAMENTO TOTAL.
			ESCOAMENTO TOTAL	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO	
PRATA	PORTO DIAMANTE	10.73 - 09.74	112. 10 ⁷	78. 10 ⁷	34. 10 ⁷	30
PRETO	PORTO DOS POÇÕES	10.69 - 09.70	463. 10 ⁷	190. 10 ⁷	273. 10 ⁷	59
SONO	CACHOEIRA DO PAREDÃO	10.69 - 09.70	254. 10 ⁷	173. 10 ⁷	81. 10 ⁷	32
URUCUIA	BARRA DO ESCURO	10.69 - 09.70	923. 10 ⁷	509. 10 ⁷	414. 10 ⁷	45
VERDE	FAZENDA RIO VERDE	10.74 - 09.75	7. 10 ⁷	4. 10 ⁷	3. 10 ⁷	43
PARACATU	SANTA ROSA	10.71 - 09.72	672. 10 ⁷	459. 10 ⁷	213. 10 ⁷	32
PARACATU	PORTO ALEGRE	10.69 - 09.72	1875. 10 ⁷	977. 10 ⁷	898. 10 ⁷	48
SÃO MARCOS	PONTE SÃO MARCOS	10.71 - 09.75	197. 10 ⁷	175. 10 ⁷	22. 10 ⁷	11
SÃO MARCOS	CAMPO ALEGRE DE GOIÁS	10.73 - 09.75	424. 10 ⁷	359,6 . 10 ⁷	64,4 . 10 ⁷	15
SÃO BARTOLOMEU	PONTE SÃO BARTOLOMEU	10.72 - 09.75	173. 10 ⁷	125,5 . 10 ⁷	47,5. 10 ⁷	27

maior parte de águas restituídas pelas coberturas do TQi;

- Na bacia do rio São Bartolomeu a percentagem do escoamento subterrâneo em relação ao escoamento total, atinge um valor de 27% e, como no caso anterior, corresponde principalmente à águas das coberturas do TQi.

4.4 Morfologia

Após as primeiras observações feitas por De Martone (1944), King (1956) resumiu o estudo no seu trabalho sobre a geomorfologia do Brasil Oriental, determinando uma série de superfícies cíclicas a partir do planalto para o litoral. Entre outros, Braun (1970) fez um resumo e correlacionou as abordagens feitas anteriormente sobre a geomorfologia do Brasil Oriental, mostrando que os vestígios dos ciclos anteriores ao Sul-Americano são de expressão muito reduzida e que foi a partir das superfícies deste ciclo que todo o relevo do Brasil foi esculpido. O Chapadão dos Gerais no canto sudeste da área, representa a superfície Sul-Americana. No centro noroeste, os topos aplainados das regiões de Cristalina e Luziânia faz parte de um grande divisor, de sentido sul-norte, da derradeira drenagem do ciclo Sul-Americano no Brasil Central.

No ciclo Sul-Americano, em geral, a superfície mais alta está condicionada a quartzitos, tal como acontece em Cristalina (1.200 m), enquanto que a mais baixa foi esculpida sobre rochas menos resistentes ao intemperismo, como xistos, filitos, ardósias e margas.

A superfície de erosão mais antiga (Braun, 1970), cujos testemunhos subsistem na atual paisagem brasileira, é, sem dúvida, resultado do aplainamento Sul-Americano

que terminou no Terciário superior (\pm 5 milhões de anos) com o início da sedimentação Barreiras. Antes de terminar o a plainamento Sul-Americano, iniciou-se, no fim do Oligoceno, o soerguimento do continente. Este levantamento deu-se por arqueamento, cujo eixo coincide mais ou menos com os maciços das serras da Mantiqueira, do Mar e prolongamento até a Borborema no Nordeste.

Com uma diferença de nível que varia de 600 a 200 metros, nos remanescentes do aplainamento Sul-Americano desenvolvem-se, no Brasil Central, amplas áreas planas condicionadas aos talwegues das principais drenagens. Estas planuras acham-se, em grande parte, cobertas por detritos a luviais, como cascalhos, areais e argilas, os quais estão sendo erodidos pelos cursos d'água atuais. Em muitos locais essa capa detrítica chega a ser espessa, possuindo leitos basais de conglomerado cimentado por sílica e limonita. Esta situação verifica-se em planícies próximas aos leitos dos rios Paracatu e Urucuia.

Com a dissecação das planícies Sul-Americanas a erosão alcançou as áreas de sub-estrato calcário, abrindo e drenando as galerias subterrâneas de dissolução. Destas, esculpiram-se os relevos cársticos do Grupo Bambuí nos esta dos de Minas Gerais e Bahia. No âmbito da área, o Grupo Bambuí é constituído principalmente de siltitos, argilitos, ardósias, calcários, mármore e margas. As rochas carbonáticas representam uma feição importante nesta sequência, mas não constituem o tipo litológico dominante. Os calcários, que podem ser fortemente dolomíticos, são sempre descontínuos, passando lateral e superiormente a rochas argilosas. Estes fatos concorrem para que não haja uma maior carstificação nas rochas do Grupo Bambuí na área tal como acontece nas áreas das bacias dos rios Verde, Grande e Gorutuba.

4.5 Solos e Vegetação

Conforme carta pedológica do Brasil, definida pelo IBGE, registram-se na área, dois tipos de associação de solos, cujas características são as seguintes:

- a) Associação de solos relacionada com os cerrados do Brasil.

Representa aproximadamente 94% dos solos da área. Predomina nesta associação o latossolo vermelho escuro de textura argilosa e argilo-arenosa com granulometria média e o latossolo vermelho-amarelo de textura argilosa e argilo-arenosa com média granulometria. São solos geralmente profundos, friáveis e porosos, sem uma boa diferenciação de horizontes. Para o seu aproveitamento na agricultura, geralmente torna-se necessária uma correção de pH, bem como a aplicação de adubos.

- b) Associação de solos correlacionada com rochas resistentes nas altas superfícies do Grupo Canastra.

Esta associação, que abrange também os solos dos Complexos B, C e D, faz-se representar por latossolos e afloramentos de rochas do Pré-Cambriano e, localmente, pode apresentar os tipos latossolo vermelho-escuro, solos húmiferos nos altos cursos dos rios Veríssimo, Preto e Paracatu e mais raramente solos similares aos solos bruno ácidos e podzol.

O revestimento florístico constitui-se predominantemente de cerrados, podendo ocorrer estreitas faixas de matas ciliares acompanhando a drenagem. No canto sudoeste da área ocorre, no flanco sul da serra do Formoso, relí

quias da vegetação do tipo floresta sub-caducifólia tropical.

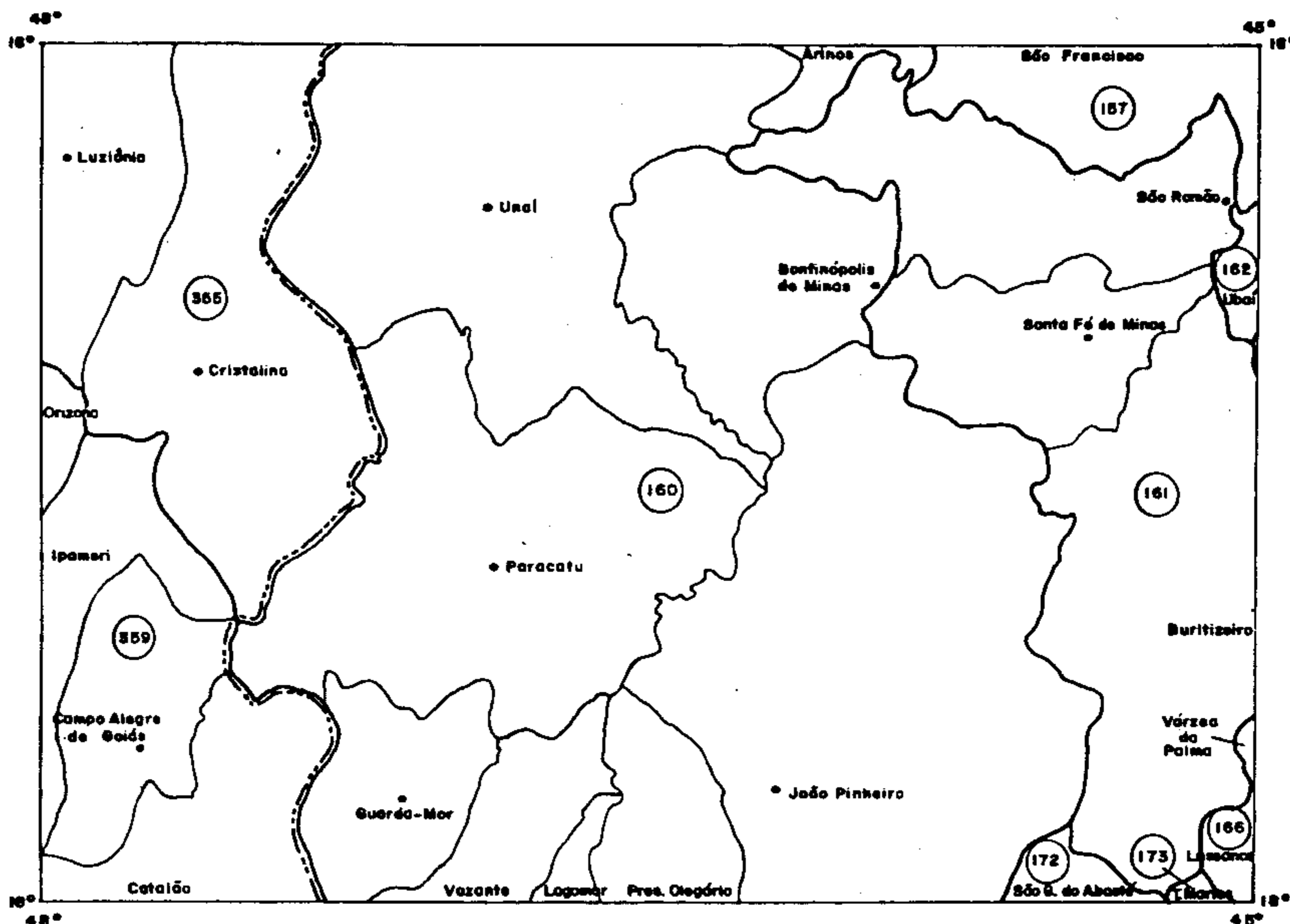
4.6 Aspectos Sócio-Econômicos

A área, inserida fisiograficamente nas regiões do Alto São Francisco e Alto Paranaíba, engloba grande parte do noroeste de Minas Gerais e faixa do sudeste de Goiás. Segundo o zoneamento definido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, foi dividida em oito micro-regiões homogêneas, conforme indicado na figura 4.27. Sua posição geográfica entre Brasília e Belo Horizonte, os vários programas especiais (Planoroeste, Polocentro, etc), a atuação da Rural Minas em parte da área, são elementos que influenciam positivamente no desenvolvimento da região.

No que tange a densidade demográfica na área, aos municípios de Unaí, Luziânia, Vazante e Paracatu correspondem os maiores índices. Os municípios de Orizona, Iperemer, Lassance e Campo Alegre de Goiás apresentam os menores valores. A média da densidade demográfica na área corresponde a $4,17 \text{ hab/km}^2$, o que pode ser considerado como um baixo índice de concentração populacional, se comparado com a do Estado de Minas Gerais como um todo ($19,58 \text{ hab/km}^2$). O quadro 4.15 indica as populações por municípios e micro-regiões, bem como os valores de densidade demográfica. Entre as cidades mais importantes destacam-se Paracatu, João Pinheiro e Luziânia, com populações entre 20 e 30.000 habitantes.

A folha Belo Horizonte-NO apresenta no setor agropecuário sua principal atividade econômica, com os setores industrial, comercial e serviços, possuindo uma participação discreta. Vale ressaltar a vocação para a agricultura

DIVISÃO MUNICIPAL MICRO - REGIÕES HOMOGÊNEAS



MICRO-REGIÕES

- (157)** - SANFRANCISCANA DE JANUÁRIA
- (160)** - CHAPADÕES DO PARACATU
- (161)** - ALTO MÉDIO SÃO FRANCISCO
- (162)** - MONTES CLAROS
- (166)** - MÉDIO RIO DAS VELHAS
- (172)** - MATA DA CORDA
- (173)** - TRÊS MARIAS
- (355)** - PLANALTO GOIANO
- (359)** - SUDESTE GOIANO

LEGENDA

- - LIMITE INTERMUNICIPAL
- - LIMITE DAS MICRO-REGIÕES
- - LIMITE INTERESTADUAL
- - CIDADE

FONTE: IBGE

Fig. 4.27

DENSIDADE DEMOGRÁFICA (hab/km²)

MICRO-REGIÃO	MUNICÍPIOS E DISTRITO FEDERAL	POPULAÇÃO NA FOLHA	ÁREA (km ²) NA FOLHA	DENSIDADE DEMOGRÁFICA NA FOLHA	DENS. DEMOGRÁFICA DO MUNICÍPIO
160	ARINOS	1.078	465	2,32	2,47
	BONFINÓPOLIS DE MINAS	16.600	3.558	4,40	4,40
	GUARDA - MOR	5.623	2.340	2,25	2,25
	JOÃO PINHEIRO	53.298	13.231	3,39	3,39
	LAGAMAR	2.083	245	8,50	9,26
	PARACATU	46.029	7.882	5,51	5,51
	PRESIDENTE OLEGÁRIO	10.315	1.485	6,95	7,72
	UNAI	59.937	8.604	6,94	6,33
	VAZANTE	10.246	1.601	6,4	5,44
161	BURITIZEIRO	8.856	5.970	1,48	2,10
	SANTA FÉ DE MINAS	6.470	2.853	2,15	2,15
	SÃO ROMÃO	14.100	3.978	3,37	3,37
157	SÃO FRANCISCO	10.480	2.220	4,72	8,13
162	UBAI	4.212	320	13,16	9,73
	IBIAÍ	-	1,5	-	4,99
166	LASSANCE	458	280	1,6	1,92
	VÁRZEA DA PALMA	114	55	2,1	5,92
172	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ	814	417,5	1,95	3,99
173	TRÊS MARIAS	139	75	1,84	3,31
355	CRISTALINA	14.261	4.860	2,93	2,12
	DISTRITO FEDERAL	-	360	-	-
	LUZIÂNIA	20.000	2.070	9,66	6,09
359	CAMPO ALEGRE DE GOIÁS	4.309	2.403	1,79	1,79
	CATALÃO	6.800	1.620	4,19	7,14
	IPAMERI	2.400	1.710	1,40	4,8
	ORIZONA	200	180	1,10	6,78

Fonte: IBGE
ANO : 1977

QUADRO: 4.15

que possui o município de Unaí, um grande produtor de milho do Estado de Minas Gerais.

A suinocultura é praticada por grande parte das propriedades, geralmente em pequena escala, embora existam algumas criações organizadas para fins de comercialização. O quadro 4.16 mostra os valores do rebanho de suínos nos municípios incluídos na área de estudo.

No que tange a agricultura, grande parte dos estabelecimentos agropecuários utilizam uma parte de sua área para o cultivo de alguns produtos agrícolas. As técnicas empregadas nas lavouras são ainda rudimentares, e grande parte da produção agrícola é voltada para auto-consumo dos estabelecimentos com exceção em alguns municípios tais como Unaí, Paracatu e Vazante que exportam seus produtos agrícolas para outras regiões. Os produtos de maior expressão para a economia regional são: arroz, feijão, milho, mandioca, algodão, banana e cana-de-açúcar.

Atualmente, alguns empresários, principalmente do Estado de São Paulo, imbuídos de uma tecnologia orientada para irrigação, tentam abrir novas opções no setor da agricultura, com implantação de culturas de café, soja, trigo e ameixa.

No quadro 4.17 estão indicados os valores da produção agrícola por município .

No que tange aos recursos minerais, a região de Vazante-Paracatu destaca-se como produtora de chumbo e zinco. No setor secundário, sobressaem-se a Companhia Mineira de Metais que possui na cidade de Vazante instalações industriais de beneficiamento de zinco, chumbo e cobre e a usina metalúrgica para beneficiamento de minérios de zinco,

REBANHOS E AVES

MICRO-REGIÃO	MUNICÍPIO E DISTRITO FEDERAL	BOVINO	SUINO	OVINO	CAPRINO	AVES
160	ARINOS	8.478	8.835	277.	134	4.822
	BONFINÓPOLIS	76.494	19.745	275	572	61.757
	GUARDA - MOR	55.438	4.800	23	16	12.178
	JOÃO PINHEIRO	226.011	22.526	714	311	85.927
	LAGAMAR	9.624	2.222	-	-	5.594
	PARACATU	115.000	10.088	81	209	83.837
	PRESIDENTE OLEGÁRIO	41.040	9.476	70	73	28.686
	UNAI	173.786	48.706	458	457	153.541
	VAZANTE	53.924	6.659	30	58	22.284
161	BURITIZEIRO	68.971	4.771	420	860	25.103
	SANTA PÉ DE MINAS	26.953	2.228	-	92	11.363
	SÃO ROMÃO	83.571	6.496	600	299	33.893
157	SÃO FRANCISCO	46.898	12.651	1.455	597	57.575
162	UBAI	11.500	1.840	28	16	8.000
	IBIAÍ	-	-	-	-	-
166	LASSANCE	1.300	243	-	-	1.314
	VARZEA DA PALMA	820	116	-	-	468
172	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ	10.586	1.926	7	8	6.311
173	TRÊS MARIAS	560	56	-	-	271
355	CRISTALINA	71.856	5.814	716	174	28.533
	DISTRITO FEDERAL	-	-	-	-	-
	LUZIÂNIA	35.000	7.490	186	181	171.321
359	CAMPO ALEGRE DE GOIÁS	46.792	6.156	356	81	20.000
	CATALÃO	52.835	6.900	168	-	41.439
	IPAMERI	34.000	4.741	170	-	14.874
	ORIZONA	7.000	140	50	-	5.615

Fonte: IBGE
ANO : 1977

QUADRO : 4.16

PRODUÇÃO AGRÍCOLA

MICRO-REGIÃO	MUNICÍPIOS E DISTRITO FEDERAL	BANANA (caixas)	CAFÉ (tonelada)	LARANJA (mil fru- tos)	ALGODÃO (tonelada)	AMENDOIM (tonelada)	ARROZ (tonelada)	CANA-DE- AÇUCAR (tonelada)	FEIJÃO (tonelada)	MANDIOCA (tonelada)	MILHO (tonelada)
160	ARINOS	303	-	7	-	-	133	56	19	45	150
	BONFINÓPOLIS DE MINAS	10.564	4	636	5	-	2.016	445	1.022	66	4.585
	GUARDA - MOR	-	-	76	1	-	312	21	142	23	932
	JOÃO PINHEIRO	64.533	8	2.775	15	18	3.629	2.341	1.122	3.582	10.569
	LAGAMAR	-	-	2	-	-	242	24	136	6	603
	PARACATU	65.076	28	2.214	1	6	4.541	2.745	1.252	1.023	8.158
	PRESIDENTE OLEGÁRIO	2.084	9	312	4	-	959	460	900	505	5.193
	UNAI	39.167	22	661	4	9	6.846	1.460	6.203	590	29.331
VAZANTE	11.755	-	1.028	2	-	479	394	226	356	2.321	
161	BURITIZEIRO	16.945	-	306	-	-	480	802	138	465	1.345
	SANTA FÉ DE MINAS	7.100	3	243	16	2	340	1.019	86	631	750
	SÃO ROMÃO	5.857	1	147	3	-	1.146	1.549	248	715	1.803
157	SÃO FRANCISCO	39.038	-	334	472	1	802	5.518	367	6.115	2.645
162	UBAI	88	-	-	7	1	75	817	55	488	314
	UBIAÍ	20	-	-	-	-	-	2	18	2	2
166	LASSANCE	558	1	40	-	1	27	283	18	62	132
	VARZEA DA PALMA	442	-	12	-	-	12	9	3	-	32
172	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ	185	3	86	-	-	77	36	45	38	486
173	TRÊS MARIAS	368	-	12	-	-	11	5	3	1	43
355	CRISTALINA	5.627	-	272	-	-	240	529	90	287	538
	DISTRITO FEDERAL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LUZIÂNIA	108.373	6	1.975	1	2	531	1.196	462	442	2.185
359	CAMPO ALEGRE DE GOIÁS	2.556	-	52	-	-	1.264	862	290	151	2.560
	CATALÃO	4.957	2	188	1	1	1.978	15.205	360	108	3.241
	IPAMERI	3.947	2	116	1	1	1.749	272	200	220	1.680
	ORIZONA	3.898	2	303	1	2	207	67	99	64	435

Fonte: IBGE
ANO : 1977

QUADRO: 4.17

situada em Três Marias (BR-040).

A estrutura de transporte na área, no que se refere às ferrovias, restringe-se a Viação Ferroviária do Centro-Oeste, que possibilita a ligação de Brasília com o Estado de São Paulo, passando pelo Triângulo Mineiro, e cortando a área em trecho de aproximadamente 135 km, beneficiando principalmente os municípios de Cristalina e Luziânia.

No sistema rodoviário destacam-se as rodovias BR-040 (Brasília - Rio de Janeiro), asfaltada, interligando o noroeste com o sudeste da área; a BR-050 (Brasília - São Paulo), asfaltada, integrando áreas a noroeste, oeste e sudoeste; BR-251 (Brasília - Salto da Divisa) conectando áreas do norte com o noroeste; BR-365 (Rio Paranaíba - Montes Claros) interligando os municípios de Buritizeiro e João Pinheiro com o município de Pirapora.

Entre as rodovias estaduais sobressaem-se a MG-188 beneficiando os municípios de Vazante, Paracatu e Unaí, MG-181 interligando João Pinheiro e Arinos passando por Brasilândia e Bonfinópolis de Minas; MG-408 conectando a MG-181 com a BR-365 beneficiando os municípios de Buritizeiro e João Pinheiro; MG-181, a qual interliga os municípios de Buritizeiro e São Romão; e, finalmente a MG-479 conectando os municípios de São Francisco e Arinos.

O transporte fluvial pode ser efetuado pelo rio São Francisco, que possibilita o intercâmbio de produção em pequena escala entre os municípios situados a nordeste da área com as principais cidades do Médio São Francisco.

Destacam-se no setor da aviação comercial, as linhas que ligam Brasília a Belo Horizonte, utilizando-se



dos campos de pouso de Luziânia, Cristalina, Paracatu e
João Pinheiro.

5. GEOLOGIA

5.1 Generalidades

Vários trabalhos geológicos foram efetuados na área, entre os quais, devido ao enfoque regional que lhes é peculiar, bem como, por se tratar de abordagens científicas recentes, ou, quando não, preservadas, destacam-se Geologia do Triângulo Mineiro (O. Barbosa et alii), Projeto Três Marias (CPRM/DNPM), Projeto Goiânia (PROSPEC/DNPM), Planoroeste-2 (FJP/Ruralminas) e Projeto Sondagem do Bambuí (CPRM/DNPM).

A partir dos projetos Goiânia, Planoroeste-2 e Três Marias, tornou-se possível uma composição do mapa geológico da área, embora algumas dúvidas ainda persistem sobre a estratigrafia das seqüências de xistos e quartzitos pertencentes ao Grupo Araxá, Grupo Canastra e Formação Ibiá, descritos no presente relatório como Complexos B, C e D da Associação Barbacena, conforme acordos mantidos durante o "Programa de Reuniões para Integração Regional" realizado em Caxambú (1976).

O trabalho Geologia do Triângulo Mineiro (Barbosa et alii) incontestavelmente imbui-se de grande valor científico para o conhecimento da geologia do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, no que se refere principalmente às seqüências Araxá, Canastra e Ibiá, aflorantes no âmbito da área.

O Projeto Sondagem do Bambuí, através de perfis compostos de furos de até 1.400 metros de profundidade, apresentando além da descrição litológica a partir de seus testemunhos, perfis Gama, SP e resistividade, contribui sobremaneira na elucidação das características lito-textu

rais da Formação Paraopeba (Grupo Bambuí) e coberturas de tríticas, e, conseqüentemente, permite visualizar melhor o comportamento destas unidades como aquíferos.

A região estudada está representada em superfície por rochas do Pré-Cambriano pertencentes a Associação Barbacena e Grupo Bambuí, sedimentos do Cretáceo, Terciário-Quaternário e Quaternário.

5.2 Associação Barbacena

Agrupam-se formando esta Associação as rochas pertencentes ao complexo granito-gnáissico, Grupo Araxá, Grupo Canastra e Formação Ibiá, já estudadas por Barbosa (1955) e Barbosa et alii (1970). A denominação Associação Barbacena para estas rochas do Pré-Cambriano, resultou de acordos mantidos durante o "Programa de Reuniões para Integração Regional de Projetos" realizado em Caxambú (1976).

O posicionamento estratigráfico destas rochas ainda não está bem definido e na sua divisão lito-estrutural preferimos denominar de complexos ao Grupo Araxá, Grupo Canastra e Formação Ibiá. Por conseguinte optarse-á no presente estudo pelas denominações de Complexos A, B, C e D, os quais correspondem respectivamente ao complexo granito-gnáissico, Grupo Araxá, Grupo Canastra e Formação Ibiá. Vale ressaltar que o Complexo A correspondente ao complexo granito-gnáissico não ocorre na área, e por esta razão não será abordado a seguir.

5.2.1 Complexo-B (Grupo Araxá)

Representa um conjunto de metamorfitos de facies epidoto-anfibolito que Otávio Barbosa (1955) durante

os estudos realizados no Triângulo Mineiro, nos arredores de Araxá, designou de Grupo Araxá. Consiste principalmente de rochas xistosas com intercalações de quartzitos e anfibolitos.

Esta seqüência de rochas ocorre a oeste e canto sudoeste da área e prolonga-se para além do meridiano de 48° LWGr, no Estado de Goiás.

Conforme mapeamentos do Pré-Cambriano desde o Triângulo Mineiro até o norte de Goiás, realizados pelo PROSPEC e CPRM, tornou-se possível distinguir duas unidades lito-estratigráficas na seqüência denominada Complexo-B. Uma basal, constituída principalmente de quartzitos moscovíticos e ortoquartzitos intercalados por delgados leitos de quartzo-biotita-moscovita-xisto, onde podem ser encontrados também xistos a duas micas e que passam gradativamente a gnais ses. A segunda, em posição sobreposta, é constituída de calcaxistos, xistos verdes e mármores lentiformes. A individualização destas duas unidades no âmbito da área ainda não está bem evidente.

No Complexo B podem ocorrer algumas intrusões de granito e granodiorito, conforme evidências verificadas no povoado de Pires Belo e a oeste do povoado de Sesmária no canto sudoeste da área.

5.2.2 Complexo C

O Complexo C corresponde ao grupo de rochas que O. Barbosa (1955) designou Grupo Canastra em estudos efetuados na serra da Canastra nos arredores de Araxá (MG). Esta seqüência de baixo grau de metamorfismo é constituída basicamente por quartzitos e filitos, aparecendo em menores

proporções xistos e rochas carbonáticas.

Esta seqüência de rochas ocorre no bordo ocidental da área formando um arco que se estreita de sul para norte e em seus afloramentos não se constata um contato direto com as rochas mais antigas. Ainda restam algumas dúvidas sobre a posição stratigráfica do "Canastra". Em estudos efetuados na região sudeste de Minas Gerais, Ferrari e Brandalise (1970) relataram a gradação dos "Grupos" Canastra e Araxá. Esta constatação foi confirmada por Braun e Batista (1976) em observação de campo realizada entre Guia Lopes e Araxá (MG).

Apresentam as rochas do Complexo C um relevo pouco ondulado composto de colinas típicas e alguns morros isolados. A drenagem demonstra em geral um padrão dendrítico, podendo variar para dendrítico - retangular. Os vales apresentam encostas de pendor médio e escarpadas, geralmente em forma de U. Os solos originados dos metamorfitos do Complexo C são pobres, bastante silicosos, se oriundos dos quartzitos, e férteis, quando se originam dos filitos calcíferos. A vegetação predominante é a do tipo cerrado, podendo ocorrer acompanhando os leitos dos rios as matas ciliares.

O Complexo C na área é constituído por uma seqüência de filitos, micaxistos, quartzitos e rochas carbonáticas.

Os quartzitos puros, sericíticos e moscovíticos, constituem intercalações pouco espessas nos filitos e micaxistos, que apresentam tonalidade cinza-esverdeada originando solos de cores amarelas, avermelhadas e alaranjadas. Os filitos e os micaxistos apresentam ainda, uma evidente laminação tectônica a qual imprimiu a estas rochas um

bandeamento. Esta clivagem ou xistosidade faz-se segundo o plano axial das microdobras exibidas pelos relictos preservados entre aqueles planos.

Os filitos constituem-se de quartzo, sericita e clorita. Possuem com frequência intercalações rítmicas de delgadas lâminas de quartzo com sericita e clorita as sociados. São comuns também as infiltrações de quartzo de veio.

Os micaxistos são compostos de quartzo, clorita, moscovita (biotita em relictos) e carbonato. Apresentam-se já com maior granulometria formando agregados de largas palhetas.

As rochas carbonáticas ocorrem tanto como finos corpos lenticulares associados aos micaxistos carbonáticos como formando megalentes intercaladas nos filitos com quartzo associado. Apresentam as rochas carbonáticas (dolomitos) cores esverdeadas, amarronzadas e avermelhadas, em notável ritmia dos leitos de diferentes colorações. Tal laminação é provavelmente de origem tectônica. Encontram-se bastante tectonizadas e percoladas por quartzo de origem hidrotermal.

5.2.3 Complexo D

O Complexo D teve a denominação Formação Ibiá proposta por Barbosa (1955), ao se referir a uma faixa de ocorrência de calcoxistos nos arredores de Araxá (MG), não sendo possível, nessa época, posicioná-la estratigraficamente em relação ao Grupo Canastra.

O projeto Goiânia, através de Robert Dyer, verificou sua continuidade para noroeste até as proximidades da Chapada de Covas (Folha de Anápolis) e definiu as

rochas do Complexo D (F. Ibiá) como mais novas que as do Complexo C (G. Canastra), o que é confirmado pela presença de conglomerado basal com seixos provenientes deste complexo.

Ocorrem as rochas do Complexo D no canto sudoeste e no extremo oeste da área, nas circunvizinhanças do povoado de Santo Antônio e cidade de Campo Alegre de Goiás, bem como ao norte do povoado de Cavalheiros. É facilmente reconhecida no campo pelos seus calcoxistos verdes com lentes, cordões e "olhos" de quartzo branco. É nitidamente discordante do Complexo C, marcada por um conglomerado ocorrente deste o rio Paranaíba, a noroeste de Coromandel, pouco além do paralelo 18°LS, até as nascentes do rio Verde. Este macroclástico contém seixos predominantes de quartzito do Complexo C sotopostos e a matriz é clorítica; pode alcançar em alguns locais algumas dezenas de metros de espessura.

5.3 Grupo Bambuí

A primeira referência à seqüência de rochas pelíticas e carbonáticas que ocorrem em grande extensão na bacia do São Francisco, data de 1879, quando Orville Derby designou-a de Série São Francisco. Riman (1917) pela primeira vez usou o nome Série Bambuí para a mesma seqüência que indevidamente perpetuou-se na literatura geológica sendo-lhe atualmente atribuída a denominação de Grupo (Braun, 1968).

No que diz respeito a evolução dos estudos estratigráficos, já em 1906, Derby sugeriu sua divisão em unidades tectônicas e cronologicamente diferentes. Freyberg (1932), propõe mais tarde sua divisão em duas facies, deno

minadas de Camadas Gerais e Camadas Indaiá. Entretanto, estas duas seqüências correspondem-se, pertencendo a um mesmo nível estratigráfico.

Barbosa e Oppenheim (1932), elaboraram um trabalho de cunho litológico, descrevendo em minúcias os calcários oolíticos da região de Montes Claros e os arcósios de Pirapora. Em 1952, João Miranda acrescentou um novo elemento, o Conglomerado Samburá, situando-o na parte superior da coluna anteriormente definida.

Luciano Jaques de Moraes, em 1937, dividiu a Série Lavras, ao norte de Minas Gerais, na Formação Macaúbas, constituída de filitos, micaxistos, filitos conglomeráticos, arenitos e raras camadas de calcário, e Formação Sopa composta de conglomerados diamantíferos.

A designação Série Lavras, utilizada por Moraes e extraída de Derby (1905), não abrangia as mesmas unidades litológicas, tendo em vista que este a definiu na região de Lavras Diamantinas, no estado da Bahia, embora correlacionasse a identidade litológica desta área com as dos arredores de Diamantina, no estado de Minas Gerais, que aqui formam a Série Espinhaço. O Conglomerado Sopa, para Derby, constitui-se numa seqüência integrante da Serra do Espinhaço, com quartzitos e filitos associados.

Pflug (1963) posicionou a Formação Sopa no conjunto litológico constituinte da Série de Espinhaço (Série de Minas, para o referido autor), e mantendo a posição original de Derby, caracterizou a Formação Macaubas como uma facies da Série São Francisco. Esta afirmação contraria totalmente as observações de Moraes sobre a discordância angular entre a Formação Macaubas e a "Serie" Bambuí. Assim tendo Pflug verificado uma deposição alternada de sedi

mentos típicos do Bambuí e do Macaúbas na região de Francisco Sá (MG) e, também Schimcht, 1969, observado idêntico comportamento, 2 km a noroeste do povoado de Sítio, a sudeste de Bocaiúva (MG), ambos concluíram em dividir a Série São Francisco em duas fácies: Macaúbas e Bambuí.

Scholl e Souza (1970) elevaram a facies Macaúbas a categoria de Grupo e mantiveram a designação de Grupo Bambuí na divisão da Série São Francisco.

Os conglomerados de Macaúbas e de Jequitáí mostram em diversas localidades uma passagem gradativa para os arenitos, siltitos e pelitos carbonáticos do Grupo Bambuí (Projeto Três Marias). Por outro lado, a espessura máxima do conjunto pefítico, incluindo lentes areníticas, e os "ritmitos", dificilmente ultrapassa duzentos metros. Atribuindo a essa unidade o caráter de grupo, haveria uma incoerência em relação as sequências Paranoá, Paraopeba e Três Marias que possuem a denominação de formação e que são mais espessas e complexas. Daí a tendência, conforme cita o Projeto Três Marias, de se denominar Formação Macaúbas, incluindo-a no Grupo Bambuí.

Durante o XIV Congresso de Geologia, Costa e Branco (1960), propuseram para o Grupo Bambuí a seguinte divisão: Formação Sete Lagoas e Formação Rio Paraopeba, sendo esta última dividida em em quatro membros (Serra Santa Helena, Lagoa Jacaré, Três Marias e Serra da Saudade).

O. Barbosa (1965) fez algumas modificações na coluna, introduzindo as Formações Samburá e Paranoá, esta última denominada por Andrade Ramos (1965), que a considerou, inicialmente, como pertencente ao Grupo Canastra.

Braun (1966) concluiu que, pela descontinuidade dos calcários, margas, siltitos e argilitos, estes ele

mentos litológicos devem representar facies. Em relatório entregue ao Departamento Nacional de Produção Mineral (1967) propõe Braun, uma divisão em quatro facies: Três Marias, Indaiá, Sete Lagoas e Paranoá. No ano seguintes, após completar o mapeamento de toda a área de ocorrência do Bambuí, a oeste do meridiano 46° Gr. e a norte do paralelo 20° de latitude sul, totalizando uma área de aproximadamente 100.000 km^2 , Braun elaborou uma coluna estratigráfica válida para a região em estudo, cujas unidades fossem perfeitamente definidas e mapeáveis.

Deu à "Série Bambuí" a categoria de Grupo, dividindo nas três formações seguintes: Formação Paranoá, Formação Paraopeba e Formação Três Marias. Esta divisão foi definida em estudos efetuados nos bordos meridional e ocidental da bacia do Grupo Bambuí. Com relação ao bordo oriental, a seqüência inferior do Grupo Bambuí denominada de Formação Macaúbas, pode provavelmente, representar a Formação Paranoá do bordo ocidental. Para que a estratigrafia do Super Grupo São Francisco alcance um caráter definitivo no que se refere a sua unidade basal, torna-se necessário proceder estudos comparativos dos aspectos sedimentares nos diferentes bordos, que, sem dúvida, foi controlada pelos diferentes graus de estabilidade dos mesmos, durante a evolução da bacia.

5.3.1 Formação Paranoá

Esta unidade foi descrita por Barbosa e Braun (1968) na Chapada dos Veadeiros, na parte sul do município de Alto Paraíso de Goiás e na Serra Negra no município de Patrocínio, no noroeste de Minas Gerais. Ambas as localidades estão situadas fora dos limites da área. Na Chapada

dos Veadeiros a espessura total da Formação Paranoá é de 3.800 metros e se constitui no único lugar onde se conhece a base desta unidade.

Na área as rochas de Formação Paranoá representam dorsos de anticlinais, constituindo, geralmente, cristas de direção que variam de NNW-SSE para N-S. Constituem uma seqüência com algumas dezenas de metros de quartzitos, metassiltitos e arenitos de granulometria média a grosseira possuindo uma matriz calcífera; sobre estas litologias assentam-se os calcários ou margas da Formação Paraopeba. Em Cristalina predominam em superfície rochas quartzíticas sob forma de dorso de anticlinal apresentando cristas de direção aproximadamente N-S e regionalmente com altitudes em torno de 1.250 metros.

No município de Unaí ocorrem arenitos de granulção média a grosseira e metassiltitos, constituindo uma seqüência de pequena espessura formando cristas com direção em torno de NNW-SSE que se sobressaem no relevo regional.

Além das exposições já citadas, a Formação Paranoá ocorre, ainda, no centro da folha BH-NO, formando uma faixa irregular de direção NW-SE cujas extremidades são o rio Paracatu e seu afluente ribeirão Inhauma pela margem esquerda. Ao longo da falha João Pinheiro a Formação Paranoá ocorre em uma faixa estreita, por vezes descontínua, e esta representada por macroclásticos, geralmente maduros. São arenitos de cor cinza-avermelhada, granulometria média a grosseira, mal selecionados, constituídos essencialmente por grânulos de quartzo subangulares com esfericidade média.

5.3.2 Formação Paraopeba

Representa a unidade de maior extensão no âmbito da área. Ocorre em superfície, predominantemente em áreas do centro-oeste, norte, noroeste e sul e em menor expressão em áreas do canto nordeste da folha. A Formação Paraopeba apresenta-se morfologicamente bastante diversificada, estando os detalhes diretamente subordinados à natureza litológica e estruturas resultantes das deformações tectônicas. As áreas de facies marginal constituídas de sedimentos argilo-carbonáticos, e onde há uma predominância de material pefítico, o relevo está morfologicamente arrasado, constituindo uma paisagem monótona, formada por ondulações suaves onde se desenvolvem uma drenagem do padrão dendrítico, com baixa densidade de cursos de rios. Nas zonas perturbadas tectonicamente, as estruturas condicionaram o relevo, o padrão e a intensidade de drenagem. O relevo apresenta-se arrasado embora com ondulações mais frequentes e salientes. A drenagem é densa e o padrão dendrítico com parcial controle estrutural. As zonas mais calcíferas apresentam cristas monoclinais alinhadas, orientando nitidamente o relevo na direção geral norte-sul.

A Formação Paraopeba recobre as rochas da Formação Paranoá ou as litologias pré-cambrianas das unidades que compõem a Associação Barbacena. O tipo de contato com as rochas dessa associação dá-se sempre por uma superfície erosiva, constituindo uma discordância angular do tipo inconformidade.

A Formação Paraopeba, unidade predominante na área em estudo, situa-se na porção marginal do flanco ocidental da bacia e se constitui principalmente de rochas pelíticas e carbonáticas, agrupando rochas dolomíticas, argilo-carbonosas, ardósias calcíferas, ardósias sílticas, margas e calcarenitos (figs. 5.1 a 5.5). As rochas

FURO <u>01PSB - 10 - MG</u>			EXECUTADO <u>CPRM</u>
PROJETO <u>Sondagem Bambuí - MG</u>			PARA <u>DNEM</u>
LONGITUDE <u>46° 48' 40"</u>			SONDA <u>LY - 44</u>
LATITUDE <u>16° 50' 32"</u>			INÍCIO <u>27.01.78</u>
LOCAL <u>Serra da Aldeia</u>			CONCLUSÃO <u>19.07.78</u>
MUNICÍPIO <u>Paracatu</u>			
Estratigrafia	Profundidade (m)	Perfil Eac. 1 : 2.500	LITOLOGIA
Q	27,65		Material argiloso a areno-argiloso, amarelado.
	187,65		Dolomito cinza-claro, gran. fina, com intercalações argilo-dolomíticas, argilo-carbonosas e argilosas. Presença de vênulas discordantes de quartzo e calcita, e pirita.
	238,95		Dolomito com intercalações argilo-carbonosas e intensamente tectonizados.
	476,45		Dolomito cinza-escuro e cinza-claro, gran. fina, com ocorrência de brechas de matriz dolomítica ou argilo-carbonosa. Apresentam intercalações tectonizadas com lâminas e camadas argilo-carbonosas preenchendo fraturas; vênulas de dolomita e ocorrência de pintas de blenda associada a pirita.
FORMAÇÃO PARAQUEBA - GRUPO BAMBUÍ	1400		Intervalo de rochas argilo-carbonosas de cor negra a cinza-escuro com intercalações de lâminas e camadas siltico-arenosas a arenosas. Alguns intervalos são intensamente tectonizados com presença de brechas, falhas e dobras. Presença de vênulas de quartzo, calcita, dolomita e pequenas concentrações de pirita.

Fig. 5.1

FURO <u>01PSB - 04A - MG</u>			EXECUTADO <u>CPRM</u>
PROJETO <u>Sondagem Bambuí em MG</u>			PARA <u>DNPM</u>
LONGITUDE <u>46°40'23"</u>			SONDA <u>LY - 44</u>
LATITUDE <u>17°48'24"</u>			INÍCIO <u>04.04.77</u>
LOCAL <u>Faz. Biboca</u>			CONCLUSÃO <u>05.08.77</u>
MUNICÍPIO <u>Vazante</u>			
ESTRATIGRAFIA	PROFUNDIDADE (m)	Perfil Esc. 1 : 2.250	L I T O L O C I A
FORMAÇÃO PARAÍPEBA - GRUPO BAMBUÍ	78,7		Matéria arenosa a areno-argiloso com níveis argilosos e matações de quartzito no topo. Caverna entre 75,8 e 78,7 m.
	106,5		Dolomito silicificado. Fraturas preenchidas.
	157,4		Rocha argilo-dolomítica carbonosa, com veios de quartzo, venulada. Tectonismo intenso.
	712,6		Rocha dolomítica, cinza claro a cinza escuro. Veios de quartzo e vênulas de quartzo, dolomita e calcita. Níveis bastante silicificados e faixas brechóides. Fraturas preenchidas e níveis retrabalhados.
	894,9		Rocha argilo-carbonosa, negra, laminada com finas faixas de dolomito e calcita preenchendo fraturas.

Fig.5.2

FURO <u>OlPSB - 09 - MG</u>			EXECUTADO <u>CPRM</u>
PROJETO <u>Sondagem Bambuí em MG</u>			PARA <u>DNPM</u>
LONGITUDE <u>46° 51' 55"</u>			SONDA <u>LY - 44</u>
LATITUDE <u>17° 19' 33"</u>			INÍCIO <u>21.12.76</u>
LOCAL <u>Serra do Landim</u>			CONCLUSÃO <u>14.03.77</u>
MUNICÍPIO <u>Paracatu</u>			
Estratigrafia	Profundidade (m)	Perf(1) Esc.1 : 2.100	LITOLOGIA
Q	63,2		Material filitoso, dolomítico, com vênulas de calcita, dobras e falhas.
FORMAÇÃO PARAPEBA - GRUPO BAMBUÍ	347,4		Rocha filitosa, verde a verde acinzentada, com sequências rítmicas, veios de sílica e vênulas de calcita e/ou dolomita. Falhas preenchidas e dobras.
	408,1		Dolomito com intercalação de rocha cinza e verde. Veios e vênulas de quartzo.
	794,5		Rocha argilo-carbonosa com intercalações de meta-arenito. Níveis bastante silicificados, veios de quartzo, vênulas de quartzo e/ou dolomita. Na base apresenta dolomito silicificado com intercalação carbonosa.
	1.056,2		Rocha argilo-carbonosa, negra, rítmica, com níveis dolomíticos carbonosos. Níveis brechóides, veios e vênulas de quartzo e dolomita.

Fig. 5.3

FURO <u>01PSB - 06 - MG</u>			EXECUTADO <u>CPRM</u>
PROJETO <u>Sondagem Bambuí em MG</u>			PARA <u>DNPM</u>
LONGITUDE <u>46°50'05"</u>			SONDA <u>BBS -35</u>
LATITUDE <u>17°30'07"</u>			INÍCIO <u>20.10.76</u>
LOCAL <u>Jazida Morro Agudo</u>			CONCLUSÃO <u>18.02.77</u>
MUNICÍPIO			
Estratigrafia	Profundidade (m)	Perfil Esc.1 : 2.000	LITOLOGIA
Q	38,6		Solo areno-argiloso.
FORMAÇÃO PARAÍPEBA - GRUPO BAMBUÍ	145,4		Dolomito com finas películas verdes. Veios de quartzo e intercalações calcíferas.
	170,8		Rocha argilo-carbonosa.
	229,4		Rocha dolomítico-argilosa com veios de quartzo, venulado com intercalações argilosas.
	297,0		Dolomito bege esverdeado com veios de quartzo.
	806,3		Sequência de rocha esverdeada com níveis rítmicos. Fraturas preenchidas por calcita, quartzo e dolomita.
950,0		Dolomito cinza a cinza escuro com veios de quartzo leitoso e dolomita.	

Fig. 5.4

FURO <u>01PSB - 07 - MG</u>			EXECUTADO <u>CPRM</u>
PROJETO <u>Sondagem Bambuí em MG</u>			PARA <u>DNPM</u>
LONGITUDE <u>46°50'05"</u>			SONDA <u>LY - 44</u>
LATITUDE <u>17°32'11"</u>			INÍCIO <u>23.10.76</u>
LOCAL <u>Morro do Capão</u>			CONCLUSÃO <u>21.02.77</u>
MUNICÍPIO			
Estratigrafia	Profundidade (m)	Perfil Esc. 1 : 2.000	LITOLOGIA
Q	37,7		Solo argiloso com seixos
	127,9		Dolomito cinza escuro a cinza claro com níveis argilosos, silicificados, com veios e vênulas de dolomita.
	174,7		Rocha dolomítico-argilosa, rítmica, com base argilo-carbonosa.
	320,0		Dolomito cinza claro a cinza escuro, compacto, silicificado, com níveis argilo-carbonosos e faixas brechóides.
	564,5		Material brechóide com grande quantidade de matriz, seixos silicificados, compactos e venulados por calcita branca.
	900,0		
FORMAÇÃO PARAÍPEBA - GRUPO BAMBUI			

Fig. 5.5

carbonáticas ocorrem em áreas dos municípios de Vazante, Paracatu, Unaí e João Pinheiro acompanhando grandes falhas de direção regional que varia de NNW-SSE à N-S.

5.3.3 Formação Três Marias

A Formação Três Marias ocorre principalmente na porção oriental da área constituindo o interflúvio entre os rios Caatinga e Verde, em áreas do alto e médio curso do rio Caatinga, bacia do rio do Sono, nos médios e baixos cursos dos rios Paracatu e Urucuia e às margens do rio São Francisco, no canto sudeste. Ocorre, provavelmente, ainda, em uma faixa estreita na porção ocidental que inicia a 8 km a norte do riacho da Prata e prolonga-se com direção N-S, até a serra dos Pilões.

Em grande parte de sua ocorrência acha-se coberta, quer por sedimentos cretáceos quer por coberturas diferenciadas (TQi e Qphi). Apresenta-se praticamente horizontalizada em quase toda sua área de exposição. Exibe um relevo mais ou menos arrasado com ondulações suaves. O intemperismo físico predomina sobre o químico, sendo frequente a ocorrência de grandes blocos de configuração esferoidal. A alternância de estratos com litologias diferentes (arcósios e siltitos calcíferos), reflete de forma diferente em resposta aos efeitos erosivos, produzindo um relevo suavemente escalonado.

Devido à relativa similaridade granulométrica (siltito grosseiro e arenito fino) entre o topo e a base das Formações Paraopeba e Três Marias, respectivamente, há uma identidade muito grande entre seus relevos quando aquela unidade apresenta-se horizontalizada.

O elúvio, em geral, é pouco profundo, não al

cançando mais de 2 a 3 metros, apresentando uma cor verme
lho-amarronzada para os arcósios e mais avermelhada, com
espessura maior, para os siltitos. Varia de silto -arenoso
a arenoso nas regiões de franco domínio das rochas arcosea
nas.

A rede de drenagem é do tipo dendrítico, porém
menos densa que aquela referente à Formação Paraopeba quan
do tectonizada, sendo constante a presença de corredeiras
e cachoeiras.

O contato basal da Formação Três Marias dá-se
sempre com a Formação Paraopeba através de uma facies de
transição, constituída por siltitos cinza-esverdeados, cal
cíferos. Nas margens do rio Urucuia a facies marginal de
transição é representada por um conglomerado com matriz a
renosa, localmente calcífera e seixos de rochas diversas.

Estas unidades pefíticas representam, provavel
mente, uma discordância paralela do tipo para-conformida
de.

Esta unidade caracteriza-se por uma constância
litológica regional, e, mais ainda, pelas estruturas sedi
mentares primárias que são típicas e persistem em toda a
área aflorante. A cor primária é marrom-avermelhada, embo
ra as camadas basais apresentem tonalidades cinza-chumbo e
cinza-esverdeada.

A serra das Maravilhas, interflúvio entre os
rios Caatinga e Verde, constitui um acidente geográfico de
destaque na bacia do rio Paracatu, apresentando uma secção
-tipo bem caracterizada da Formação Três Marias, represen
tada por um siltito de cor cinza-esverdeada, cimento calcí
fero, apresentando ao longo do acamamento níveis lenticula
res e marcas de ondas preenchidas por arenito fino micáceo
com miniestratificação cruzada de corrente, estando o topo

parcialmente truncado (lenticular bedding). Apresenta gretas de ressecamento com dimensões centimétricas. Este siltito constitui a litologia da Formação Três Marias, aflorante nas áreas das baixadas banhadas pelo rio Caatinga e ribeirões S. Bartolomeu e S. Teresa. A área de domínio desta litologia está delimitada ao norte pela serra das Maravilhas e a leste pelo chapadão arenoso sobre o qual está assentada a rodovia que interliga João Pinheiro e Canabrava.

Bons perfís podem ser obtidos nas encostas das chapadas entre as cidades de São Francisco (fora da folha) e a vila de Urucuia. No topo do chapadão predomina um arenito fino, cinza chumbo com manchas vermelhas irregulares produzidas por intemperismo; matriz argilo- calcífera e mal selecionamento. Há níveis conglomeráticos intercalados com seixos milimétricos e siltito micáceo, com formas placóide e ovalada. Grânulos médios e grosseiros de quartzo encontram-se dispersos no corpo da rocha e, por vezes, concentrados, constituindo níveis mais grosseiros. A base da seqüência é constituída por argilito síltico esverdeado, cimento calcífero com minerais micáceos concentrados ao longo do acamamento. Intercalam-se estratos finos lenticulares de arenito fino, micáceo, calcífero com seixos milimétricos de siltito verde e bolotas de argilito, constituindo acamamento lenticular.

Na sua grande maioria os seixos de arenito fino feldspático e de siltito são provavelmente resultantes da desagregação da facies silto-arenosa da Formação Paraopeba. Estudos petrográficos, no entanto, sugerem que os seixos dos arcósios são idênticos aos encontrados na Formação Três Marias, apesar de não ter encontrado em nenhum deles quaisquer sinais das estruturas sedimentares freqüentes e típicas desta unidade. A Formação Três Marias é re

gressiva e parece estar diretamente relacionada com o levantamento da Serra Geral de Goiás.

5.4 Cretáceo

As primeiras observações sobre a ocorrência do Cretáceo em Minas Gerais foram aventadas por Oliveira (1881) que assinalou a presença de arenitos vermelhos no vale do rio Chumbo e na região de Abaeté. Entretanto, Willians (1914) é o primeiro a se referir formalmente a estas rochas, chamando arenito Areado a seqüência arenítica mesozóica inferior e de arenito Capacete aos arenitos de caráter cinerítico que se posicionam logo acima da seqüência anterior. Em seguida, Willians (1914 - 1925) e Rinan (1917) elaboraram trabalhos sobre os tufos melanocráticos do planalto Mata da Corda.

Oliveira (1926) denomina "arenito"Urucuia aos arenitos que cobrem as serras e chapadões que dividem as bacias dos rios Tocantins e São Francisco, já descritos anteriormente por Derby (1879), Oliveira (1881) e Moraes Rego (1926 - 1930).

Outros estudos importantes sobre o Cretáceo foram efetuados, entre cujos autores destacam-se Freyberg (1932), Barbosa(1984), Ladeira e Brito(1963 - 1968), Massui (1968), Cardoso(1968), Barbosa et alii(1970), Braun (1970) e Sad, Cardoso e Costa(1972).

Por ocasião do XXV Congresso de Geologia(1971) realizou-se uma Mesa Redonda, da qual participaram Ladeira, Barbosa, Price e Sad, com o objetivo de integrar a grande quantidade de informações sobre o Cretáceo de Minas, visando estabelecer uma coluna estratigráfica uniforme numa tentativa de eliminar conceitos conflitantes. Concluíram os compo

nentes em considerar a seqüência Areado como formação, divi
dida em facies Abaeté, Quiricó e Três Barras. Os vulcanitos
e vulcanoclastos do planalto da Mata da Corda foram engloba
dos sob a denominação de Formação Mata da Corda (Ladei
ra e Brito, 1968), apresentando a divisão Patos e Capacete
com o sentido de facies. A facies S. Gonçalo (Ladeira e Bri
to, 1968) é correlacionada com a facies Urucua (Sad et a
lii, 1971).

Concluíram ainda que a Formação Serra Negra
passaria a denominar-se, por questão de prioridade, Urucua
(Sad et alii, 1971). Esta denominação foi usada originalmen
te por Oliveira (1926) mas com o significado de formação.

As Formações Urucua e Mata da Corda são con
sideradas contemporâneas apesar dos precários conhecimentos
que se tem das mesmas. A relação entre as Formações Areado
e Urucua ainda são duvidosas e insatisfatórias.

No âmbito da área em estudo, o Cretáceo está
representado pelas Formações Areado, Mata da Corda e Uru
cua as quais serão abordadas a seguir.

5.4.1 Formação Areado

A Formação Areado ocorre em áreas de pouca ex
pressão ao sul da área nos altos cursos dos rios do Sono
e da Prata. É uma unidade pefítica por excelência, onde
predominam conglomerados, conglomerados arenosos, arenitos
líticos e arenitos seixosos. A matriz é um arenito gros
seiro, argiloso, mal selecionado, com grânulos de quartzo
sub-arredondados e de média esfericidade. Devido a ocor
rência inexpressiva na área deixaremos de tratar esta unida
de em maiores detalhes.

5.4.2 Formação Mata da Corda

Ocorre em uma faixa disposta em forma de arco no canto sudeste como um dos componentes geográficos do interflúvio-Chapada dos Gerais-entre os rios Formoso e do Sono. Aflora também em pequenas áreas ao sul de João Pinheiro formando a serra dos Alegres e em áreas ainda menores nos altos cursos dos rios Tabocas e da Prata e na serra das Maravilhas no interflúvio entre os rios Caatinga e Verde.

Em área de predominância da facies arenítica estes chapadões formam extensas superfícies aplainadas, monótonas, sem qualquer expressão topográfica ressaltável. Graças a efeitos de silicificação e/ou laterização existentes nos topos, os arenitos adquiriram consistência suportandando as ações intempéricas. Em conseqüência, o relevo atingiu a senilidade, constituindo extensos chapadões, mesas, mesetas, com escarpas abruptas.

A Formação Mata da Corda está representada na área em estudo, através de sua facies arenítica que apresenta um estágio avançado de intemperismo, constituído de solo vermelho-bordô. Esta coloração secundária origina-se por intemperismo devido a presença de hidróxidos de ferro resultantes, provavelmente, do retrabalhamento das camadas vermelhas mais antigas. Sua unidade basal consta de um conglomerado epiclástico extraformacional (ortoconglomerado), polimíctico. Os megaclastos alcançam dimensões máximas de 8 cm x 5 cm, com graus de esfericidade e arredondamento variáveis, originados da desagregação de rochas cretáceas. Apesar de se considerar como Mata da Corda a Chapada dos Gerais, esta pode ser confundida com coberturas

do TQi.

5.4.3 Formação Urucuaia

A Formação Urucuaia ocorre em áreas de pequena expressão ao noroeste e sul de Bonfinópolis de Minas, recobrindo as Formações Paraopeba ou Três Marias.

Os remanescentes desta unidade ocorrem como retalhos de conformações irregulares, esparsamente distribuidos, na confluência dos rios Preto e Paracatu e nas proximidades de Bonfinópolis de Minas. Ocupando cotas mais elevadas, os arenitos desta formação constituem extensos chapadões, mesas e mesetas, aplainados, com bordos suavemente escarpados. Consta essencialmente de uma facies psefítica basal e uma psamítica no topo. Ao sul de Bonfinópolis de Minas a litologia desta unidade é a seguinte:

- Arenito cinza-róseo, matriz argilosa, parcialmente intemperizado e seleção granulométrica regular. Intercalam-se níveis descontínuos em formato de pequenos paleocanais, preenchidos com arenitos médios, com pouca matriz. Nestes níveis o quartzo tem granulometria maior que a predominante na rocha. São subangulares a subarredondados. Têm estratificação cruzada de corrente, tipo acanalado. Na parte superior dessa sequência, gradua-se para um arenito fino, já passando a siltito grosseiro parcialmente intemperizado, poroso, muito friável, aspecto maciço, mas não evidenciando estruturas primárias. Este conjunto litológico é semelhante ao que se encontra na base da serra das Araras, que vem a ser um prolongamento sul da serra Geral de Goiás, situada ao norte da área do Projeto. A mesma foi considerada como "locus tipus" da Formação

Urucuia, pelos integrantes da Prospeção no relatório Brasília.

O chapadão da serra geral do rio Preto, embora ocupe uma extensa área é, na sua grande maioria, recoberto por areias provenientes da desagregação do arenito Urucuia e são raríssimos os locais onde a rocha ainda é preservada na sua forma original.

Embora admitissem que o conhecimento da Formação Urucuia era precário, os integrantes da Mesa Redonda do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia consideraram uma contemporaneidade entre a época da deposição do arenito Urucuia e o vulcanismo ultrabásico alcalino da Mata da Corda. Braun (1969) correlaciona esta unidade com a Formação Serra Negra, descrita por técnicos do Conselho Nacional do Petróleo, no estado do Maranhão.

O vulcanismo da Mata da Corda foi datado no Centro de Pesquisas Geomorfológicas da U.S.P. por Y. Hassui e U.G. Cordani, em 1968 (in Braun), em torno de 80m.a. Consequentemente, a época da sedimentação da Formação Urucuia estaria situada no intervalo Turoniano-Senoniano. Provavelmente o arenito Urucuia foi depositado em um ambiente desértico, possivelmente eólico, embora em alguns locais ainda apresente evidências de ambiente desértico com características mistas.

5.5 Terciário-Quaternário (Coberturas Indiferenciadas).

Tratam-se de coberturas detríticas laterizadas que se desenvolvem sobre as diversas unidades, possuindo cotas variando entre 800 a 1.200 metros, com cotas maiores na porção extremo ocidental da área onde recobrem as unidades

des da Associação Barbacena e Formação Paraopeba. Estas rochas sedimentares distribuem-se por toda área do projeto e constituem, por vezes, localmente, mais de uma superfície com níveis ligeiramente mais baixos, porém com as mesmas características. Sobre os remanescentes mais elevados das antigas superfícies de erosão (Ciclo Sul-Americano), distribuem-se areias, cascalhos e material siltico-argiloso inconsistente ou parcialmente lateritizados ("silcrete ou ferricrete") que podem alcançar dezenas de metros de espessura. O teor das areias e argilas apresenta-se em proporções variáveis, sendo frequentes o desenvolvimento de horizontes de cascalheiras provenientes de conglomerados detriticos por vezes cimentados por limonita e blocos de canga ferruginosa (BHNO - 350, 352 e 353).

Na porção oriental da área as porções mais elevadas começam a apresentar por alterações, fenômenos de laterização e desagregação das rochas mais antigas, principalmente da Formação Três Marias, formando colúvios que, a partir dos testemunhos desta formação derramam-se sobre as chapadas, ocultando as vezes os remanescentes esparsos da Formação Areado. Sob estas coberturas, as camadas sub-horizontais da Formação Três Marias foram completamente lavadas, restando um arenito muito fino, com leitos micáceos, que se assemelha as camadas Areado, com as quais podem se confundir.

A partir de perfil geo-elétrico, a Fundação João Pinheiro conclui que na região de Bonfinópolis de Minas os sedimentos do Terciário-Quaternário (TQi) apresentam espessuras que variam de 6 a 50 metros. Torna-se mister ressaltar que este pacote detritico segundo o Projeto Três Marias, corresponde a coberturas do Terciário-Quaternário Indiferenciado, e conforme mapa geológico da Fundação

ção João Pinheiro representa sedimentos das Formações Urucuaia e Areado.

Em perfil litológico do poço tubular BHNO-350 perfurado ao norte de Luziânia a espessura do Terciário-Quaternário determinada corresponde a 65 metros. Apresenta estes sedimentos uma predominância de argila com horizontes de cascalho no intervalo de 42 a 65 metros.

5.6 Quaternário

5.6.1 Quaternário Pleistoceno-Holoceno (Indiferenciado - Qphi)

Estas coberturas detríticas não lateritizadas, desenvolvem-se sobre superfícies, com altitudes médias de 500 a 600 metros, condicionadas, geralmente, aos níveis bases de erosão dos principais cursos de água.

O material retrabalhado das coberturas antigas foi redistribuído pelos terraços e planícies em expansão da drenagem mais recente (ciclo Velhas), ocupando sobre a forma de colúvios as encostas mais suaves, onde torna-se difícil a separação dos depósitos mais antigos. Sua maior distribuição é provavelmente pleistocênica, dado as formas fósseis encontradas nas planícies dos rios São Francisco e Paracatu, contudo, continuam a se acumular durante o holoceno.

Distribuem-se predominantemente na porção oriental da área nas bacias dos rios Paracatu, Urucuaia e São Francisco.

Sobre as chapadas peneplanizadas, exibidas pela antiga planície de inundação dos principais rios, acumula

mulam-se espessas coberturas de solo, que podem ser divididas pedologicamente em estágios eluvionar e coluvionar. A espessura eluvionar constitui-se de uma capa de solo siltico-argiloso de cores variando de branco-amarelado a amarelado, com tonalidades avermelhadas. Em horizonte inferior ocorrem rochas intemperizadas (siltitos ou arcósios), sem estruturas, porém coesas. A faixa coluvionar é composta de três níveis, embora no perfil pedológico geralmente não se apresente completa. O primeiro nível assentado sobre o horizonte A da faixa coluvionar é constituído de seixos arredondados e angulosos de quartzito, quartzo e arenitos. O segundo nível compõe-se de seixos pouco arredondados e até angulares, de arcósios vermelhos, friáveis, e siltitos arcosianos, de coloração avermelhada. O terceiro nível trata-se de uma camada de sedimentos siltico-arenosos (finos) de coloração marrom-avermelhada.

Em perfil geo-elétrico efetuado entre Santa Fé de Minas e São Romão pela Fundação João Pinheiro, constatou-se uma profundidade de nível de saturação entre 15 e 20 m, espessura máxima de 50m e uma espessura média de 25m.

Na área de Brasilândia, a espessura detrítica não foi quantificada na perfilagem geo-elétrica realizada pela Fundação João Pinheiro por apresentar respostas geo-elétricas semelhantes aos siltitos arcosianos e arcósios da Formação Três Marias.

Nas sondagens SJP-01 e SJP-02 a espessura do pacote de composição quartzosa agrupando a cobertura detrítica do Quaternário (Qphi) e seqüência de siltitos arcosianos e arcósios da Formação Três Marias atingiu valores de 40 e 48 metros respectivamente. Em São Romão a espessura da cobertura corresponde a 10 metros conforme consta em perfil litológico de poço tubular perfurado pela COPASA.

5.6.2 Depósitos Recentes (Qha)

As aluviões principais ocorrem margeando os leitos dos rios São Francisco, Paracatu, Urucuia, Verde, Caatinga e baixo curso do rio do Sono. São materiais constituídos por uma sedimentação detrítica areno-argilosa, transportada pelos rios e depositada ao longo de suas planícies e inundação. Numa secção ao longo do canal é comum a existência de leitos de cascalhos e terraços aluvionares.

Em geral compõem-se de sedimentos predominantemente quartzosos, de granulação variando entre areia grossa e fina. Num perfil lateral ao longo da planície aluvial há diminuição gradativa da granulometria, sendo que nas áreas mais afastadas do canal predominam sedimentos síltico-argilosos.

As planícies aluvionares, quando extensas, apresentam uma drenagem de padrão anostomático, em que os cursos dos rios vagueiam em meandros desordenados. Em consequência deste comportamento é comum a presença de braços abandonados (os-bow-lake), canais entrelaçados, diques marginais e pequenos lagos.

Em São Romão foram executadas pela Fundação João Pinheiro sondagens elétricas (SSR-08 e SSR-13), que indicaram espessuras do domínio geo-elétrico de baixa resistividade superficial na ordem de 40 a 50m, domínio este que deve englobar, conforme cita Planoroeste-2, aluviões (Qha) e calcário alterado da Formação Paraopeba subjacente.

5.7 Tectônica

Até o Cambriano, a plataforma Sul-Americana

sofreu uma intensa movimentação resultando áreas intensa mente dobradas e metamorfisadas. Teríamos então a forma ção do arcabouço tectônico das rochas da Associação Barba cena. "A bacia Bambuí formou-se pelo levantamento de dois maciços orogênicos oriental e ocidental que provavelmente unir-se-iam no sul em posição que corresponderia atualmen te à serra da Mantiqueira. É a bacia Bambuí intractônica, e manteve-se impertubável até o final de sua sedimentação quando iniciou o processo tectônico que lhe daria a atual configuração". (Braun, 1968).

O processo tectônico responsável pela atual configuração da área em estudo resultou da ação de esfor ços tangenciais dirigidos dos bordos leste e oeste da ba cia Bambuí para um eixo central que coincide com o alto da serra Geral de Goiás. Redundaria este processo numa estru turação que começa no bordo com grandes escamas de empur rão superpondo rochas mais antigas e mais metamórficas so bre mais novas e menos metamórficas; indo, a medida que se intensificaram os esforços, passando a falhas inversas. Va le ressaltar que nos bordos da bacia Bambuí, há um intenso dobramento que se suaviza para o centro onde surgem cama das praticamente horizontais.

Conforme cita Braun(1968), as estruturas nos bordos apresentam dobramentos complexos e uma freqüen te repetição de camadas que dificultam bastante a interpre tação da geologia.

Os metamorfitos da Associação Barbacena apre sentam notável laminação tectônica que imprimiu um perfei to bandeamento à rocha. Vale ressaltar que tanto a cliva gem como a xistosidade apresentam-se dobradas. Esta seqüên cia de rochas sofreu no mínimo três fases tectônicas.

As rochas do Complexo B(Grupo Araxá) fazem

contato de falha de empurrão com as rochas do Grupo Bambuí. A sequência de rochas do Complexo C (Grupo Canastra) assentam concordantemente sobre as rochas do Complexo B. Ainda existem dúvidas sobre o posicionamento estratigráfico do Complexo C. O Complexo D (Formação Ibiá), constituído de calcoxistos verdes com lentes, cordões e "olhos" de quartzito branco, é nitidamente discordante do Complexo C por um conglomerado que se destaca nas nascentes do rio Verde e continua até noroeste de Coromandel.

O Grupo Bambuí constitui um espesso pacote de rochas metassedimentares e sedimentares com marcante discordância com a unidade inferior. Seus elementos direcionais principais de estrutura se orientam segundo as direções N, NNE e NNW, ao nível regional, com pequenas variações locais.

O conjunto Paraopeba-Três Marias caracteriza-se por apresentar faixas que sugerem diferentes graus de tectonismo, onde áreas intensamente dobradas alternam-se com outras praticamente horizontalizadas. De leste para oeste a intensidade dos dobramentos atenua-se gradativamente, passando as rochas a apresentar mais assiduamente dobras do tipo concêntrico, quando os estratos tendem a horizontalizar-se, apresentando suaves mergulhos para NW.

Em geral predominam dobras do tipo flexuras de dobramentos (flexural slip fold). Os flancos das estruturas regionais têm direções $N15^{\circ}E$ e $N20^{\circ}W$.

Os grandes falhamentos têm caráter inverso e são desenvolvidos ao longo das charneiras das estruturas anticlinais por esforços compressivos de ruptura por escorregamento. Estas zonas de fraqueza são desenvolvidas preferencialmente na direção NNW ($N30^{\circ}W$), com formação de ângulo forte ao longo dos planos da folha (40° a $45^{\circ}SW$).

As diáclases ocorrem em dois sistemas principais, com direção N70°W e outro N60°E.

Como a Formação Paraopeba é transgressiva, sua base não se limita somente sobre a unidade inferior do Grupo Bambuí (Formação Paranoá), recobrando seqüências de rochas bem diversas. Quase sempre encontra-se um conglomerado basal, em geral, de pequena espessura.

As unidades cretáceas apresentam-se horizontalizadas, sem evidências de tectonismo, a não ser pequenas falhas de acomodação e estruturas de escorregamento (slumping).

5.8 História Geológica

Até o Cambriano a plataforma Sul-Americana passou por uma intensa movimentação resultando áreas intensamente dobradas e metamorfisadas. Corresponderia ao período que redundaria na formação do arcabouço tectônico das rochas da Associação Barbacena. Antes da ingressão dos mares Bambuí, toda a região continental circunvizinha foi aplainada fazendo com que os grandes relevos topográficos fossem reduzidos. Assim, a transgressão marinha se deu sobre uma região relativamente plana, retrabalhada. A partir do Pré-Cambriano as plataformas apresentaram uma movimentação epirogenética negativa. Depositaram-se nesta época os calcários inferiores.

O início de levantamento das áreas continentais teria originado influxo de clásticos finos na calmaria daquela bacia epicontinentais. O clima provavelmente era relativamente úmido, o fluxo da água doce que fluía para a bacia era significativa e teria abaixado o pH das águas da bacia, impedindo a deposição de calcários em cer

tas áreas, embora estes continuassem a se formar nas partes mais centrais da antiga bacia.

A continuidade do lento soerguimento das áreas continentais, concomitantemente com uma redução no ritmo de abaixamento da bacia, teria tornado esta mais rasa e metassiltitos com intercalações de ardósias siltosas e lentes de calcários começaram a se depositar. As porções clásticas eram ligeiramente mais grosseiras que as da formação inferior, e os calcários eram comumente oolíticos ou mesmo pisolíticos.

A Formação Paranoá representa o surgimento da depressão pelo soerguimento dos maciços orogênicos ocidental e oriental. A Formação Paraopeba representa a época mais estável com uma suave transgressão sobre um continente consideravelmente arrasado.

A tendência epirogenética positiva das áreas emersas conduzindo maior afluxo de sedimentos clásticos, teria originado os depósitos de arcósios e sub-grauvacas (Formação Três Marias). A imaturidade de sua composição sugere concomitância com movimentações de intensidade que inclusive poderiam ser o início de uma fase diastrófica.

Terminada a deposição Bambuí, pelo menos um período tectônico de intensidade ficou evidente.

Após esta fase diastrófica, foram as rochas sujeitas a metamorfismo. As diversas seqüências foram dobradas, falhadas, cortadas por veios de quartzo, individualizando-se, então, a bacia do São Francisco. Clivaram-se as serras de Goiás e a cordilheira do Espinhaço.

Terminado este período tectônico, ficou a plataforma relativamente estável, apenas passando por abaixamentos locais de caráter epirogenético, quando se individualizaram e se desenvolveram as grandes bacias sedimenta

res paleozóicas.

As áreas que apresentaram grandes desníveis no relevo, foram submetidas à erosão que destruiu praticamente todas as rochas do Grupo Bambuí das partes mais elevadas, bem como grandes espessuras de seqüências mais antigas. Em áreas rebaixadas pelos dobramentos e principalmente pelos grandes falhamentos do último grande período da ativação tectônica, quando se tornaram relativamente protegidas contra erosão, puderam ser preservadas rochas do Grupo Bambuí, cuja ocorrência, atualmente, está praticamente restrita a essas áreas.

Passado o Paleozóico, já no Triássico, grande parte do Brasil esteve submetido a um clima de elevada aridez. Mesmo em áreas na ocasião essencialmente "positivas", agindo como fornecedoras de sedimentos, como é o caso do Brasil Central, este clima desértico deixou abundantes evidências, tais sejam, no caso particular da bacia do São Francisco, os numerosos ventifactos dos depósitos conglomeráticos basais da Formação Urucua (Cretáceo). Estas condições climáticas permaneceram por todo o Triássico e eram dominantes na ocasião dos grandes derrames de basalto.

Neste último período, toda a região continental foi rebaixada. Ocorreram na costa, transgressões marinhas muitas vezes em locais rebaixados por falhamentos normais e na região da bacia do São Francisco iniciou-se a deposição da Formação Urucua.

A erosão predominantemente eólica, que tivera lugar nos períodos de clima úmido anteriores, teria trabalhado grande número de seixos dando-lhes a forma de características "dreikanter". Estes seixos apareceriam em grande número e quase "in loco", nos depósitos basais da seqüência cuja deposição se iniciava.

O clima ainda seco já permitia a formação de pequenos lagos nas partes das áreas baixas, e se formaram os depósitos da facies Geribá, denominada por Oliveira (1926) de Formação Urucuia.

Em seguida, algumas regiões ter-se-iam erguido, dando lugar ao ingresso, na área do São Francisco, até então sujeita a denudação, de grandes quantidades de clásticos grosseiros que formariam os arenitos Abaeté, fácies da Formação Areado, que ocorrem próximo ao paralelo 18°LS.

Ocorrem neste período o vulcanismo Cretáceo. De vulcões localizados nas proximidades do arco Goiânia (Patrocínio, Patos, etc) ao sudeste da folha BHNO, lançaram-se grandes quantidades de cinzas e bombas que iam se depositando por sobre a superfície parcialmente erodida da Formação Urucuia. Nas partes mais elevadas, onde o topo da formação se apresentava plano, depositaram-se material vulcânico relativamente puro, enquanto nas porções mais erodidas, a deposição de material tufáceo, inicialmente, ter-se-ia processado juntamente com clásticos retrabalhados das áreas mais elevadas.

Concluindo a principal fase ativa dos vulcões, continuaram a se depositar sedimentos clásticos (quartzitos). Estes apresentaram-se então enriquecidos por material argiloso, tufáceo, proveniente tanto do retrabalhamento das cinzas depositadas em locais mais elevadas, quanto por se misturarem com material ejetado em possíveis rejuvenescimentos de alguns vulcões, e se formaram os arenitos Capacete, facies da Formação Mata da Corda.

Embora admitissem que o conhecimento da Formação Urucuia era ainda precário, os integrantes da Mesa Redonda do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia consideraram a contemporaneidade no que se refere a deposição do

arenito Urucuia e o vulcanismo ultrabásico alcalino da Ma
ta da Corda.

Uma vez depositados os cineritos e arenitos da seqüência Uberaba, aflorante próximo ao paralelo 18^oLS, notavelmente elevou-se toda a região que se manteve até os dias atuais.

Vale salientar quanto ao Quaternário, que ocorrem depósitos acima da planície de inundação e que são considerados no presente estudo como Quaternário-Pleistoceno-Holoceno Indiferenciado.

6. HIDROGEOLOGIA

6.1 Generalidades

A diversificação geológica é responsável pela existência na região, de aquíferos os mais variados, predominando, em termos de área, aqueles de características heterogêneas. Para efeito de descrição, reuniremos os mesmos nos três seguintes grandes grupos: a) aquíferos em sedimentos granulares, representados pelas formações do Cretáceo (Areado, Mata da Corda e Urucuia), coberturas indiferenciadas e aluviões; b) aquíferos por fissuração, englobando as unidades da Associação Barbacena em seus Complexos B, C e D e as rochas pelíticas do Grupo Bambuí, e c) aquíferos cársticos, representados pelas rochas carbonáticas da Formação Paraopeba.

6.2 Relação entre Geologia e Água Subterrânea

As ocorrências de água subterrânea estão condicionadas, entre outros fatores, ao ambiente geológico da área. As rochas pré-cambrianas, devido à sua evolução geotectônica, apresentam-se com litologia muito diversificada e estruturas bastante complexas. Os sedimentos, geralmente arenitos ou areias com uma regular percentagem da fração argilosa, devido ao estágio atual de erosão, ocorrem, de preferência, formando chapadas escarpadas.

Esta associação de aspectos geológicos e topográficos desfavoráveis impossibilita a formação de depósitos hídricos extensos e de grande produtividade.

De forma genérica, distinguem-se aquíferos rela

cionados aos sistemas de fraturas abertas e aquíferos dependentes da granulometria.

As unidades da Associação Barbacena e do Grupo Bambuí apresentam sistemas de porosidade e permeabilidade primárias praticamente nulas, estando as águas nelas contidas relacionadas ao desenvolvimento de permeabilidade secundária.

Na Associação Barbacena, em geral as rochas são pouco competentes, com exceção de faixas de quartzitos intercaladas nos Complexos B e C e os xistos hematíticos do Complexo B. Neste complexo, onde os quartzitos são mais frequentes e se apresentam mais espessos, a produtividade dos poços é maior em comparação com os Complexos C e D. O Complexo C, por sua vez, devido possuir rochas microclásticas, em geral sem condições de se deixarem fraturar, apresentando fraturas geralmente preenchidas por veios de quartzo, solos rasos e coberturas vegetal deficiente, não propicia condições para que se constitua um bom aquífero.

Os poços do Complexo D apresentam uma produtividade coerente com a sua litologia em que predominam os calcoxistos.

No Grupo Bambuí as Formações Paranoá e Três Marias, embora apresentem regularmente sistemas de fraturas, possuem uma geomorfologia desfavorável, com gradientes hidráulicos orientados para as encostas das elevações e comportando-se aparentemente como aquíferos de fluxo local. Ao que parece, as fraturas nestes aquíferos são pouco profundas e predominantemente subverticais, ocorrendo associadas a juntas subhorizontais.

A Formação Paraopeba, onde predominam as ro

chas carbonáticas com evidências de carstificação (Vazante), pode apresentar maiores vazios, os quais facilitam a circulação e o armazenamento da água. Entretanto, a assiduidade de cavidades preenchidas por soluções quartzosas constitui-se um fator limitante ao aquífero. Torna-se difícil assegurar sobre a produtividade de um poço nestas áreas carbonáticas cársticas de Vazante. As condições que podem ser favoráveis a uma melhor produtividade tomam feições localizadas, isto é, dependem de ocorrências de sistemas de fraturas que, por sua vez, poderão oferecer melhores condições hidrodinâmicas caso apresentem zonas de maior carstificação.

Na Formação Paraopeba, além das áreas carbonáticas cársticas, serão consideradas à parte as seqüências com alternâncias de rochas argilo-carbonosas e carbonáticas sem indícios de carstificação em superfície, e as áreas onde ocorrem predominantemente rochas pelíticas. As áreas mescladas ocorrem próximas às zonas de falhas de empurrão nos municípios de Paracatu e Unaí, e no extremo oriental margeando o rio São Francisco.

No aquífero Paraopeba tudo indica que a produtividade dos poços tubulares apresenta um decréscimo substancial a profundidades de penetração no aquífero maiores que 90 metros e em poços com profundidade entre 60 e 90 metros apresentam a probabilidade de maiores valores de produtividade em comparação com os de profundidades inferiores a 60 metros.

O Cretáceo, face a sua situação morfológica e a pouca extensão, não apresenta muito interesse ao presente estudo.

As coberturas do Qphi e TQi com declividade

baixa diferem entre si pela diferença de cota de seus planos de nivelamento. As coberturas do TQi, de litologia argilosa e arenosa e recobrindo, em geral, as unidades da Associação Barbacena e Grupo Bambuí, apresentam-se em forma de chapadas e poderão ser solicitadas para consumo doméstico ou para a bastecimento de pequenas aglomerações urbanas através de captação de nascentes, ou, localmente, por poços manuais.

As coberturas do Qphi ocorrem acompanhando os leitos dos rios e, com maior evidência, no médio e baixo curso do rio Paracatu e nas margens do rio São Francisco. Litologicamente constituídas de argila e areia, estas coberturas possuem uma grande área de recarga, comportando-se como aquífero livre e fornecendo uma boa contribuição ao escoamento total dos rios Paracatu e São Francisco.

As reservas hídricas das aluviões, devido as feições geomorfológicas destas, estão condicionadas às descargas dos rios e seu aproveitamento torna-se viável onde os sedimentos possuem maiores espessuras, como se observa nas confluências dos rios Urucuaia e Paracatu com o rio São Francisco.

6.3 Água Subterrânea em Rochas Fissuradas

A produtividade dos poços em aquíferos por fissuração depende da ocorrência de juntas e fraturas, e existência de manto de intemperismo. As juntas são menos abundantes e menos abertas e os planos de juntas se fecham à medida que aumenta a profundidade de penetração. Aberturas ao longo de superfícies de falhas tendem a se fechar com a profundidade. Observações de decréscimo da permeabilidade em aquíferos fraturados à medida que aumenta a profundidade

de penetração, já foram feitas em estudos de produtividade de poços e testes de injeção de água efetuados por Davis e Turk (1964). A Sudene, em estudos hidrogeológicos efetuados no nordeste brasileiro, na década de 1960, constatou também que os aquíferos fraturados apresentam uma diminuição de permeabilidade com o aumento de profundidade e que a partir de 80 metros, conforme estudos estatísticos, é rara a ocorrência de juntas e fraturas que propiciem a circulação e o armazenamento de água. Por outro lado, a produtividade do aquífero depende mais da estrutura geológica que do tipo de rocha (Davis e Turk, 1964).

Na área, os aquíferos fraturados estão representados pelas unidades da Associação Barbacena (7.790 km²) e rochas do Grupo Bambuí (29.060 km²).

6.3.1 Associação Barbacena

6.3.1.1 Alimentação, Escoamento e Descarga Natural

A capacidade das rochas da Associação Barbacena de armazenar água e de permitir a sua circulação depende da extensão, continuidade e interligação dos fraturamentos e/ou juntas, bem como da abertura ou volume dos vazios provocados por estas estruturas.

A infiltração direta a partir de águas meteoricas é baixa, verificando-se uma alimentação mais eficiente nas áreas onde o sistema de fraturas coincide com a rede de drenagem ou indiretamente a partir das águas do manto de intemperismo. As aberturas intersticiais causadas pelo intemperismo ocorrem geralmente a profundidades não maiores que 5 metros.

A quantidade de água de precipitação que atinge a zona saturada, além das características lito-texturais do aquífero, depende de vários outros fatores. Entre estes, ressaltam-se a espessura do solo ou outros depósitos acima do lençol freático, declividade do terreno, cobertura vegetal, uso atual da terra, umidade do solo, profundidade do nível freático e intensidade, duração e distribuição temporal das precipitações pluviométricas, além de outros fatores meteorológicos que influem na evapotranspiração, tais como temperatura do ar, umidade e vento.

A infiltração nas rochas da Associação Barbacena é, em geral, pequena, devido principalmente ao seu baixo grau de competência e ao grau de silicificação. Além destes fatores, a pequena espessura do manto de intemperismo, a vegetação do tipo cerrado e a declividade média a alta, não propiciam condições favoráveis a uma maior infiltração. As zonas de recarga restringem-se aos vales em áreas fendilhadas e, por transferência, nas faixas de coberturas sedimentares. A circulação das águas é, em geral, laminar, podendo ocorrer em certas circunstâncias o regime turbulento, tal como foi observado nos calcoxistos do Complexo D (BH.NO-219 e 220) devido aos vazios oriundos da dissolução de minerais em superfície de maior fraqueza estrutural, próximo ao contato com uma fácies conglomerática.

As águas infiltradas são restituídas diretamente aos cursos d'água e através de nascentes que, em geral, não são perenes.

No Complexo B, devido as apreciáveis espessuras de quartzitos, a circulação efetua-se com certa eficiência. No Complexo D o número de nascentes é limitado, e

as vazões destas são geralmente inferiores às obtidas no Complexo B e superiores as do Complexo C (Quadro 6.1). Este Complexo possui intercalações de quartzitos pouco espessas, apresentam uma assídua ocorrência de veios de quartzo e uma ritmia bem pronunciada de rochas microclásticas alternando com mesoclásticas. Além destas características, ao Complexo C estão associados solos pouco espessos e uma vegetação rala, tipo cerrado. Estes fatores inerentes ao Complexo C limita, por conseguinte, a recarga e a circulação no seu interior.

No quadro 6.1 consta a distribuição das vazões de uma amostragem efetuada em nascentes das unidades da Associação Barbacena.

Quadro 6.1 - Distribuição Percentual das Vazões de Nascentes na Associação Barbacena.

VAZÃO (m ³ /h)	COMPLEXO - B		COMPLEXO - C		COMPLEXO - D	
	%	FREQÜÊN CIA	%	FREQÜÊN CIA	%	FREQÜÊN CIA
0- 5	55,00	55,00	77,78	77,78	63,64	63,64
5-10	10,00	65,00	22,22	100,00	18,18	81,82
10-15	5,00	70,00	-	-	9,09	90,91
15-25	-	70,00	-	-	-	90,91
25-30	10,00	80,00	-	-	-	90,91
30-35	10,00	90,00	-	-	-	90,91
35-40	10,00	100,00	-	-	9,09	100,00

6.3.1.2 Características dimensionais e hidrodinâmicas - Produtividade dos Poços

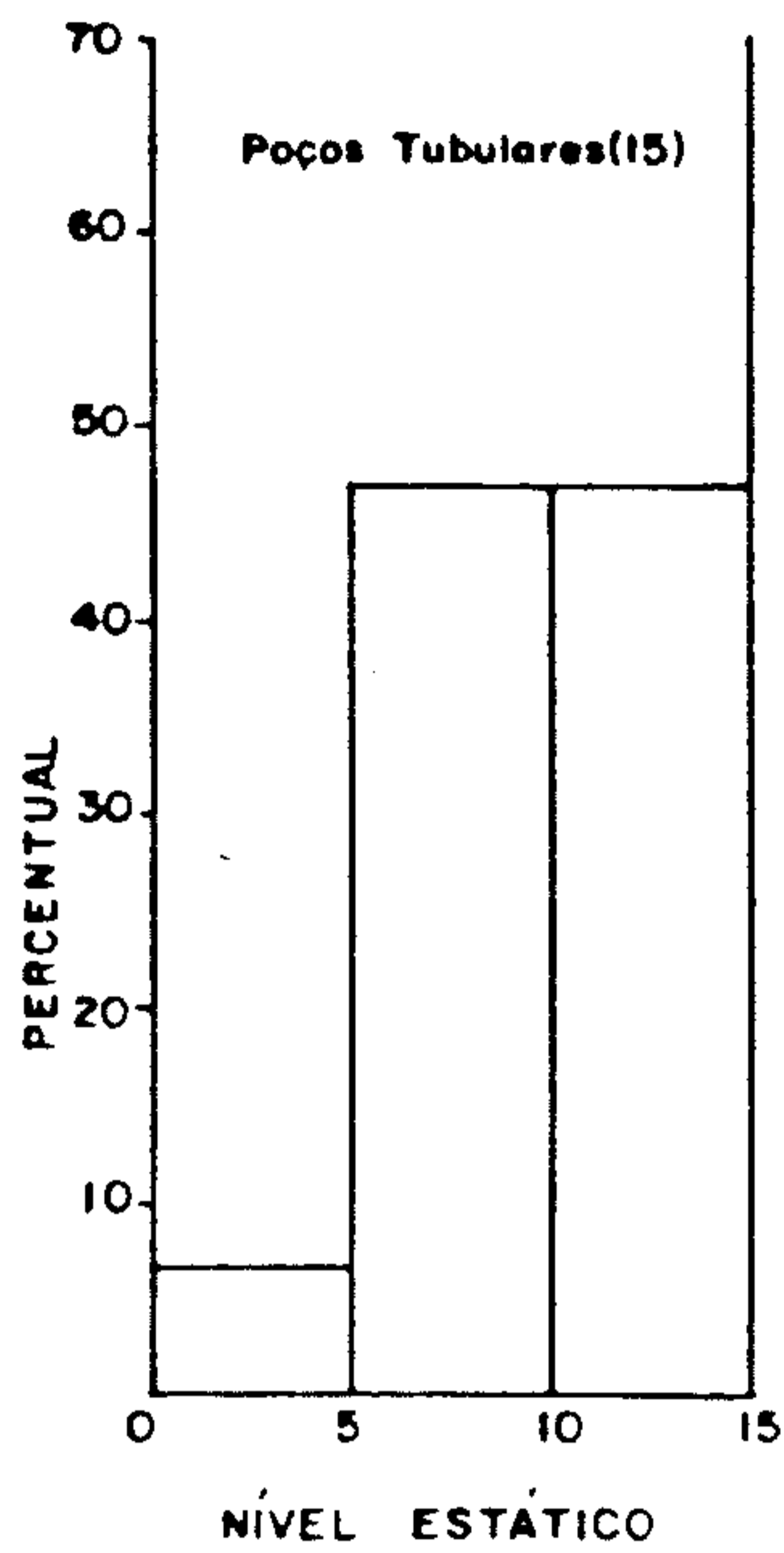
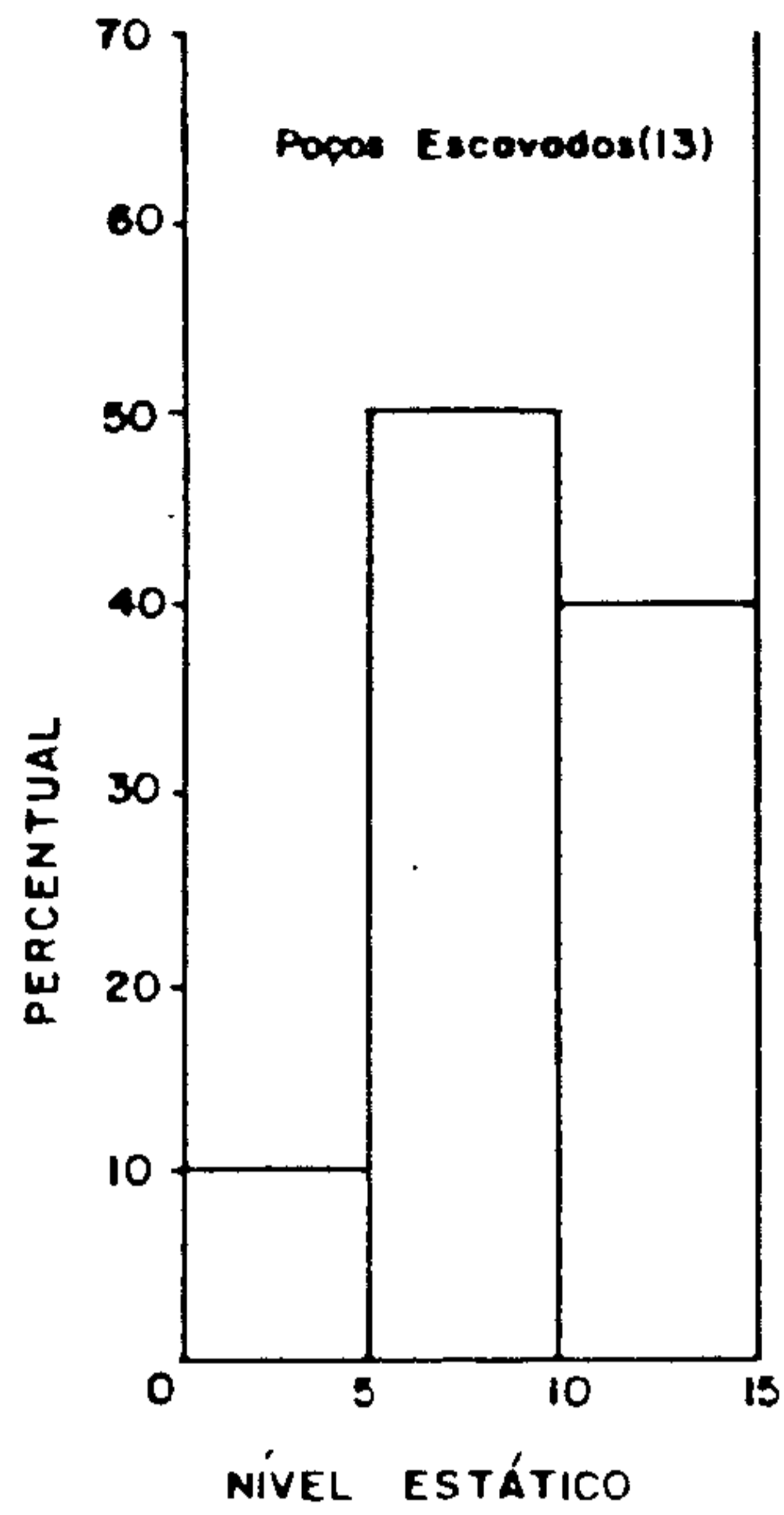
O conhecimento preciso das formas geométricas é essencial à prospecção e exploração dos aquíferos por fissuração, para que se tenha, dentro de suas limitações, uma otimização das captações. Na prospecção de águas subterrâneas nestes aquíferos, recomenda-se, de início, uma análise do comportamento estrutural e da configuração dos sistemas de fraturas e, em complementação, uma análise dos dados de poços e fontes existentes.

Do total de pontos cadastrados em áreas de ocorrência de rochas da Associação Barbacena, apenas 15 são poços tubulares, 26 são poços manuais e 42 correspondem a nascentes.

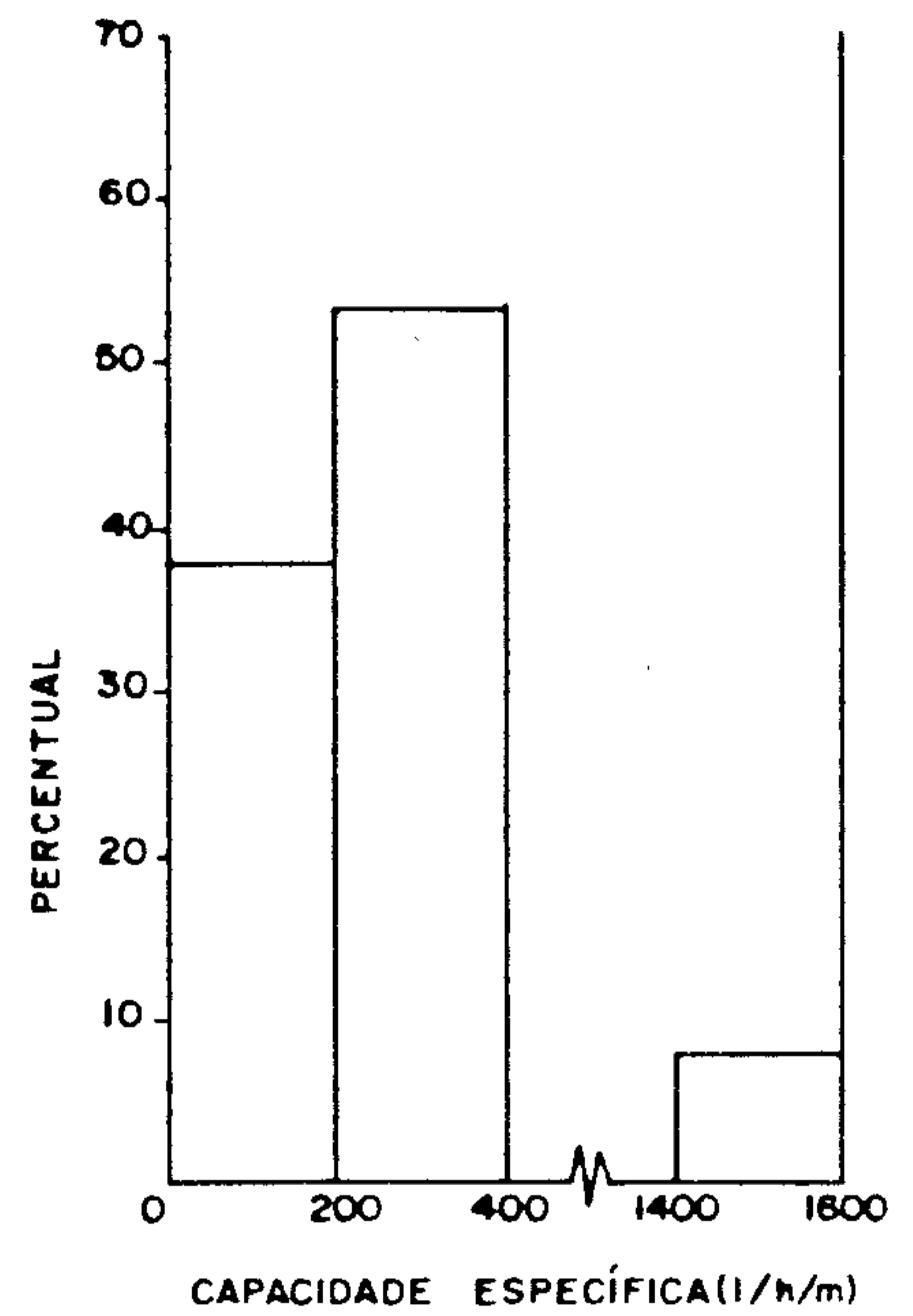
Da análise dos dados relativos aos poços tubulares, os quais estão indicados no catálogo em anexo, podem ser tiradas as seguintes conclusões:

- No que concerne aos níveis estáticos, estes são inferiores a 15 metros, com média em torno de 10 metros. Na figura 6.1 indica-se a freqüência dos níveis estáticos nos pontos catalogados do aquífero.
- A profundidade útil dos poços ou penetração no aquífero, varia entre 56 e 110 metros, com média correspondente a 75 metros. Ressalta-se que três poços com profundidades maiores que 140 m e dois com profundidades menores que 50 metros não foram considerados nos cálculos.
- A vazão específica varia entre 127 e 350 l/h/m, estando a média situada em torno de 225 l/h/m.

a) DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO DE POÇOS EM ROCHAS FRATURADAS



b) DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA VAZÃO ESPECÍFICA DE POÇOS TUBULARES EM ROCHAS FRATURADAS



c) RELAÇÃO ENTRE VAZÃO ESPECÍFICA E PROFUNDIDADE DOS POÇOS TUBULARES EM ROCHAS FRATURADAS

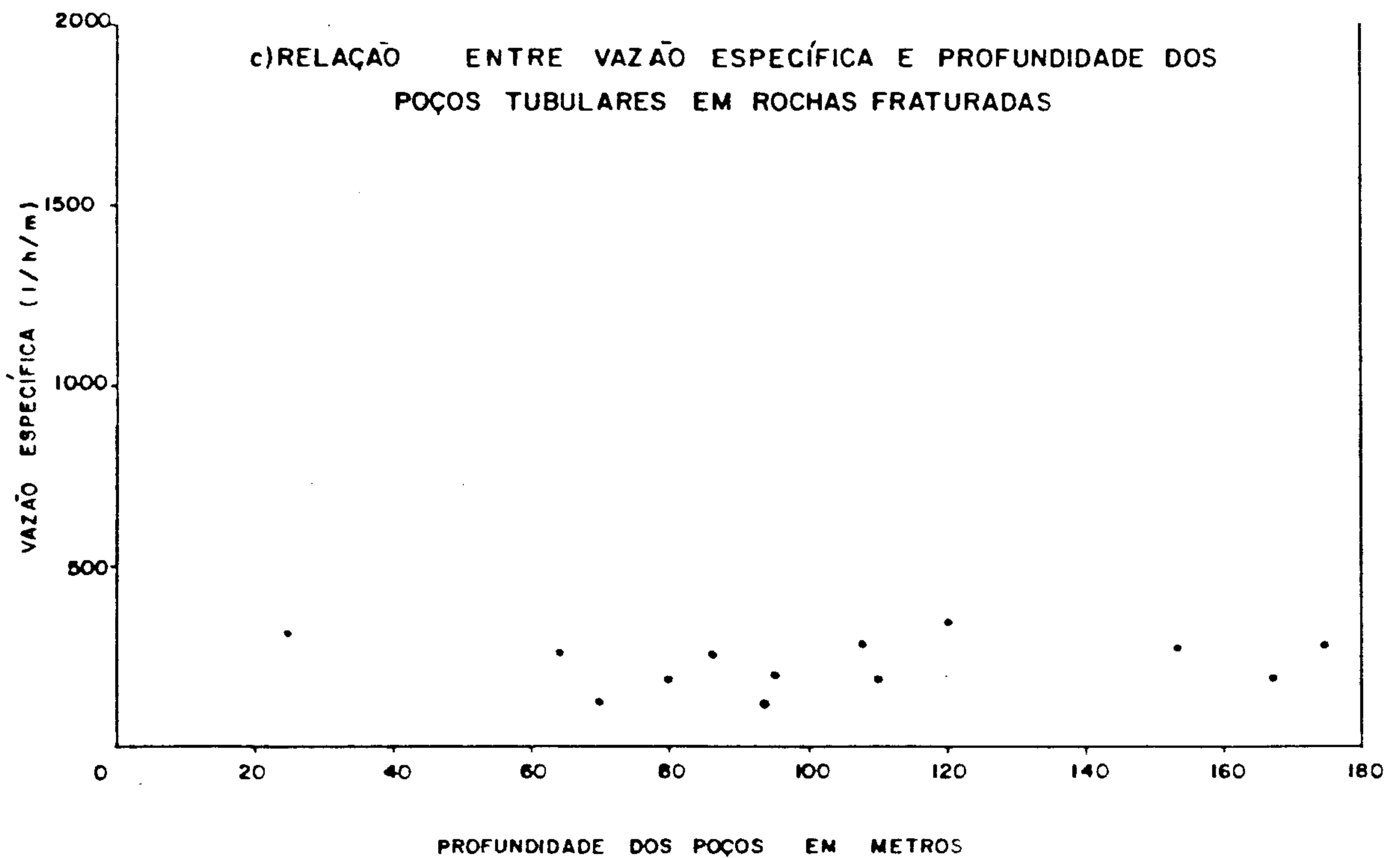


Fig. 6.1

- Em teste de bombeamento de curta duração (2h) realizado no poço BHNO - 316, perfurado no Complexo B próximo a uma falha de empurrão no contato deste complexo com a Formação Paraopeba, obteve-se uma capacidade específica de 1.529 l/h/m, valor este bastante elevado comparando-se com os demais valores conhecidos. O Complexo B apresenta uma capacidade específica média (428 l/h/m) pouco maior que as registradas nos Complexos C (272 l/h/m) e D (307 l/h/m).

No quadro 6.2 constam a distribuição percentual e a frequência cumulativa da vazão específica e na fig. 6.1 está representada a relação entre a vazão específica e a profundidade em poços tubulares perfurados na Associação Barbacena.

Quadro 6.2 - Distribuição da Vazão Específica

VAZÃO ESPECÍFICA (l/h/m)	PERCENTUAL	FREQUÊNCIA CUMULATIVA
0 - 200	35,71	35,71
200 - 400	50,00	85,71
400 - 600	-	85,71
600 - 800	7,14	92,85
> 800	7,14	99,99

Face ao pequeno número de poços nos Complexos B, C e D não foi possível elaborar uma análise da distribuição da capacidade específica segundo a lei probabilística

logarítmica de Galton, bem como a determinação das relações entre a produtividade dos poços com fatores geológicos.

No que se refere ao manto de intemperismo, segundo os dados de poços escavados e incluídos no catálogo em anexo, podem ser extraídas as seguintes conclusões:

- Quanto ao nível estático, a Associação Barbacena apresenta 60% dos pontos com valores inferiores a 10 metros e 40% entre 10 e 15 metros (fig. 6.1). Dos pontos do Complexo-B, 30% possuem valores inferiores a 10 metros e 70% valores entre 10 e 15 metros; no Complexo-C o nível estático apresenta sempre valor inferior a 10 metros; e no Complexo-D, 44,8% dos poços apresentam valores inferiores a 10 metros e 55,2% entre 10 e 16 metros.

- Dado a influência das precipitações pluviométricas nas reservas dos aquíferos livres, constata-se que no trimestre menos chuvoso do período hidrológico, os níveis estáticos nos poços manuais apresentam-se mais profundos que no trimestre mais chuvoso.

- A capacidade específica é baixa, sendo muito comum o uso de sarilhos na extração da água.

6.3.2 Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí ocorre em uma área de 29.060km² e está representado pelas unidades Paranoá, Paraopeba e Três Marias, as quais, por apresentarem comportamentos hídricos diferentes, serão tratadas separadamente. Relativo à Formação Paraopeba serão tratadas neste item apenas as áreas não sujeitas a carstificação, sendo as áreas com predominância de rochas carbonáticas motivo do item 6.4.

6.3.2.1 Formação Paranoá

Os ortoquartzitos Paranoá ocorrem em pequenas áreas a leste de Unaí e em Cristalina, totalizando uma área de 580 km².

6.3.2.1.1 Alimentação, Escoamento e Descarga

Nas rochas da Formação Paranoá a porosidade e a permeabilidade primárias são praticamente nulas e a infiltração no meio fissurado se dá lentamente a partir das águas das chuvas ou das águas armazenadas nos sedimentos de cobertura (TQi).

A circulação da água pode ser tanto em regime laminar como em regime turbulento, ocorrendo este nas fraturas maiores e mais abertas.

Nos quartzitos de Formação Paranoá, face a sua situação morfológica desfavorável e por possuir uma zona saturada não muito profunda, grande parte da água infiltrada circula em percursos não muito extensos propiciando à mesma um retorno rápido a superfície através de nascentes de encosta (BHNO - 127).

6.3.2.1.2 Características Dimensionais e Hidrodinâmi cas

A situação topográfica-estrutural e a limitada extensão dos fraturamentos tanto em profundidade quanto lateralmente, propicia aos quartzitos da Formação Paranoá, ao que tudo indica, uma reduzida capacidade de armazenamento e uma baixa produtividade dos poços tubulares. Em um único poço

tubular existente, com profundidade de 180 metros e perfurado em área regularmente fraturada, a vazão específica registrada foi da ordem de 100 l/h/m.

6.3.2.2 Formação Paraopeba (Fraturada)

Nesta formação a porosidade e a permeabilidade primárias das rochas são praticamente nulas e suas possibilidades como aquífero estão na dependência da existência de fissuras e de condições favoráveis a alimentação.

6.3.2.2.1 Alimentação, Escoamento e Descarga

Em geral, a capacidade destas rochas em armazenar água e de permitir uma apreciável circulação depende da extensão, continuidade e interligação dos fraturamentos, bem como das aberturas provocadas por estas estruturas. A recarga é realizada com maior eficiência nas áreas com manto de intemperismo espesso e de ocorrência dos sedimentos das coberturas indiferenciadas. Merece salientar que nesta formação a infiltração torna-se bastante limitada dado que as fraturas se constituem em feições relativamente localizadas e em geral não apresentam aberturas apreciáveis. A alimentação sói acontecer numa situação de coincidência fratura-drenagem ou por infiltrações verticais descendentes através de depósitos de cobertura.

Na parte ocidental da Formação Paraopeba próximo às grandes falhas de empurrão, a infiltração torna-se muito variável devido ao sistema orográfico predominante. A recarga se restringe as áreas intensamente fendilhadas, ou ainda a algumas áreas onde o manto de intemperismo ou as

coberturas do Qphi apresentam espessura e litologia favoráveis. Ressalta-se que muitas vezes o manto de intemperismo apresenta-se com uma predominância de argila, como pode ser observado nos poços BHNO - 31, 32 e 33, acarretando uma infiltração bastante reduzida. Na área do Pic-Sagarana pode ser registrada 1 a 2 entradas d'água antes de atingir as ardósias (BHNO - 01, 04 e 07), enquanto em Bonfinópolis de Minas (BHNO - 31, 32 e 33) as entradas d'água registradas estão geralmente abaixo do contato manto de intemperismo - rocha fresca.

Parte das águas infiltradas são restituídas durante o ano através de nascentes, que, vale salientar, são em pequeno número e de pequenas vazões (BHNO - 146, 160, 161, 162, etc) se compararmos com as das coberturas detríticas, com exceção das áreas da bacia do rio Preto.

O volume de infiltração depende da distribuição das chuvas durante o ano, permeabilidade do manto de intemperismo, profundidade das águas subterrâneas, topografia, coberturas vegetal, etc.

O escoamento subterrâneo pode ser calculado, dependendo dos dados disponíveis, pela fórmula de Darcy quando se tem uma boa configuração das linhas piezométricas em uma determinada área de drenagem; considerando-se as vazões mínimas para uma determinada área de escoamento superficial; através dos dados de escoamento total que se obtêm dos hidrogramas onde constam as linhas de escoamento total, superficial e de origem subterrânea; ou pela expressão $V = \Delta h \cdot A \cdot S$, onde V é o volume de água restituída, Δh corresponde a variação do nível piezométrico (espessura restituída), A a área

e S ao coeficiente de armazenamento do aquífero.

Além de outros métodos, o volume de infiltração eficaz foi obtido também a partir da aplicação da equação de Darcy em áreas com linhas equipotenciais onde foram determinadas uma secção de escoamento e o gradiente hidráulico médio. Foi considerado para a transmissibilidade um valor médio de $3,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, obtido a partir dos resultados de testes de bombeamento efetuados nos poços BHNO - 32, 33 e 582 - 581, os quais penetram rochas argilo-carbonosas e calcárias. O valor de transmissibilidade obtido no ensaio de bombeamento efetuado em Unai, (BHNO-537-500), não foi considerado devido a se apresentar bastante elevado ($8,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) em comparação a série de valores obtidos para aquele parâmetro em toda a área de rochas fraturadas não cársticas da Formação Parapeba.

A equação de Darcy pode ser expressa por:

$Q = TIL$, onde:

Q = volume de escoamento subterrâneo (m^3/ano)

T = Transmissibilidade (m^2/s)

I = Gradiente hidráulico (m/km)

L = Frente do escoamento (km).

Foi selecionada uma área na bacia do rio Preto (Unai) limitada pelas equipotenciais de 600 e 800 m e por duas linhas de fluxo abrangendo uma frente de escoamento de 33 quilômetros, e possuindo um gradiente médio de 18 m/km.

Os resultados dos cálculos efetuados são apresentados a seguir:

- | | |
|----------------------------|---------------------|
| - Área receptora | - 460 km^2 |
| - Precipitação média anual | - 1.248,8 mm |

- Volume total precipitado $5,7 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Volume de escoamento $6,18 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$
- Relação escoamento/pluviometria - 1,08%

Nesta mesma área aplicando-se a expressão $I = 100 \cdot \Delta h \cdot S/P$ e se tomando para Δh um valor de 9 m conseguido a partir de observações periódicas entre setembro-78 a agosto-79 no poço BHNO-500, e para o coeficiente de armazenamento um valor de $35 \cdot 10^{-4}$ obtido em um ensaio de bombeamento neste mesmo poço, determinou-se um valor para o coeficiente de infiltração igual a 2,5% (Quadro 6.3).

O Cetec, ainda nesta área, entre os postos fluviométricos de Unaí e Porto dos Poços, efetuou uma estimativa de infiltração a partir da expressão $I = \frac{h}{P} \cdot 100$ onde:

I = Infiltração (%)

h = altura da água (mm)

P = Precipitação média (mm)

O valor h foi obtido pela expressão $h = V/A$, onde V é o volume de infiltração ou volume de saída medido pela descarga mínima do rio e A a área de recarga. Considerando a descarga mínima igual a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, a área de drenagem 4.190 km^2 e a precipitação média 1.170 mm obteve o Cetec um coeficiente de infiltração de 6,4 % o que, ressalte-se também, ser um índice a não ser considerado no presente trabalho, por ser muito elevado.

Em duas áreas com predominância de rochas pelíticas ao sudoeste e sudeste de Paracatu obteve-se a partir da expressão $I = 100 \cdot \Delta h \cdot S/P$ e, para um valor médio de precipitação igual a 1.220 mm , infiltração da ordem de 0,16 e 0,07 % respectivamente. Para a área sudoeste foi utilizada a an

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO EM AQUÍFEROS FRATURADOS (pεbp)

MÉTODO	BACIA	P (mm)	T (m ² /s)	I (m/km)	L (km)	VAR. PERÍODI CA DO N.E(m)	S	VOLUME INFILTRADO		INFILTRA ÇÃO (%)
								m ³ /ano	m ³ /m ²	
ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO	PRETO	1.248,8	3,3 .10 ⁻⁴	18	33	-	-	6,18.10 ⁶		1,08
VARIAÇÃO PIEZOMÉTRICA	PRETO	1.248,8	-	-	-	9	35 .10 ⁻⁴		3,15.10 ⁻²	2,5
VARIAÇÃO PIEZOMÉTRICA	PARACATU	1.500,0	-	-	-	13,5	1,42.10 ⁻⁴		1,92.10 ⁻³	0,16
VARIAÇÃO PIEZOMÉTRICA	PARACATU	1.500,0	-	-	-	6,1	1,42.10 ⁻⁴		8,66.10 ⁻⁴	0,07
ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO	S. FRAN CISCO	950,0	1,09.10 ⁻⁴	6,4	105	-	-	7,3 .10 ⁶		0,76

plitude de variação piezométrica obtida em 12 meses (13,5m) no poço BHNO - 488 e na área sudeste a variação piezométrica de 6,1 m obtida no poço BHNO - 377 para o mesmo período. Nos dois casos foi utilizado o coeficiente médio de armazenamento ($1,42 \cdot 10^{-4}$) obtido em áreas com as mesmas características geológicas, nos ensaios de bombeamento dos poços BHNO - 240 - 241 e 437 - 438. Vale ressaltar que os dados de variação piezométrica e coeficiente de armazenamento obtidos ainda são insuficientes para se chegar a resultados mais representativos para a taxa de infiltração nestas áreas.

Nas áreas à leste do Rio São Francisco, com uma tectônica menos acentuada e com uma participação substancial de rochas calcárias recobertas em grande parte por sedimentos, em estudos realizados pela CPRM (Morais, 1977) obteve-se para a taxa de infiltração um valor médio de 0,76% (Quadro 6.3) o qual está situado entre os valores médios obtidos, no presente trabalho, em áreas com predominância de rochas pelíticas (0,11%) e áreas onde ocorrem rochas argilo-carbonosas e calcárias (Unai) e de uma tectônica mais favorável (1,79%).

6.3.2.2.2 Características Dimensionais e Hidrodinâmicas

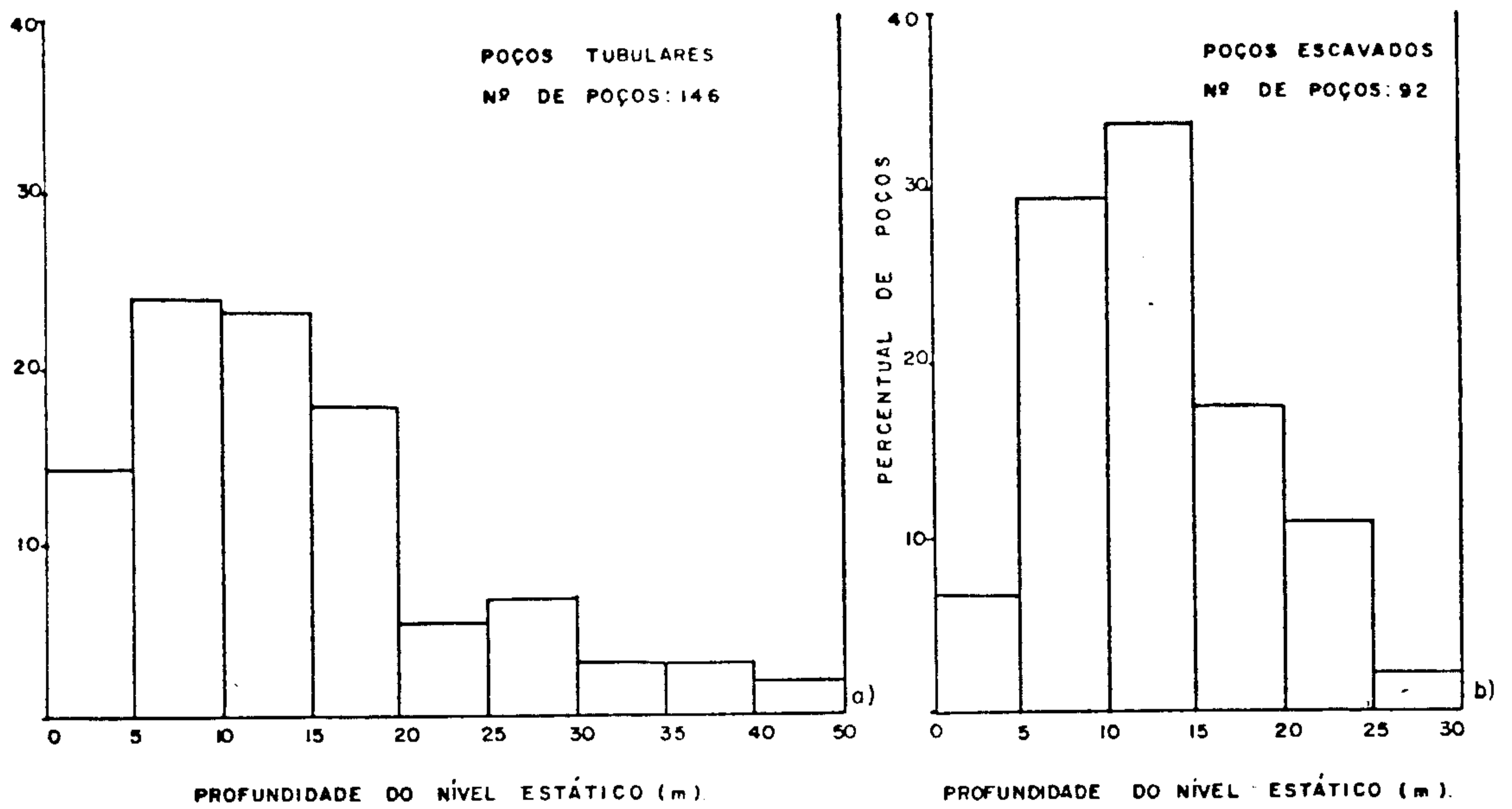
As rochas fraturadas da Formação Paraopeba ocorrem em superfície totalizando uma área de 19.380 km^2 . As áreas dos municípios de João Pinheiro, Bonfinópolis, Arinos, Vazante, Paracatu e Unai situam-se em zonas marginais de deformação da Bacia Bambuí e apresentam-se intensamente tectonizadas com dobras e falhas inversas de planos aproximadamente paralelos ao limite do Craton de São Francisco. Por

sua vez o escoamento superficial demonstra um bom grau de controle estrutural, destacando-se os sistemas de fraturas com direções NNE e NNW resultantes dos esforços laterais sofridos pela bacia Bambuí.

Estes sistemas de fraturas provavelmente contribuem, na bacia do rio Preto, para que ocorra um maior fluxo de base dos rios que drenam a área. Os dados dos poços tubulares no aquífero Paraopeba não permitem efetuar uma boa análise estatística no que se refere às entradas d'água relacionando-as com profundidades de penetração e capacidade específica, uma vez que apenas 17 fichas de sondagem contêm profundidades de entradas de água. Entretanto, baseandô-se nos dados existentes pode-se tecer algumas considerações a partir dos dados de profundidade útil, capacidade específica, transmissibilidade e coeficiente de armazenamento.

De acordo com os dados expostos em catálogo anexo, conclui-se que no aquífero Paraopeba as fraturas podem ocorrer eventualmente a profundidades maiores que 80-90 metros, embora saiba-se como regra geral que elas tendem a se fechar com a profundidade. Comparando-se a capacidade específica com as profundidades de penetração dos poços, conclui-se que, embora ocorram fraturas a profundidades maiores que 80-90 metros estas não contribuem para um aumento subtancial da produtividade (fig. 6.2.c). Os poços BHNO - 373, 413 e 31 com profundidades de 150, 150 e 133 metros e últimas entradas d'água aos 140, 132 e 90 metros respectivamente, apresentam vazões específicas menores que os poços BHNO -32, 33 e 01, com profundidades de 100, 84 e 60 metros e últimas entradas d'água aos 90, 11 e 60 metros respectivamente. Para os primeiros, os valores de vazão específica correspondem a 183, 86 e 36 l/h/m e para os últimos a 445, 1.032 e 788 .71.

DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO NÍVEL ESTÁTICO



RELAÇÃO ENTRE VAZÃO ESPECÍFICA E PROFUNDIDADE DE POÇOS TUBULARES EM ROCHAS FRATURADAS

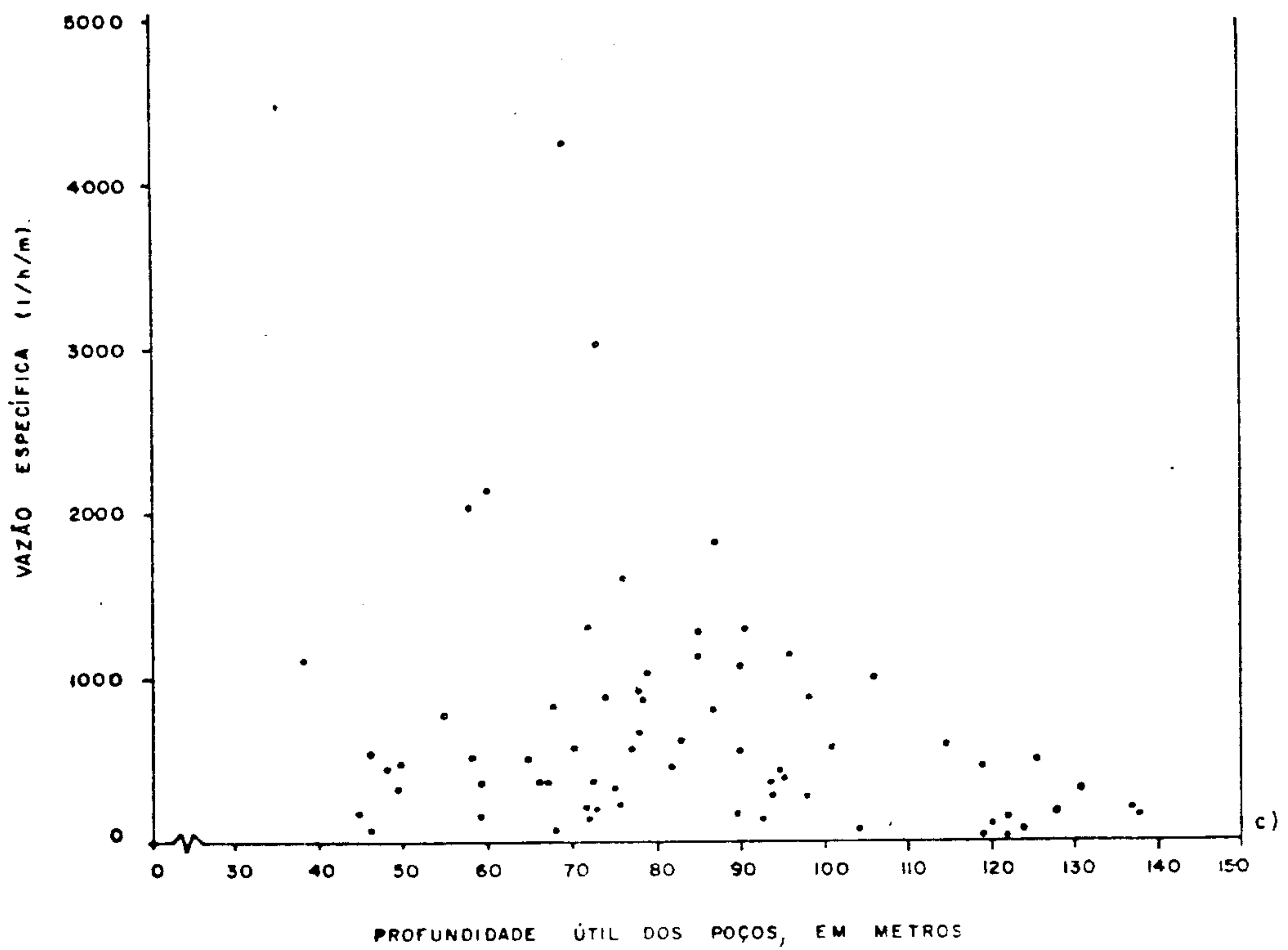


Fig. 6.2

l/h/m. Mais adiante estes aspectos serão melhor abordados a partir de teorias probabilísticas.

Dos 169 poços tubulares cadastrados, em 146 são conhecidos os níveis estáticos. Em 118 poços foi possível calcular a profundidade útil e em 71 a capacidade específica. A partir de dados de ensaios de bombeamento de 11 poços foram efetuados cálculos para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. Os ensaios de bombeamento foram interpretados principalmente pelo método de Theis, e no caso de inexistência de piezômetro, deu-se prioridade aos dados de recuperação. Os ensaios de aquíferos estão apresentados detalhadamente no Anexo V.

Conforme apresenta a figura 6.2 (a e b) os níveis d'água estão relativamente próximos da superfície do terreno. Do total dos poços tubulares inventariados 62 % possuem profundidades do nível estático menores que 15 metros, 18% entre 15 e 20 metros e 20% maiores que 20 metros. O nível estático médio situa-se em torno de 15 metros. No manto de intemperismo 70% dos poços escavados apresentam profundidades do nível estático menores que 15 metros, 17% entre 15 e 20 metros e o restante maiores que 20 metros. O nível estático médio corresponde a 13 metros.

A profundidade útil média dos poços tubulares situa-se em torno de 78 metros.

A vazão específica varia entre 35 l/h/m em um poço com profundidade de 133 metros e entradas d'água aos 50, 80 e 90 metros à 7.118 l/h/m em um poço com profundidade de 56 metros e entradas d'água não registradas. O valor médio da vazão específica corresponde a 832 l/h/m. Nas áreas onde predominam as rochas pelíticas, a média de vazão espe

cífica (576 l/h/m) é inferior a média obtida em áreas onde ocorrem intercalações de rochas carbonáticas (1.472 l/h/m).

Do total dos poços, 43% apresenta valores de vazão específica entre 0 e 400 l/h/m, 23% valores entre 400 e 600 l/h/m, 20% entre 600 e 1.000 l/h/m e 14% maiores que 1.000 l/h/m. A figura 6.2.c, já citada, apresenta a relação entre a vazão específica e a profundidade útil dos poços tubulares em aquíferos fraturados (pCbP).

Partindo-se da relação vazão específica / frequência determinou-se a mediana, a qual está situada em torno de 470 l/h/m, inferior a média (832 l/h/m), o que significa uma distribuição do tipo normal.

No que concerne a relação da vazão específica por metro de penetração (capacidade específica) no aquífero para as áreas com predominância de rochas pelíticas, esta relação atinge valor médio de ordem de 7,61 l/h/m/m, situando-se a mediana em torno de 5,4 l/h/m/m o que reflete um pequeno desvio para valores mais inferiores. No caso das áreas mais mescladas com rochas carbonáticas, a média da vazão específica por metro de penetração no aquífero é de 20,5 l/h/m/m, e a mediana corresponde a 8,23 l/h/m/m. Considerando o total dos poços, a média de vazão específica/ penetração no aquífero é de 11,7 l/h/m/m e a mediana 5,81/h/m/m. Do exposto conclui-se a probabilidade de ocorrência de maiores valores da vazão específica por metro de penetração no aquífero nas seqüências com apreciáveis intercalações de rochas carbonáticas (fig. 6.3).

A relação vazão específica/profundidade útil pode ser analisada considerando-se agrupamentos de poços segundo pré-determinados intervalos. A figura 6.4 mostra o

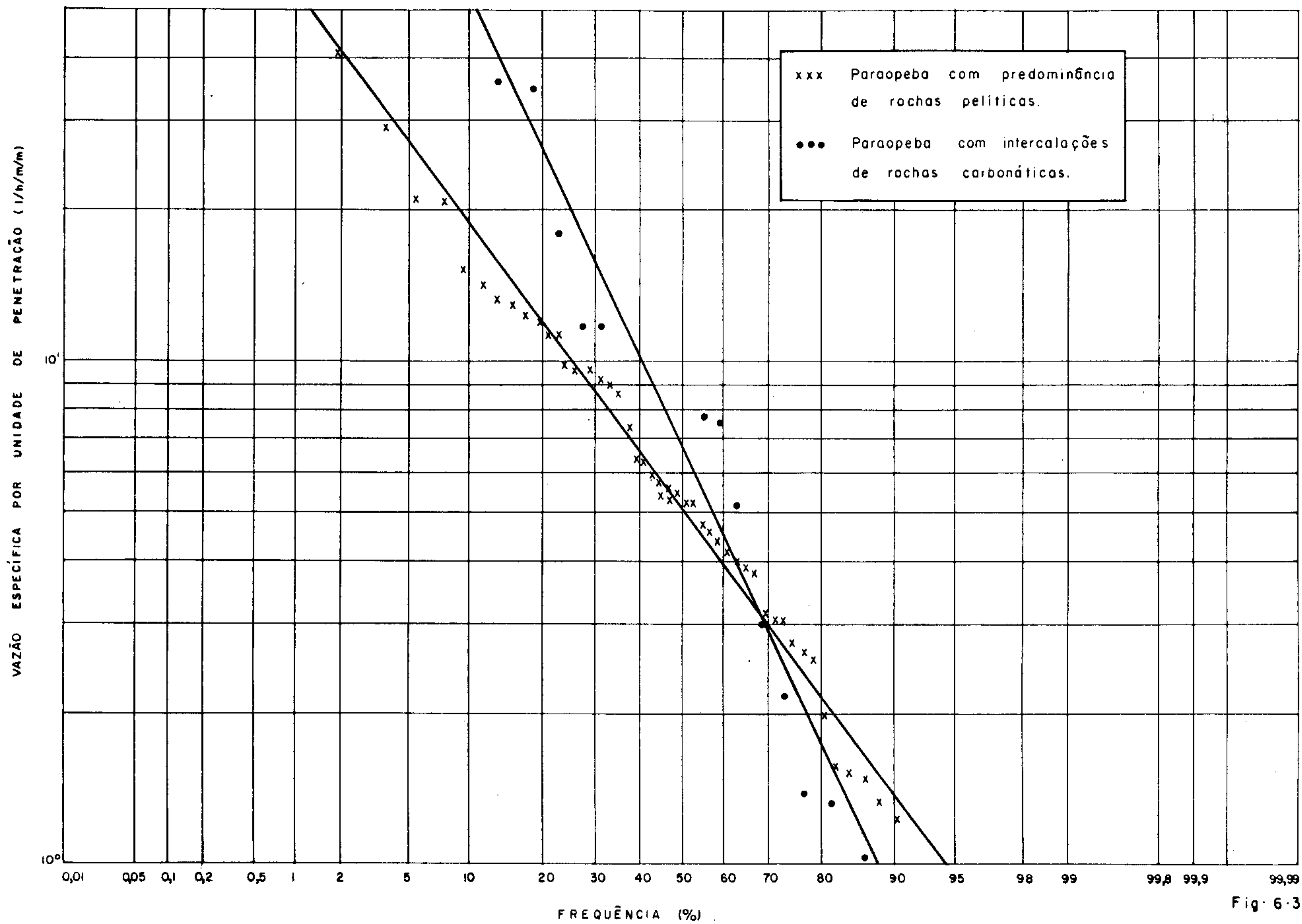


Fig. 6-3

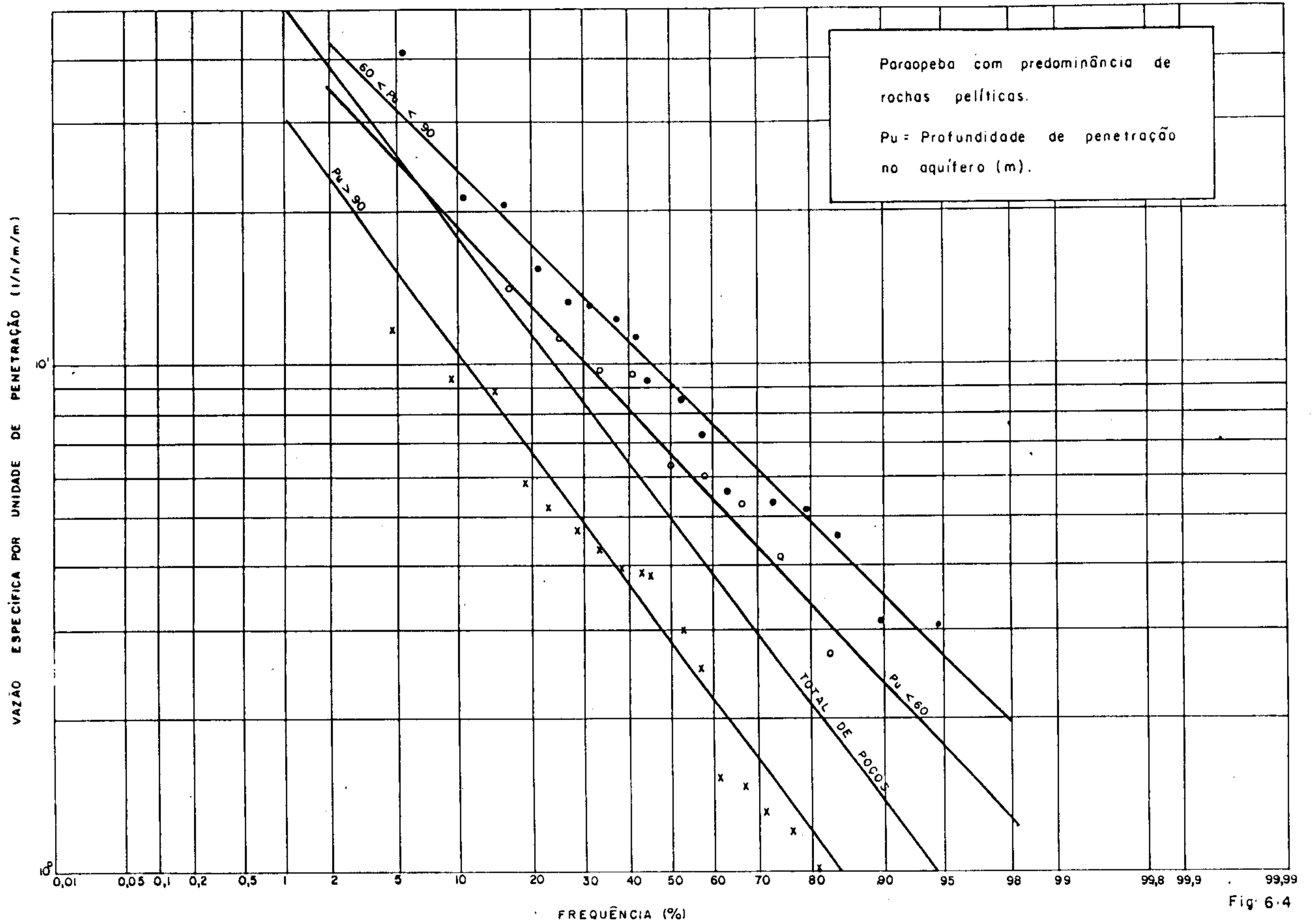


Fig. 6.4

comportamento desta relação para poços com profundidade útil entre 30 e 60, 60 e 90 e maiores que 90 metros, em aquíferos fraturados (p_{cbp}) onde ocorrem predominâncias de rochas pelíticas. Pode-se concluir que os poços com penetração maior que 90 metros apresentam uma diminuição de valores de capacidade específica em relação aos que têm penetração (P_u) menor que 90 metros. Conclui-se ainda, que os poços com penetração entre 60 e 90 metros apresentam probabilidade de maiores valores de capacidade específica em comparação com aqueles de profundidades de penetração menores que 60 metros. Para o caso de áreas mescladas com rochas carbonáticas são obtidas as mesmas conclusões. Ao que tudo indica a profundidade máxima recomendável para os poços tubulares em aquíferos fraturados tipo Paraopeba seria de 100 metros. A partir desta, a probabilidade de os poços alcançarem fraturas alimentadoras passa a ser reduzida, conforme pode ser comprovado pelo estudo das relações capacidade específica/profundidade dos poços e capacidade específica/profundidade de penetração na zona saturada do aquífero.

Os valores de transmissibilidade variam entre $5,4 \cdot 10^{-5}$ a $8,83 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. O coeficiente de armazenamento foi determinado a partir da interpretação de ensaios de bombeamento efetuados nos poços BHNO-240-241, 438-437, 537- 500 e 582-581. A média obtida para este parâmetro corresponde a $9,7 \cdot 10^{-4}$ (Quadro 6.5).

Acompanhamentos periódicos da variação do nível piezométrico foram efetuados no período setembro-78 a agosto-79 nos poços tubulares BHNO- 376, 377 e 500 e as arplitudes das variações obtidas foram de 13,5 , 6,1 e 9,3 metros respectivamente. Dos três poços observados os dois primeiros ocorrem em área de rochas fraturadas de predominân

cia pelítica, enquanto o segundo penetra uma seqüência pelítica com intercalação de rochas carbonáticas em áreas não carstificadas em superfície.

6.3.2.3 Formação Três Marias

Em algumas áreas de cotas mais elevadas a seqüência Três Marias comporta-se como um sistema de fluxo local. Em amostragem realizada, as vazões das nascentes apresentam-se baixas com valores entre 500 e 1.200 l/h. Por outro lado, esta formação, em situação sobreposta a Formação Paraopeba, apresenta uma certa limitação na alimentação desta última, devido apresentar uma litologia heterogênea e uma baixa densidade de fraturas abertas. A Formação Três Marias não desperta grande interesse hidrogeológico.

6.4 Águas Subterrâneas em Zonas Cársticas

Serão consideradas como aquíferos cársticos as rochas de Formação Paraopeba que ocorrem no município de Vazante.

6.4.1 Características Dimensionais

São, os aquíferos, formados por rochas carbonáticas cársticas podendo apresentar intercalações de rochas argilo-carbonosas, argilosas e filitos. As ocorrências destas rochas verificam-se principalmente no município de Vazante, em uma área total correspondente a 150 km².

Dada a existência de poucos dados de nível estático e entradas d'água torna-se difícil estimar a zona

saturada, bem como estabelecer uma configuração piezométrica da área, optando-se, portanto, para o cálculo das reservas reguladoras pelo método baseado na variação piezométrica e no coeficiente de armazenamento.

6.4.2 Alimentação

A recarga nos aquíferos cársticos é efetuada principalmente a partir da infiltração direta das águas pluviais que incidem sobre a sua área de ocorrência. Nas zonas onde se acham recobertos por sedimentos do Terciário-Quaternário e Quaternário pode ocorrer recarga através de processos de filtração vertical descendente.

Os aquíferos cársticos estão condicionados quanto a sua alimentação a existência de juntas, fraturas e diáclases. A dissolução das rochas carbonáticas propicia a formação de cavidades e canais que podem atingir grandes dimensões, formando cavernas que servem de condutos subterrâneos de grande capacidade de armazenamento.

A ocorrência de grutas tem sido registrada apenas ao norte da cidade de Vazante no município do mesmo nome. Para norte, em direção a Paracatu, predominantemente ocorre dolomito intercalado com rochas argilo-carbonáticas, filitosas e ardósias e não foi constatada a existência de evidência de um processo de carstificação.

Nas rochas cársticas da Formação Paraopeba (Vazante) fez-se uma tentativa para se chegar ao coeficiente de infiltração a partir da expressão $i (\%) = \Delta h \cdot S \cdot 100 / P$. O valor Δh foi obtido de observações periódicas efetuadas no poço BHNO-617, no período de setembro-78 a agosto-79, e para o coeficiente de armazenamento será considerado o valor de

-3
5 . 10⁻³ obtido em áreas cársticas de Irecê (OESA).

Então obtem-se para os cársticos um volume de infiltração por unidade de área da ordem de $9,75 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m}^2$. Considerando uma precipitação média anual de 1.100 mm calcula-se para o coeficiente de infiltração um valor de 8,86 %.

6.4.3 Circulação e Descarga

A exemplo do que acontece nas rochas fraturadas, a circulação da água está na dependência da existência de juntas, fraturas e diáclases. Essas estruturas podem ser aumentadas por dissolução da rocha carbonática que vai depender, por sua vez, da qualidade físico-química da água circulante.

O carbonato de cálcio em forma de calcita é de baixa solubilidade em água pura, enquanto que as águas com um elevado conteúdo de CO_2 propiciam, por dissolução, a formação de grandes cavidades nas rochas ricas em carbonatos. Vale ressaltar ainda que com o aumento da temperatura diminui a solubilidade de CO_2 e paralelamente a do carbonato.

O carbonato de magnésio se comporta de modo semelhante ao carbonato de cálcio. O seu produto de solubilidade é mais elevado e por isso precipita mais dificilmente que o CaCO_3 . Entretanto nas rochas carbonatadas ocorre normalmente MgCO_3 (magnesita) e $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita) e que não estão em equilíbrio com a fase líquida. A magnesita e a dolomita são menos solúveis que a calcita (Schoeller, 1962, p. 283) e somente muito lentamente por hidratação entram em equilíbrio.

A participação apreciável do Magnésio nas rochas carbonáticas da Formação Paraopeba na área, entra como fator limitante a uma maior dissolução das mesmas. Por outro lado, a presença de níveis bastante silicificados e fraturas preenchidas por calcita, dolomita e quartzo, se constituem em fatores limitantes a circulação da água (figuras 5.2 e 5.3). Entretanto não deixam de ocorrer algumas cavernas que, entretanto, pela constituição mineralógica da rocha carbonática já abordada, devem possuir formas irregulares e provavelmente pouca extensão. Em poço perfurado na fazenda Olhos D'água (BHNO-617) com profundidades de 202 metros, perfurado pela T. Janer, foram registradas entradas d'água aos 180 e 182 metros e uma vazão específica baixíssima (45 l/h/m).

6.4.4 Características Hidrodinâmicas

A produtividade dos aquíferos cársticos parece ser muito inconsistente. Torna-se impossível pré-avaliar com um bom grau de acuracidade o rendimento de um poço tubular antes de sua perfuração. Na área, o poço BHNO-617 de profundidade 202 metros apresentou uma vazão específica de 40,5 l/h/m, sendo sua vazão específica por metro de penetração na zona saturada igual a 0,23 l/h/m/m. Entretanto no poço tubular BHNO-626 com profundidade de 90 metros, a vazão específica é de 1.666,7 l/h/m e a vazão específica por metro de penetração na espessura saturada é de 25,64 l/h/m/m. Já na cidade de Vazante, próximo ao paralelo 18° L.S, os poços BHSO - 541 e 542, perfurados pela COPASA, apresentam valores de vazão específica de 2.528 e 19.900 l/h/m e valores de capacidade específica iguais a 26,92 l/h/m/m e 412 l/h/m/m respectivamente. Para estes poços os valores de transmissibilidade média correspondem a $1,6 \cdot 10^{-3}$ e $9,89 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ respectivamente.

pectivamente. Por falta de um poço auxiliar que funcionasse como piezômetro não foi possível determinar, nas áreas cársticas, o coeficiente de armazenamento.

A média de transmissibilidade corresponde a $5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

6.5 Água Subterrânea em Sedimentos Granulares

Representam os aquíferos granulares as unidades do Cretáceo, coberturas do Terciário-Quaternário e Quaternário e as aluviões.

6.5.1 Cretáceo

Os sedimentos cretáceos ocorrem em áreas inexpressivas totalizando 1.070 km^2 e estão representados pelas Formações Areado, Mata da Corda e Urucuia.

6.5.1.1 Água Subterrânea na Formação Areado

A Formação Areado ocorre em pequenas áreas, ao sul, nos altos cursos dos rios do Sono e do Prata. É uma unidade psefítica por excelência, onde predominam conglomerados, as vezes arenosos, arenitos líticos e arenitos seixosos. Sua área de ocorrência corresponde a 40 km^2 . Esta unidade, dado a sua área de ocorrência inexpressiva, deixa de despertar interesse hidrogeológico.

6.5.1.2 Água Subterrânea na Formação Mata da Corda

Os sedimentos Mata da Corda ocorrem em uma

faixa no canto sudeste da área constituindo um grande chapadão, interflúvio entre os rios Formoso e do Sono. Ocorrem ainda em áreas isoladas de pequena expressão ao sul de João Pinheiro e no alto curso dos rios Tabocas e da Prata e, finalmente, na serra das Maravilhas, no interflúvio entre os rios Caatinga e Verde. Sua área total é de 880 km².

Estes chapadões da Formação Mata da Corda apresentam superfícies aplainadas com níveis de silicificação e/ou laterização, o que contribui para uma maior resistência às ações do intemperismo, ao mesmo tempo que dificultam a infiltração da água nestes sedimentos. As suas condições morfológicas com escarpas abruptas, também não propiciam condições favoráveis a constituição de um bom aquífero. Grande parte da água infiltrada retorna a superfície através de nascentes de pequenas vazões geralmente temporárias. Um único poço perfurado no chapadão Mata da Corda, no município de Buritizeiro, atingiu uma profundidade de 132 metros e forneceu uma vazão de 6,8 m³/h. Não são conhecidos os dados de rebaixamento.

Devido às suas características morfológicas e litotexturais desfavoráveis dispensa-se para estes sedimentos estudos em maiores detalhes.

6.5.1.3 Água Subterrânea na Formação Urucuia

A Formação Urucuia ocorre em áreas isoladas de pequena expressão, a noroeste e sul de Bonfinópolis de Minas, recobrando as Formações Paraopeba e Três Marias. Ocupando cotas muito elevadas, os arenitos "Urucuia" constituem chapadões, mesas ou mesetas com bordas suavemente escarpadas. Consiste essencialmente de uma fácies pefítica na base

e uma psamítica no topo.

Constitui um sistema aquífero de fluxo local , onde as águas de infiltração circulam no seu interior em pequenos percursos retornando em pouco tempo a superfície através de nascentes.

A sua ocorrência na área é inexpressiva e suas características morfológicas desfavoráveis, não despertando um maior interesse hidrogeológico.

6.5.2 Aquíferos Terciário-Quaternários

Referem-se as coberturas laterizadas que se desenvolvem sobre as unidades da Associação Barbacena e do Grupo Bambuí em cotas variando entre 800 e 1.200 metros.

6.5.2.1 Características Litológicas

Estes sedimentos distribuem-se irregularmente por toda a área do projeto e consistem de areias, cascalhos e material siltico-argiloso inconsistente ou parcialmente lateritizado. O teor de areia e argila apresenta-se em proporções variáveis e ocorre com freqüência o desenvolvimento de horizontes de cascalhos provenientes de conglomerados detríticos por vezes cimentadas por limonita e blocos de can^{ga} (BHNO - 350, 352 e 353).

6.5.2.2 Características Dimensionais

Os aquíferos terciário-quaternários distribuem-se em uma área de 12.750 km², o que corresponde a 17,9% da área total.

A profundidade destas coberturas varia entre 0 a 70 metros. Nos poços BHNO - 350 a 354, ao norte de Luziânia, a espessura situa-se entre 25 a 65 metros, com uma média de 35 metros. Em áreas a sudoeste de Cristalina a espessura determinada conforme perfil litológico do poço BHNO-49 corresponde a 18 metros. A espessura média calculada a partir de perfis de poços é de 25 metros, tendo sido estimada em 08 metros a espessura saturada.

6.5.2.3 Alimentação, Circulação e Descarga

A recarga efetua-se diretamente pela infiltração das águas meteóricas a qual é favorecida pelos baixos valores da declividade da superfície e pela porosidade dos sedimentos, geralmente elevada.

Considerando o total de pontos inventariados (poços manuais), 64% dos valores do nível estático são inferiores a 10 metros, 14% situam-se entre 10 e 15 metros e 22% estão a profundidades superiores a 15 metros (fig. 6.5). Entretanto, sabe-se que apenas alguns dos poços atingem a base de seqüência sedimentar. Tomando-se por base 08 poços (BHNO- 350 a 354, 310, 317, 343 e 357) que atravessam totalmente a seqüência, obtem-se para a profundidade média do nível estático um valor de 18 metros. A espessura saturada se situa em torno de 8 metros.

O coeficiente de infiltração eficaz foi determinado a partir das componentes do escoamento total, obtidas considerando-se as descargas diárias registradas no posto Ponte São Marcos.

Na área de drenagem do referido posto o escoamento de origem subterrânea atinge um valor da ordem de

.82.

DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO NÍVEL ESTÁTICO EM COBERTURAS DETRÍTICAS

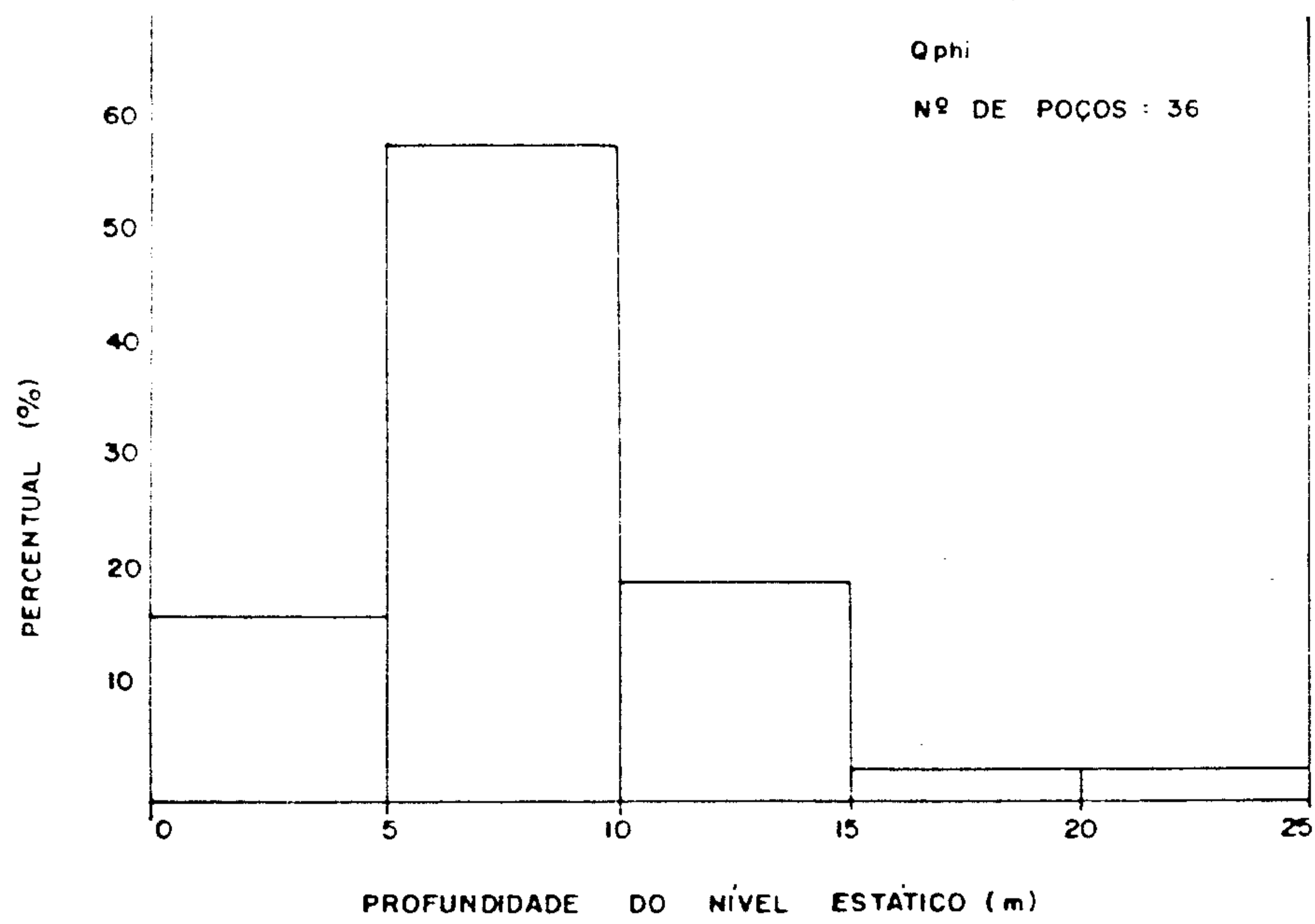
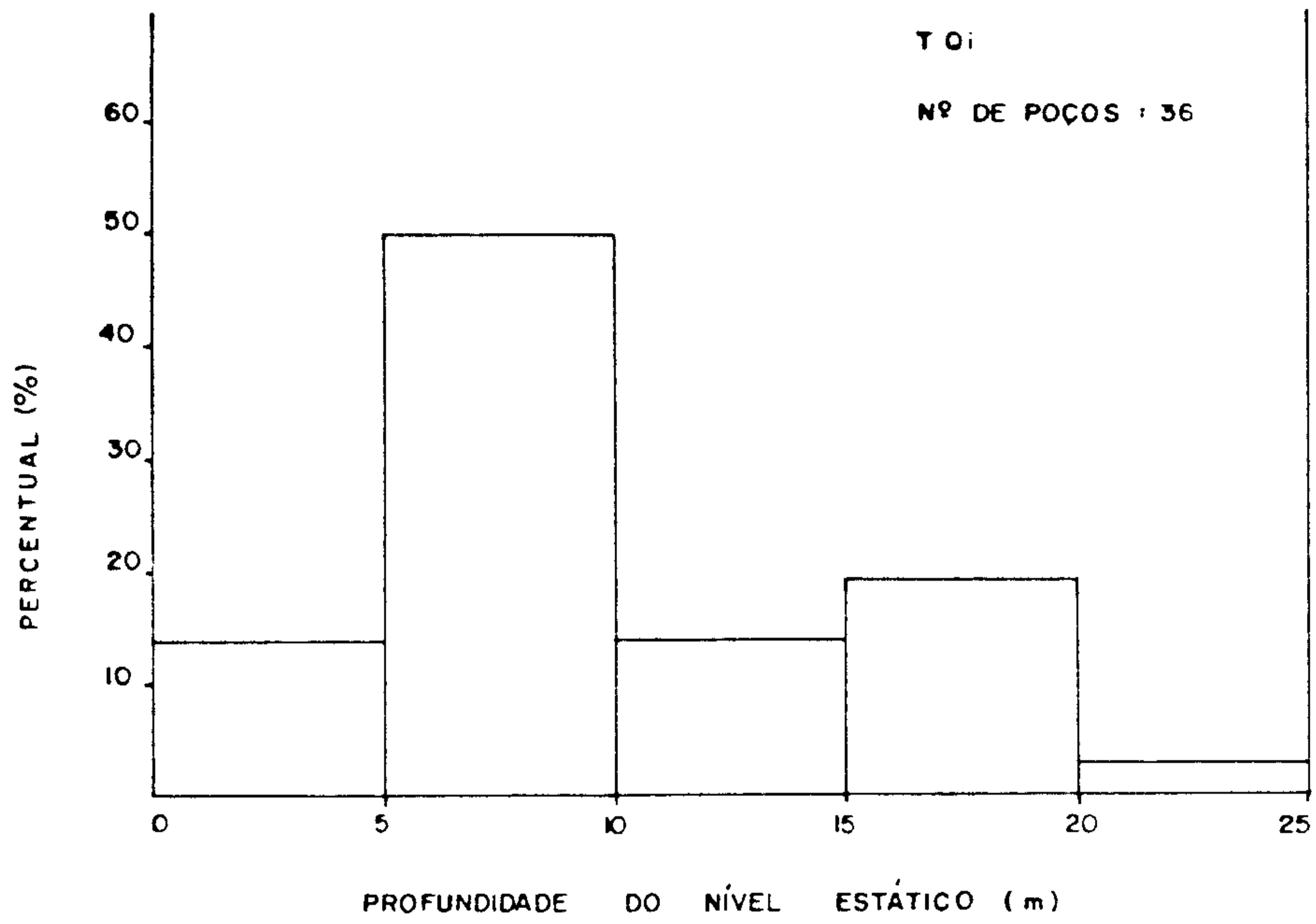


Fig. 6.5

$22 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$, equivalente a 11 % do escoamento total. A partir da expressão $I = Q_s \cdot 100/P.A$, obteve-se, para uma área de infiltração de 1.336 km^2 e uma precipitação média de 1.500 mm, uma infiltração correspondente a 10,97 %, sendo que 10,86 % diz respeito aos sedimentos (TQi) e 0,11 % às rochas do Grupo Bambuí (Quadro 6.4).

A circulação processa-se através dos interstícios granulares e varia segundo a distribuição lateral e vertical da permeabilidade.

Os exutórios são representados pela evapotranspiração, fontes e aquíferos sotopostos. Em 101 nascentes cadastradas a vazão média obtida foi de $10 \text{ m}^3/\text{h}$, o que responde a um volume restituído anual da ordem de $8,85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

6.5.2.4 Características Hidrodinâmicas

A transmissibilidade foi determinada em ensaio de bombeamento realizado nos poços BHNO - 300 e 317 e responde a $2,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, coerente com o tipo de aquífera. A não interferência no piezômetro durante o bombeamento não permitiu a determinação do coeficiente de armazenamento.

6.5.3 Aquíferos Quaternários

Tratam-se das coberturas detríticas não lateritizadas com altitudes entre 500 a 600 metros condicionadas geralmente aos níveis de base de erosão dos principais cursos d'água e as aluviões.

6.5.3.1 Coberturas Detríticas (Qphi)

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO EM AQUIFEROS GRANULARES

BACIA HIDROGRÁFICA	POSTO PLUVIOMÉTRICO	PERÍODO	ÁREA DE DRENAGEM (km ²)	ÁREA DE SEDIMENTO (km ²)	ÁREA DO BAMBUÍ (km ²)	PRECIPITA ÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)	DESCARGA SUBT.MÉDIA NO PERÍODO (m ³ /s)	VOLUME TOTAL RESTITUÍDO NO PERÍODO (m ³)	COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO	
									área total	área de sedimento
PRATA	PORTO DIAMANTE	10.73 a 09.74	3.473	2.777	696	1.364	10,70	337.10 ⁶	-	9 (Tqi + K)
PRETO	PORTO DOS POÇOS	10.69 a 09.70	9.960	2.670	7.290	1.346	86,73	2 735.10 ⁶	20	
SONO	CACHOEIRA DO ESCURO	10.69 a 09.70	5.519	2.960	2.559	1.280	25,75	812.10 ⁶	11	21. (Tqi + K)
URUCUIA	BARRA DO ESCURO	10.69 a 09.70	24.660	14.071	10.589	1.140	131,16	4 136.10 ⁶	15	26
VERDE	FAZ. RIO VERDE	10.74 a 09.75	983	596	387	1.175	0,89	28.10 ⁶	2	4 (Qphi)
PARACATU	STª ROSA	10.71 a 09.72	12.915	-	-	1.279	67,44	2 127.10 ⁶	13	-
PARACATU	PORTO ALEGRE	10.69 a 09.70	42.128	16.588	25.540	1.245	285,00	8 978.10 ⁶	17	43 (Tqi + Qphi + K)
S. MARCOS	PONTE S. MARCOS	10.73 a 09.75	2.229	1.336	2.800	1.500	65,77	22.10 ⁷	0,11	10,86 (Tqi)

Correspondem aos depósitos detríticos com al titude entre 500 a 600 metros que se distribuem acompanhando os leitos dos rios Paracatu, Urucuia e São Francisco, fazen do parte da unidade geomorfológica denominada de Depressão Sanfriscana.

6.5.3.1.1 Características Litológicas

Apresentam grande variação granulométrica, com participação de areias de granulação fina a média, puras, e areias argilosas ou siltosas. Em algumas zonas, como a no roeste de São Romão e João Pinheiro, os solos desta seqüên cia do Quaternário apresentam-se muito arenosos favorecendo à infiltração.

6.5.3.1.2 Características Dimensionais

Os sedimentos detríticos do Quaternário (Qphi) distribuem-se em uma área correspondente a 10.871 km², o que representa 15,3 % da área total em estudo.

De um modo geral, as espessuras destas cober turas variam de 0,20 m até 25 metros, conforme dados de son dagens elétricas efetuadas pelo Cetec (Planoroeste - 2) e perfís litológicos de poços cadastrados. A espessura satura da média situa-se em torno de 3 metros na região de São Ro mão e 2 metros na bacia do Paracatu (Planoroeste-2).

6.5.3.1.3 Alimentação, Circulação e Descarga

A alimentação processa-se diretamente pela infiltração das águas meteóricas e é favorecida pela topo

grafia que apresenta baixíssimas declividades.

Estes sedimentos durante o período chuvoso a apresentam áreas onde a infiltração ultrapassa a capacidade de campo, acarretando uma saturação do solo e formação de pequenas e rasas lagoas.

Onde os sedimentos detríticos recobrem zonas de rochas carbonáticas acontece uma infiltração "per descensum". A drenagem pouco densa reflete um escoamento superficial muito reduzido e ao mesmo tempo uma perda de água por filtrações verticais descendentes das coberturas do Qphi para as rochas calcárias do Grupo Bambuí.

Para a infiltração nas coberturas detríticas (Qphi) já foram calculados alguns valores pelo Cetec (Plano roeste-2), os quais serão aproveitados no presente projeto.

Em cálculos efetuados a partir de hidrogramas, na bacia do Urucuia, onde ocorrem rochas do Grupo Bambuí e sedimentos do Terciário e Quaternário a taxa de infiltração determinada em relação a pluviometria corresponde a 15 % para a área total, sendo que, segundo conclusões do Cetec, para as rochas sedimentares a recarga natural equivale a 26 %.

Na bacia do rio Paracatu, o Cetec, baseado nas descargas diárias registradas no posto Porto Alegre, determinou para a área de drenagem uma infiltração de 17 %, sendo que para os sedimentos do Terciário e Quaternário correspondeu um valor de 43 %. Ainda na bacia do Paracatu, baseando-se nas componentes do escoamento total obtidas a partir das descargas diárias no posto Santa Rosa, obteve o Cetec um coeficiente de infiltração igual a 13 % correspondente a contribuições de rochas do Grupo Bambuí e coberturas

destríticas.

Na bacia hidrográfica do rio Verde, considerando-se os registros diários de descargas do posto Fazenda Rio Verde, em uma área onde o fluxo de base provém das coberturas (Qphi), foi determinado para o volume de água de origem subterrânea um valor de $28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, o que corresponde a uma infiltração de 2 % para a área total e de 4 % para os sedimentos elúvio-coluvionares do Qphi (Quadro 6.4).

Tomando-se por base a variação do nível freático de 2,5 m, obtida no poço BHNO - 378 durante o período setembro-78 a agosto-79, um coeficiente de armazenamento de $S = 6,3 \cdot 10^{-2}$ e uma pluviometria média anual de 1.089 mm, determinou-se, a partir da expressão $I (\%) = 100 \cdot \Delta h \cdot S / P$, uma taxa de infiltração correspondente a 14,46% da pluviometria.

A circulação processa-se através de interstícios granulares, verticalmente em direção aos aquíferos sotopostos e lateralmente segundo gradientes hidráulicos de baixos valores em direção às margens das ocorrências.

Nas áreas onde estes aquíferos recobrem rochas pouco fraturadas aparecem mais frequentemente as fontes localizadas nos contatos (BHNO - 254, 461, 480 e 481). Estas, não raro, apresentam vazões apreciáveis e contribuem sobremaneira no escoamento total dos rios encaixados nas rochas do Grupo Bambuí. Esta contribuição deve-se a baixa permeabilidade das rochas pelíticas do Grupo Bambuí que não permitem uma filtração substancial.

Os principais exutórios estão representados pela evapotranspiração, fontes e aquíferos sotopostos.

A evapotranspiração deve consumir elevado volume

me de água, tendo em vista a litologia predominantemente arenosa do aquífero e a pouca profundidade da superfície freática, pois devido a baixa declividade do terreno e a pequena espessura das coberturas detríticas, os níveis estáticos são geralmente rasos. Do total de pontos inventariados 75 % apresentam valores menores que 10 metros, 19% entre 10 e 15 metros e 6 % maiores do que 15 metros (fig. 6.5).

Normalmente verificam-se conexões hidráulicas dos aquíferos quaternários como os rios Urucuaia, Paracatu e São Francisco.

6.5.3.1.4 Características Hidrodinâmicas

A transmissibilidade e o coeficiente de armazenamento foram determinados em um único ensaio de bombeamento efetuado em dois poços (BHNO - 450 e 451) com profundidades de 13 metros e distanciados entre si de 18,1 metros. Para a transmissibilidade foi encontrado um valor de $8,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, coerente com a participação apreciável, "in loco", de argila nestes aquíferos. Para o coeficiente de armazenamento foi determinado um valor de $6,3 \cdot 10^{-2}$.

6.5.3.2 Aluviões

Constituem uma unidade hidrogeológica que apresenta uma série de aspectos particulares e comuns relacionados com as próprias características geológicas e genéticas do ambiente de formação.

Encontram-se mais desenvolvidos ao longo dos principais rios, ou sejam, São Francisco, Paracatu e Urucuaia

6.5.3.2.1 Características Litológicas

A granulometria das aluviões depende tanto da natureza das rochas das quais originam como da capacidade de transporte das águas do escoamento superficial. A erosão das rochas ardósianas e silticas do Grupo Bambuí pode contribuir com materiais microclásticos, resultando, então, leitos com predominância de argilas. Por outro lado, a influência de arenitos médios e grosseiros e do conglomerado da base das formações cretácicas ou mesmo "Chert" das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, contribui para formação de leitos com predominância de areia e cascalho. Normalmente os sedimentos finos encontram-se nas áreas de inundações e os grosseiros concentram-se nas partes baixas dos talwegues.

6.5.3.2.2 Características Dimensionais

Devido aos processos genéticos inerentes aos aquíferos, estes apresentam uma apreciável variação em espessura e extensão superficial.

Considerando as áreas situadas nas confluências dos rios Urucuia e Paracatu com o rio São Francisco, as quais se constituem como uma opção para o abastecimento d'água, as aluviões distribuem-se por uma superfície de 5.300 km², o que representa 7,4 % da área total estudada.

A partir de sondagens elétricas e mecânicas e de perfis de poços o CETEC (Planoroeste-2) determinou uma variação de espessura para estes aquíferos entre 1 a 50 metros. Entretanto a área em estudo apresenta para Pirapora e São Romão espessuras de 1 a 6 e 40 a 45 metros respectivamente. Ressalta, entretanto, o Planoroeste-2 que as maiores

espessuras obtidas correspondem as aluviões e manto de in temperismo da Formação Paraopeba. Em um poço tubular perfu rado em São Romão a aproximadamente 500 metros do rio São Francisco foi determinada (BHNO - 492) para a aluvião uma espessura de 10 metros.

Litologicamente, há uma variação muito significativa, desde cascalho e areia até argila, que se processa tanto na vertical como lateralmente. Para a espessura po de-se admitir valores variáveis entre 5 a 10 metros já determinados pelo Cetec (Planoroeste-2).

6.5.3.2.3 Alimentação, Circulação e Descarga

A alimentação das aluviões efetua-se diretamente pela infiltração das águas meteóricas, ou por infiltrações laterais provenientes dos cursos d'água nos períodos de maiores descargas destes.

Ocupando os níveis mais baixos, as aluviões podem receber uma apreciável contribuição de sistemas aquíferos com os quais estejam em conexão hidráulico.

O escoamento processa-se para o leito dos rios sob gradiente hidráulico normalmente baixo.

A descarga das aluviões efetua-se em maior escala durante o período de recessão dos cursos d'água.

6.5.3.2.4 Características Hidrodinâmicas

A transmissibilidade e o coeficiente de armazenamento foram determinados em um ensaio de bombeamento nos poços BHNO - 268 e 270. Para T foi obtido um valor de 1,63

. 10^{-3} m²/s e para S um valor de $1,3 \cdot 10^{-2}$. (Quadro 6.5).

6.6 Estimativa das Reservas das Águas Subterrâneas

No estudo dos recursos de água subterrânea considera-se como reserva permanente o volume de água disponível na porção do aquífero delimitada pela sua base e pela superfície piezométrica mínima anual.

Por outro lado, pode-se distinguir também a reserva reguladora ou renovável, considerada como o volume de água disponível armazenada na porção do aquífero delimitada pelas superfícies piezométricas mínima e máxima, no curso de um ano hidrológico. Estas reservas variam de um ano a outro dependendo das condições hidrológicas.

Ressalta-se que as reservas em estado natural dependem muito das variações climáticas. Nos casos de aquíferos conectados com rios, como em algumas áreas de ocorrência dos sedimentos do Quaternário, uma elevada exploração pode aumentar muito as reservas reguladoras ou volume útil das reservas subterrâneas.

As reservas permanentes ou sejam os volumes de água livre mobilizável do aquífero podem ser determinadas pela equação:

$$V_s = V_r S \quad \text{onde}$$

$$V_s = \text{Volume de água mobilizável (m}^3\text{)}$$

$$V_r = \text{Volume da rocha saturada (m}^3\text{)}$$

$$S = \text{Coeficiente de Armazenamento (adimensional),}$$

As áreas de afloramento das formações foram determinadas diretamente dos mapas geológicos utilizando-se de um planímetro. As espessuras médias saturadas foram estima

ENSAIOS DE BOMBEAMENTO

POÇO BOMBEADO BHNO	PIEZÔ METRO	LOCAL	MUNICÍPIO	TESTE REALIZADO	TESTE INTERPRETADO	DURAÇÃO DO TESTE		EQUIPAMENTO UTILIZADO	AQUÍFERO TESTADO	PROP. DO POÇO	N.E. (m)	N.D. (m)	REBAIXAMENTO (m)	RESIDUAL	Q (l/s)	T		S
						BOMBEIO	RECUPERAÇÃO									m ² /s	m ² /dia	
05	-	PIC. SAGARANA	UNAI	COPASA	CPRM	1.170	30	COMPRESSOR	PARAOPEBA	55,0	4,43	29,32	24,89	- 6,07	2,17	0,54 . 10 ⁻⁴ 0,58 . 10 ⁻⁴	4,66 5,01	-
32	-	SEDE	BONF. DE MIWAS	COPASA	CETEC	890	40	COMPRESSOR	PARAOPEBA	100,0	3,25	33,15	29,90	- 14,70	3,70	2,25 . 10 ⁻⁴ 1,99 . 10 ⁻⁴	19,44 17,19	-
33	-	SEDE	BONF. DE MIWAS	COPASA	CPRM	2.820	-	COMPRESSOR	PARAOPEBA	84,4	5,15	27,65	22,50	6,70	6,45	7,96 . 10 ⁻⁴	68,77	-
194	-	SEDE	GUARDA-MOR	COPASA	CETEC	480	90	COMPRESSOR	PARAOPEBA	80,0	8,00	25,06	17,06	- 0,33	3,38	1,3 . 10 ⁻⁴ 1,26 . 10 ⁻⁴	11,23 10,88	-
240	241	BRASILÂNDIA	JOÃO PINHEIRO	CPRM	CPRM	750	-	BOMBA SUB.	PARAOPEBA	73,0	7,99	-	4,74	-	5,0	30 . 10 ⁻⁴	260,68	2,79.10 ⁻⁴
268	270	FAZ. MANGA	JOÃO PINHEIRO	CPRM	CPRM	780	-	BOMBA CENT.	ALUVIÃO	5,0	3,27	-	0,056	-	0,92	16,3 . 10 ⁻⁴	141,09	130,0 . 10 ⁻⁴
317	-	FAIR-PLAY	LUZIÂNIA	CPRM	CPRM	900	-	BOMBA CENT.	COBERTURA (Tqi)	25,0	12,11	13,72	1,61	-	1,11	2,07 . 10 ⁻⁴	17,88	-
436	-	SEDE	PARACATU	COPASA	CPRM	1.440	120	COMPRESSOR	PARAOPEBA	100,0	4,32	30,75	26,43	- 0,2	8,33	3,3 . 10 ⁻⁴ 3,7 . 10 ⁻⁴	-	-
438	437	SEDE	PARACATU	CPRM	CPRM	1.000	-	BOMBA SUB.	PARAOPEBA	95,0	7,63	-	2,28	-	5,0	13,0 . 10 ⁻⁴	114,65	0,05.10 ⁻⁴
438	-	SEDE	PARACATU	COPASA	CPRM	1.440	180	COMPRESSOR	PARAOPEBA	87,0	6,95	19,50	12,55	- 0,93	10,52	6,4 . 10 ⁻⁴ 7,83 . 10 ⁻⁴	-	-
439	-	SEDE	PARACATU	COPASA	CPRM	1.440	180	COMPRESSOR	PARAOPEBA	80,0	2,04	29,10	27,08	- 1,26	5,0	2,86 . 10 ⁻⁴ 3,05 . 10 ⁻⁴	-	-
450	-	FAZ. S. CATARINA	PRES. OLEGÁRIO	CPRM	CPRM	570	140	BOMBA INJ.	COBERTURA (Qphi)	13,8	8,30	10,06	1,76	1,34	0,62	4,3 . 10 ⁻⁴ 3,89 . 10 ⁻⁴	37,15 33,61	-
450	451	FAZ. S. CATARINA	PRES. OLEGÁRIO	CPRM	CPRM	570	140	BOMBA INJ.	COBERTURA (Qphi)	13,0	9,76	-	9,768	-	-	18,3 . 10 ⁻⁴	158,11	630 . 10 ⁻⁴
537	500	CERÂMICA CACIQUE	UNAI	CPRM	CPRM	1.260	-	COMPRESSOR	PARAOPEBA	100,0	11,53	-	0,07	-	2,91	88,3 . 10 ⁻⁴	762,57	35 . 10 ⁻⁴
582	581	NÚCLEO DE COLONIZAÇÃO	UNAI	CPRM	CPRM	1.220	-	COMPRESSOR	PARAOPEBA	75,0	7,79	-	5,75	-	3,25	1,02 . 10 ⁻⁴	8,88	1,05.10 ⁻⁴
BHSO-541	-	SEDE	VAZANTE	COPASA	CETEC	510	60	BOMBA SUB.	PARAOPEBA	148,0	54,08	58,58	4,49	- 0,0	3,16	10,7 . 10 ⁻⁴ 21,4 . 10 ⁻⁴	92,44 184,89	-
BHSO-542	-	SEDE	VAZANTE	COPASA	CETEC	1.440	24	COMPRESSOR	PARAOPEBA	82,0	33,70	35,31	1,61	- 0,0	8,90	102,0 . 10 ⁻⁴ 95,8 . 10 ⁻⁴	881,2 827,7	-

das a partir de perfis de furos estratigráficos e de poços, e de dados obtidos através de levantamentos geofísicos e de secções hidrogeológicas efetuadas pelo Cetec (Planoroeste-2).

Os coeficientes de restituição foram determinados pelo presente estudo pelo método de Theis, a partir de ensaios de bombeamento (06) utilizando piezômetros auxiliares.

Para a estimativa das reservas reguladoras foram usados os métodos do escoamento subterrâneo ($Q = TIL$), variação piezométrica ($V = \Delta h \cdot S \cdot A$), e curvas de recessão.

No quadro 6.6, constam os valores determinados para as reservas permanentes e reguladoras para cada unidade hidrogeológica. Os métodos utilizados serão abordados em itens a seguir.

Quadro 6.6 - Resumo das Reservas Hídricas Subterrâneas

Aquífero	Reservas Permanentes (m^3)	Reservas Exploráveis (m^3/ano)
Aluvião	-	-
Coberturas do Quaternário	$6,9 \cdot 10^8$	$3,93 \cdot 10^8$
Coberturas do Terciário-Quaternário	$3,7 \cdot 10^9$	$4,24 \cdot 10^8$
Paraopeba (Carste)	-	$1,45 \cdot 10^7$
Paraopeba (Fraturado)	$1,1 \cdot 10^9$ (área-1) $2,99 \cdot 10^8$ (área-2)	$1,71 \cdot 10^8$ $3,48 \cdot 10^7$

6.6.1 Rochas Fissuradas

Dos aquíferos fraturados apenas sobre a For
.91.

mação Paraopeba são conhecidos os dados necessários à determinação das reservas.

Para efetuar a estimativa das reservas foram consideradas duas áreas distintas segundo as suas características geológicas e tectônicas. A primeira, na bacia do rio Preto, limita-se segundo uma poligonal cujos vértices são Paracatu, cabeceiras do ribeirão Mundo Novo, Palmital e extremidades norte e sul da falha de empurrão da serra do Rio Preto, compreendendo uma área de 7.663 km². Caracteriza-se por se situar entre duas grandes falhas de empurrão de direção NNW-SSE e por apresentar uma grande incidência de intercalações de rochas carbonáticas as quais não apresentam, em superfície, uma carstificação evidente.

A segunda área, bem maior, possui uma extensão de 26.337 km² e apresenta uma tectônica mais monótona e uma menor participação de rochas carbonáticas em superfície.

Considerando-se para a área do rio Preto (7.663 km²) um valor de 80 m para a espessura média saturada e um coeficiente de armazenamento médio de $1,8 \cdot 10^{-3}$ obtido nos ensaios de bombeamento efetuados nos poços BHNO 537-500 e BHNO 582-581, obtem-se para a reserva permanente um volume de:

$$V_s = 1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

As reservas reguladoras foram calculadas pelos métodos do escoamento subterrâneo e variação piezométrica. Foi admitido para a infiltração um valor médio de 1,79% (Item 6.3.2.2.1). Vale ressaltar que não foi considerado para o cálculo o índice de infiltração de 6,4% calculado pelo Cetec a partir de descargas mínimas na área de drenagem entre os postos pluviométricos de Unai e Porto dos Poções. Então, pa

ra a área de 7.663 km^2 e uma precipitação média anual de $1.248,8 \text{ mm}$ obteve-se para as reservas reguladoras na área do rio Preto um volume correspondente a:

$$V_r = 1,71 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Na segunda área, totalizando 26.337 km^2 , onde a tectônica apresenta-se mais suave, para uma espessura média saturada de 80 metros e coeficiente de armazenamento de $1,42 \cdot 10^{-4}$ (Item 6.3.2.2.1) determinou-se para a reserva permanente um volume da ordem de:

$$V_s = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m}^3$$

As reservas reguladoras foram estimadas utilizando-se os métodos da variação piezométrica e escoamento subterrâneo os quais possibilitaram determinar um valor médio do coeficiente de infiltração igual a $0,11\%$ (Item 6.3.2.2.1).

Extrapolando-se este valor de infiltração para a área total (26.337 km^2) com uma precipitação média de 1.200 mm , determinou-se para as reservas variáveis um volume da ordem de:

$$V_r = 3,48 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Considerando a área total do aquífero Paraopeba fraturado estima-se uma reserva permanente da ordem de $V_s = 1,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ e para as reservas reguladoras um volume da ordem de $V_r = 2,06 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$.

6.6.2 Zonas Cársticas

Dado a complexidade dos mecanismos de recarga e descarga, precariamente conhecidos, as estimativas de re

servas em aquíferos cársticos não são muito precisas.

As reservas permanentes nestas áreas deixam de ser calculadas devido a carência de dados para se determinar a espessura saturada.

Considerando uma infiltração de 8,8% anteriormente calculada (Item 6.4.2), determinou-se para a área de ocorrência de rochas cársticas (150 km^2) com uma precipitação média de 1.100 mm, um volume de reserva reguladora de $V_r = 1,45 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$.

6.6.3 Sedimentos Granulares

Nas áreas de ocorrências dos sedimentos granulares, baseando-se em observações de descargas diárias em postos fluviométricos instalados nas bacias dos rios São Marcos, São Bartolomeu, Paracatu e Preto, foi possível traçar hidrogramas de separação das águas subterrâneas e superficiais com o objetivo de se efetuar os cálculos de volumes de reservas reguladoras e se determinar o coeficiente de infiltração. Para a determinação deste índice também foi usado o método baseado em observações periódicas (12 meses) do nível piezométrico.

6.6.3.1 Coberturas do Terciário-Quaternário (TQi)

No referente as coberturas do Terciário-Quaternário, duas áreas sobressaem-se quanto a extensão e continuidade e que justificam uma estimativa de reservas. Tratam-se das áreas correspondentes ao Chapadão dos Gerais, no canto sudeste e a serra Rio Preto, ao norte, totalizando uma área de 4.678 km^2 .

Considerando-se uma espessura média saturada de 08 metros (Item 6.5.2.2) e um coeficiente de restituição de 0,1 (Cetec Planoroeste-2), determinou-se para estas áreas uma reserva permanente de $V_s = 3,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Partindo-se de um valor de 10,86 % (Item 6.5.2.3) para o coeficiente de infiltração e extrapolando-se este valor para o total da área de afloramento desses sedimentos, calcula-se o volume da reserva de restituição. Portanto, considerando a área de 4.678 km^2 , para uma pluviometria média anual de 1.197 mm, obtem-se uma reserva reguladora de $V_r = 4,24 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$.

6.6.3.2 Coberturas Indiferenciadas do Quaternário

Tendo em vista a grande variação dos parâmetros dimensionais e hidrodinâmicos destes aquíferos em suas ocorrências na área em estudo, os cálculos de suas reservas exploráveis tornam-se dificultados. Distinguem-se duas áreas, quanto a extensão e continuidade, que justificam uma estimativa de reservas. Correspondem a áreas do médio curso do rio Paracatu e baixo curso do rio Urucuia. Considerando-se a espessura saturada média de 2 metros (Item 6.5.3.1.2) e um coeficiente de restituição de 0,06 (Item 6.5.3.1.4) determinou-se para a área (500 km^2) destes sedimentos no médio Paracatu uma reserva permanente de $V_s = 0,6 \cdot 10^8 \text{ m}^3$. Nas áreas (3.500 km^2) do rio Urucuia partindo-se de uma espessura saturada média de 3 metros e do coeficiente de restituição de 0,06, obtem-se um volume de $6,3 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ para a reserva permanente. O volume total da reserva equivale a $V_{s_t} = 6,9 \cdot 10^8 \text{ m}^3$.

Uma estimativa preliminar tomando-se em consi

deração o coeficiente médio de infiltração de 9,23% (Item 6.5.3.1.3) e uma pluviometria média anual de 1.065 mm na área de ocorrência destas coberturas, chega-se a uma reserva explorável da ordem de:

$$Vr = 3,93 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

6.6.3.3 Aluviões

Com os dados disponíveis torna-se impossível calcular os recursos exploráveis das aluviões. Este sistema caracteriza-se por uma cíclica alternância de recarga-descarga em função das descargas dos rios. Torna-se necessário um conhecimento mais preciso da influência dos cursos d'água nestes sedimentos.

7. HIDROQUÍMICA

7.1 Generalidades

O estudo Hidroquímico teve como principal objetivo determinar a adequabilidade das águas subterrâneas para o consumo humano, animal, agrícola e industrial. Procurou-se por outro lado identificar o comportamento químico das águas em relação às características litológicas, de confinamento e dimensionais dos aquíferos, bem como às características climáticas da região.

O estudo foi fundamentado em análises químicas (141) efetuadas no laboratório da CPRM. Durante o inventário dos pontos d'água foram determinados no campo a condutividade, o pH e a temperatura.

No critério de seleção das amostras analisadas foram verificados os graus de exatidão dos resultados pela relação entre a condutividade e os sólidos dissolvidos, bem como a partir da quantificação do "erro" de cada análise calculado pela razão entre a diferença e a soma dos ânions e cátions em miliequivalentes.

Análises de águas representativas das diversas formações estão representadas em diagramas de Schoeller-Berkaloff e Stiff, para uma melhor visualização das diversas facies químicas e das relações iônicas nas águas subterrâneas.

As concentrações dos principais ions dissolvidos nas águas da Associação Barbacena, Formação Paraopeba e coberturas detríticas são mostradas em gráficos, e alguns aspectos são abordados visando a identificação dessas con

centrações com as características geológicas e climáticas a que os aquíferos citados estão subordinados.

Segundo a relação condutividade - rSO_4 apresentada em gráfico (Fig. 7.14) para todos os aquíferos, evidenciam-se na área, 06 principais grupos de águas subterrâneas.

No que se refere as razões iônicas foram efetuados alguns comentários, e, em particular para as águas da Formação Paraopeba, em caráter preliminar, fez-se uma tentativa de apresentar segundo equações, as relações rMg/rCa versus rCa e rCa versus rCl . Esta última relação também acha-se representada segundo uma equação para as águas das coberturas do Quaternário (Qphi).

Para a classificação química das águas foi utilizado o método de diagrama triangular.

No que se refere a potabilidade foram considerados os limites para cada elemento químico definidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A qualidade das águas para a irrigação foi determinada com base na classificação utilizada pelo "U.S. Salinity Laboratory" a qual relaciona a salinidade da água, expressa em condutividade elétrica, com a razão de adsorção de sódio (SAR).

7.2 Composição Química das Águas

Trata o presente da classificação química, principais parâmetros químicos e relações iônicas das águas subterrâneas a partir de amostragens efetuadas nos diversos aquíferos da área em estudo. Para algumas formações são apresentadas características hidroquímicas baseadas em um

pequeno número de amostras, devido ao fato de não apresentarem um interesse maior ao presente trabalho.

7.2.1 Tipos Químicos das Águas

Em geral predominam as águas bicarbonatadas, entre as quais se sobressaem as cálcicas, mistas e cálcico-magnesianas. Seguem mais raramente, entre outras, as bicarbonatada-cloretadas cálcicas, bicarbonatada-sulfatadas cálcicas ou cálcico-sódico-potássicas (figuras 7.1 a 7.4). No quadro 7.1, constam os tipos predominantes de água e valores de resíduo seco, pH e dureza em cada unidade hidrogeológica.

Na Associação Barbacena destacam-se as águas bicarbonatadas cálcico-magnesianas, cálcicas e mistas e geralmente a relação rSO_4/rCl é maior que a unidade. O grau de salinização, baixo, varia de 7 a 148 mg/l, com uma média para o resíduo seco igual a 49,2 mg/l. O pH apresenta valores entre 4,2 a 8 com uma média de 6,6. São águas geralmente agressivas e quanto a dureza comportam-se predominantemente como "muito moles". Tratam-se de águas que não apresentam percursos apreciáveis na sua circulação e sofrem influência de CO_2 da zona de aeração do solo bem como das rochas xistosas que podem se apresentar calcíferas na Associação Barbacena.

Nos ortoquartzitos da Formação Paranoá, para duas amostras analisadas a água apresenta os tipos bicarbonatada cálcica-sódica e mista sódico-potássica. São águas "muito moles" de baixo resíduo seco e comportam-se como agressivas. Tratam-se de águas de aquíferos tipo livre possuindo sistemas de fluxos locais e com uma litologia predom

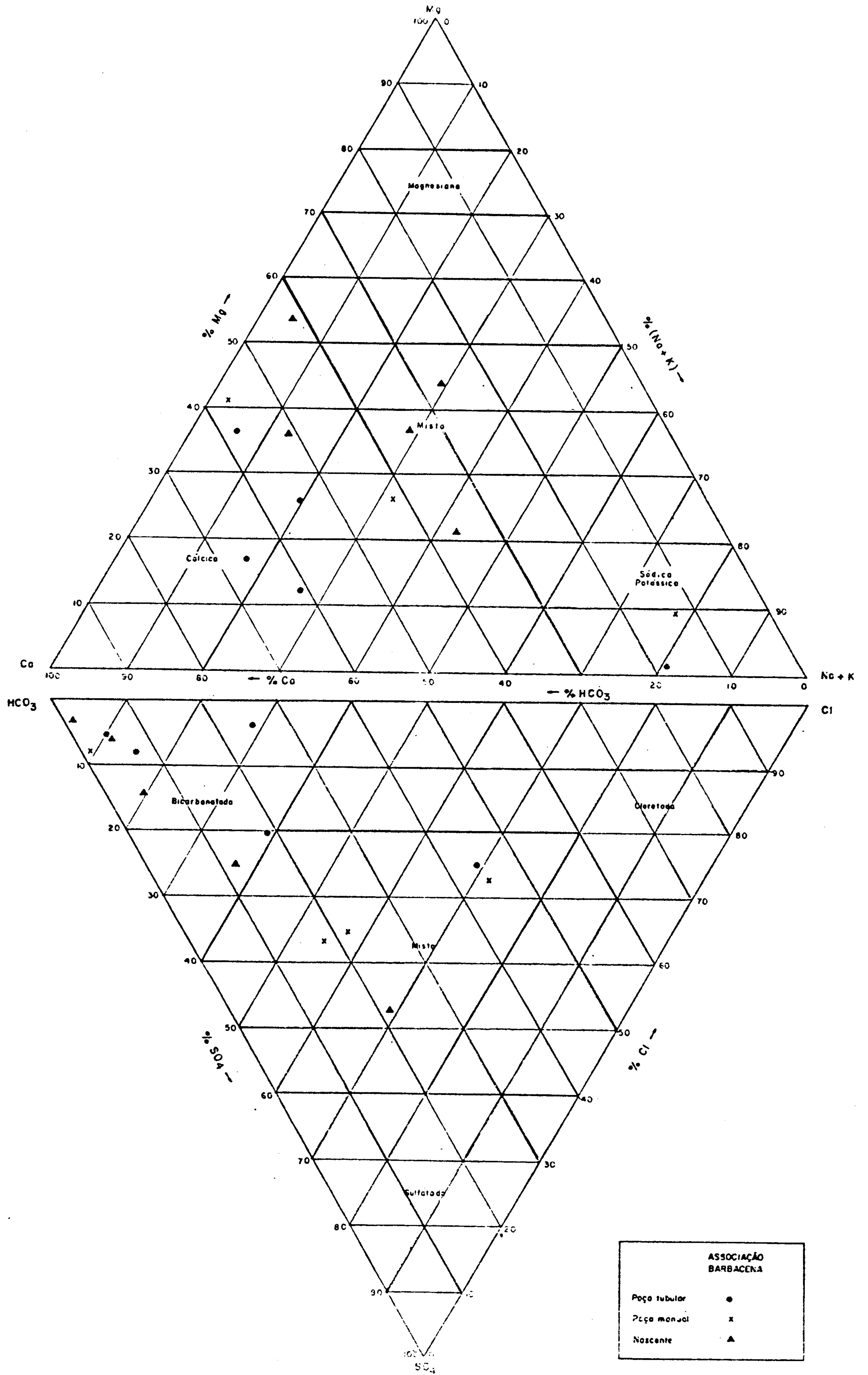


Fig. 7.1

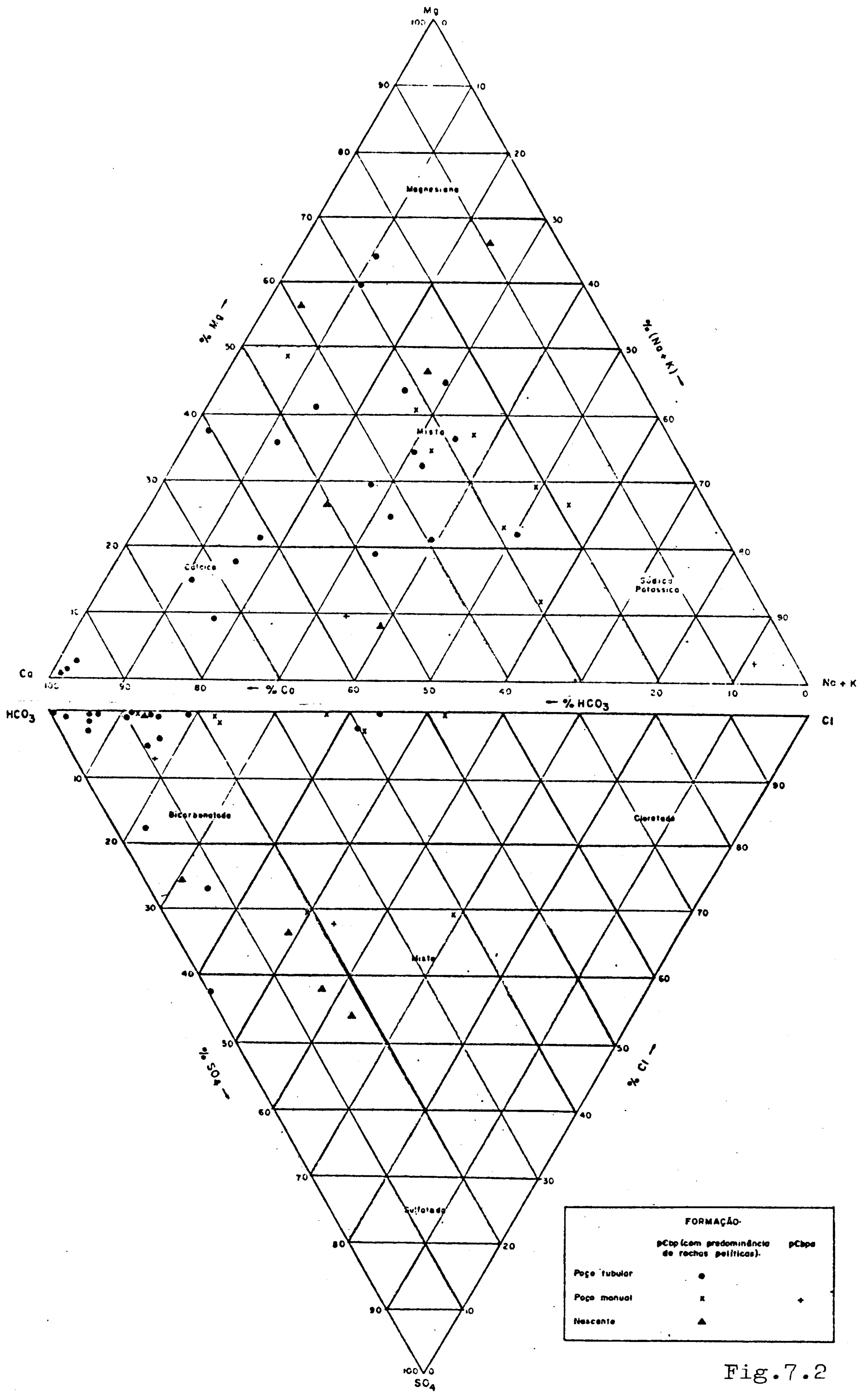


Fig.7.2

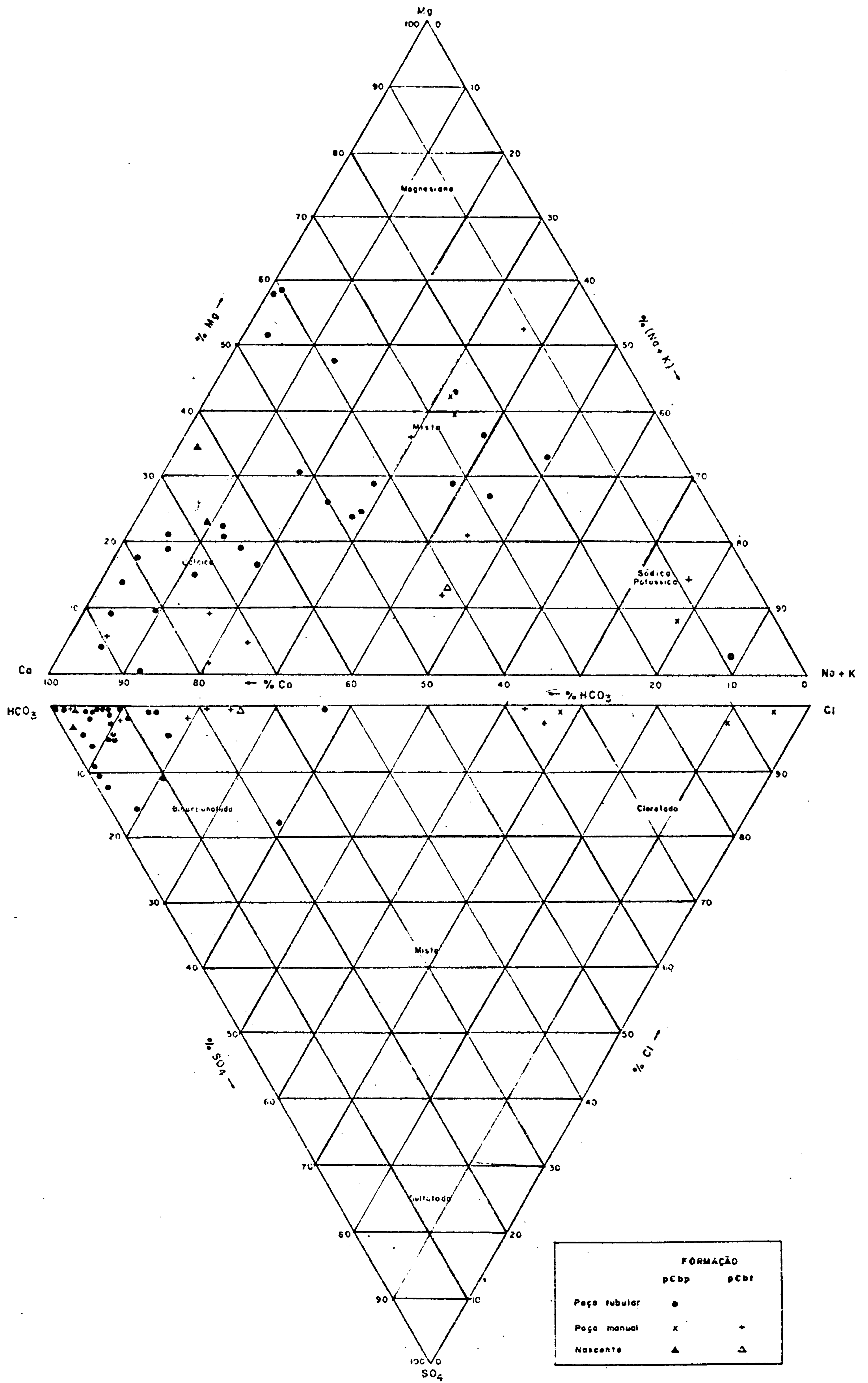


Fig.7.3

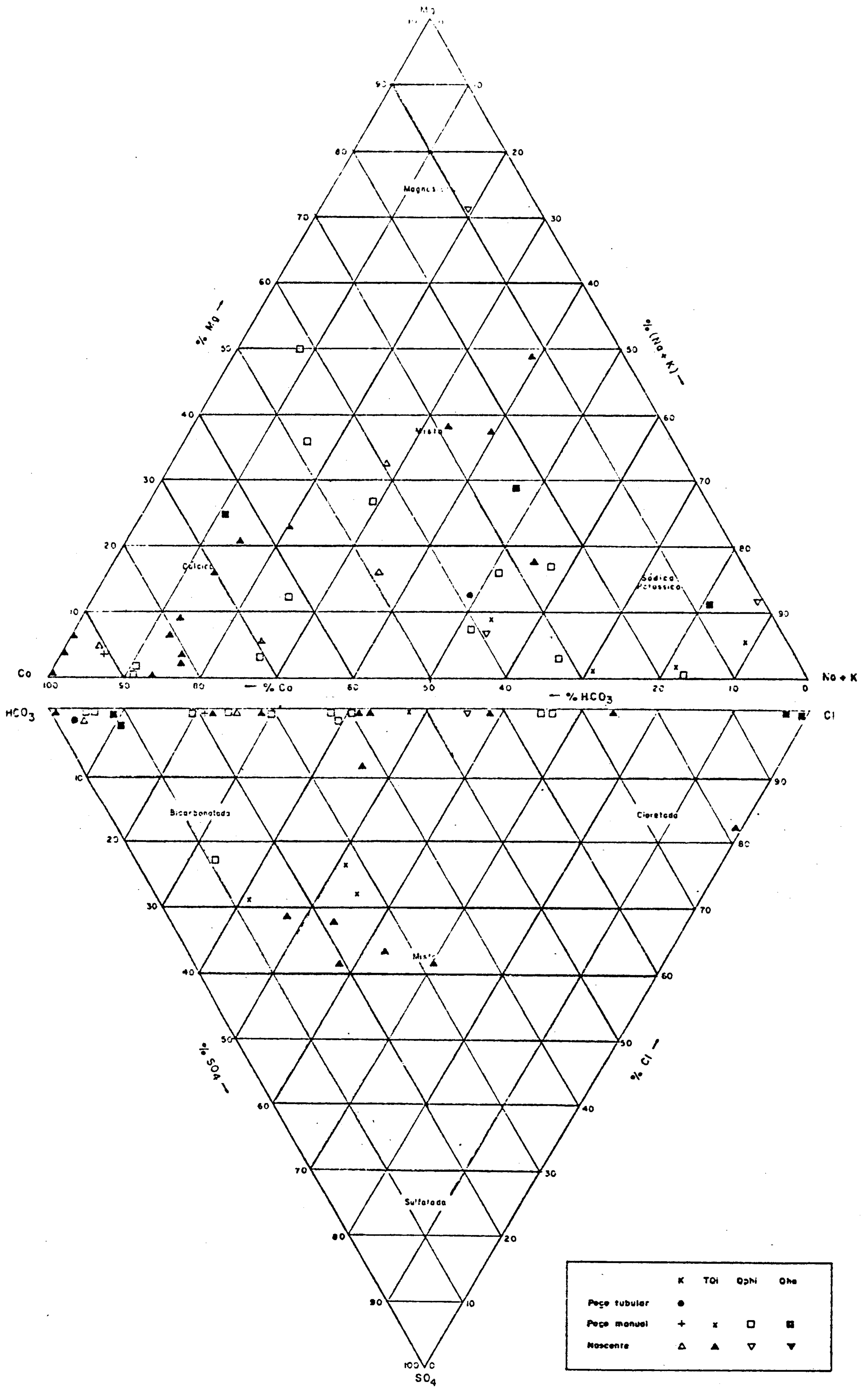


Fig.7.4

TIPOS PREDOMINANTES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM VALORES DE RESÍDUO SECO, pH E DUREZA

UNIDADE HIDROGEOLÓGICA	TIPOS PREDOMINANTES DE ÁGUA	RESÍDUO SECO (mg/l)			pH			DUREZA (CaCO ₃)		
		MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO
Aluvião	Bic. cálcio-magnésiana	144,2	120	174	6,30	4,10	7,90	59,48	22,54	122,5
Cobertura do Qphi	Bic. cálcica e cálcio-sódio-potássica Bic. cloretada sódio-potássica	63,8	14	178	6,70	5,00	8,10	25,95	2,40	77,03
Cobertura do TQi	Bic. cloretada cálcica e bicarbonatada Mista mista e sódio-potássica	15,0	01	36	6,00	4,80	6,80	5,61	1,30	11,76
Cretáceo	Bic. cálcio-sódio-potássica	25,3	15	44	6,50	5,90	7,20	13,91	5,50	28,42
Três Marias	Bic. cálcica e mista	139	14	311	7,20	6,00	8,50	71,86	2,60	200,31
Paraopeba (carste)	Bic. cálcio-magnésiana	234,5	170	299	7,00	6,20	7,90	111,13	45,47	176,79
Paraopeba (c/ intercalações de rochas carbonáticas)	Bic. cálcica e mista	246,3	54	498	7,70	5,40	8,60	171,40	18,62	437,08
Paraopeba (Pelítica)	Bic. cálcica, mista e cálcio-magnésiana	98,5	12	395	7,20	5,40	9,00	53,84	3,50	292,82
Paranoá	-	54	44	64	6,70	6,60	6,80	16,46	5,10	27,83
Associação Barbacena	Bic. cálcio-magnésiana, cálcica e mista	49,2	7	148	6,60	4,20	8,00	27,63	4,90	96,04

QUADRO : 7.1

minantemente de quartzitos e que, por outro lado, estão inseridos em um clima tropical de altitude onde a evapotranspiração real apresenta valores superiores a precipitação pluviométrica apenas em dois meses.

Na Formação Paraopeba, onde predominam as rochas pelíticas sobressaem-se as águas bicarbonatadas cálcicas, mistas e cálcico-magnesianas, sendo geralmente o rCl maior que o rSO₄. O grau de salinização não se apresenta elevado variando entre 12 e 395 mg/l e as águas tanto podem ser incrustantes como agressivas. O pH varia entre 5,4 a 9 e a média corresponde a 7,2. Quanto a dureza são predominantemente "muito moles" podendo ocorrer esporadicamente ou tros tipos. As ardósias calcíferas parecem apresentar uma certa influência no tipo químico destas águas. Em áreas onde ocorrem intercalações de rochas carbonáticas, distinguem-se os tipos químicos de águas bicarbonatadas cálcicas e mistas, apresentando, em geral, o rCl maior que rSO₄. São águas, na maioria das vezes, incrustantes com uma média de pH igual a 7,7 e valores de resíduo seco entre 54 a 498, com média de 246 mg/l. Quanto a dureza, predomina o tipo "muito dura" seguido dos tipos "algo dura", "muito mole" e "mole". A presença de uma maior participação de rochas carbonáticas nestas áreas e de melhores condições para a circulação da água comparando-se com aquelas áreas onde predominam as rochas pelíticas, proporcionam maiores valores de resíduo seco com uma predominância de águas bicarbonatadas alcalino-terrosas. Nas áreas cársticas (Vazante), duas amo^sstras de água analisadas acusaram os tipos bicarbonatada mag^snésio-cálcica para um poço tubular e cloretada sódico-potássica para um poço manual. São águas incrustantes com valores de pH iguais a 7,9 e 6,2 e valores de resíduo seco cor

respondentes a 170 e 299 mg/l respectivamente. Considerando-se a presença apreciável de rochas dolomíticas nestas áreas deve predominar para as águas mais profundas o tipo bicarbonatada cálcica magnesiana.

No que concerne a Formação Três Marias predominam as águas bicarbonatadas cálcicas e mistas com o rCl maior que o rSO₄. O resíduo seco apresenta valores entre 14 a 311 mg/l com uma média de 139 mg/l e o pH situa-se entre 6 a 8,5. São águas que podem ser incrustantes ou corrosivas e quanto a dureza comportam-se geralmente como "muito mole". As rochas pelíticas desta formação, que podem se apresentar calcíferas, possuem alguma influência no tipo químico das águas e, vale ressaltar, trata-se de um aquífero livre de pequena espessura com um manto de intemperismo irrisório.

As rochas do Cretáceo apresentam águas bicarbonatadas, as quais podem ser cálcicas, cálcico - magnesianas, sódico-potássico-cálcica ou sódico-potássico - magnesiana. São geralmente "muito moles", de salinização incipiente e agressivas. O rCl apresenta-se maior que o rSO₄. Tratam-se quimicamente de águas coerentes com o tipo de aquífero livre caracterizado por sistemas de fluxos locais.

No que trata das coberturas do Terciário-Quaternário evidenciam-se as águas bicarbonatadas e mistas, as quais apresentam-se associadas quanto ao cátion a tipos diversos. São predominantemente muito moles, de baixa salinidade com um resíduo seco médio em torno de 15 mg/l. Quanto ao pH apresentam valores inferiores a 7 e comportam-se como águas corrosivas. A composição química é coerente com aquíferos livres de sistemas de fluxos locais.

Nas coberturas do Qphi destacam-se as águas bicarbonatadas com tipos variados no que se refere aos cátions. Em geral o rCl é maior que o rSO_4 . Seguem as bicarbonatadas cloretadas que se apresentam como cálcicas, sódico-potássicas, sódico-potássico-cálcicas e mistas. São de baixo grau de salinização com resíduo seco médio de 63,8 mg/l. Apresentam para o pH um valor médio de 6,7, comportando-se como águas corrosivas e, quanto a dureza são, em caráter predominante, "muito moles".

Nos sedimentos aluvionares, para duas amostras analisadas, as águas são do tipo bicarbonatada cálcica magnesiânica e a relação rCl/rSO_4 apresenta-se maior que a unidade. Comportam-se como águas agressivas e de baixa salinidade com uma média para o resíduo seco igual a 144 mg/l.

As figuras 7.5 e 7.6 indicam as concentrações dos principais ions dissolvidos nas águas subterrâneas das rochas da Associação Barbacena, Formação Paraopeba e cobertura detrítica (Qphi) - aluviões. A seguir abordaremos alguns aspectos sobre estas concentrações iônicas.

No que concerne ao potássio as águas da Associação Barbacena e Formação Paraopeba são semelhantes e apresentam para 100% das análises químicas uma concentração deste cátion entre 0 e 5 mg/l. Por outro lado, nas águas menos profundas dos aquíferos livres, tal como acontece nas coberturas detríticas do Qphi, para 80% das amostras a concentração de K varia entre 0 e 5 mg/l e em 20% seus valores situam-se entre 5 e 15 mg/l. A menor concentração de potássio em águas de aquíferos mais profundos justifica-se pelo fato de este ion possuir um grande poder de fixação

FREQUÊNCIAS IÔNICAS

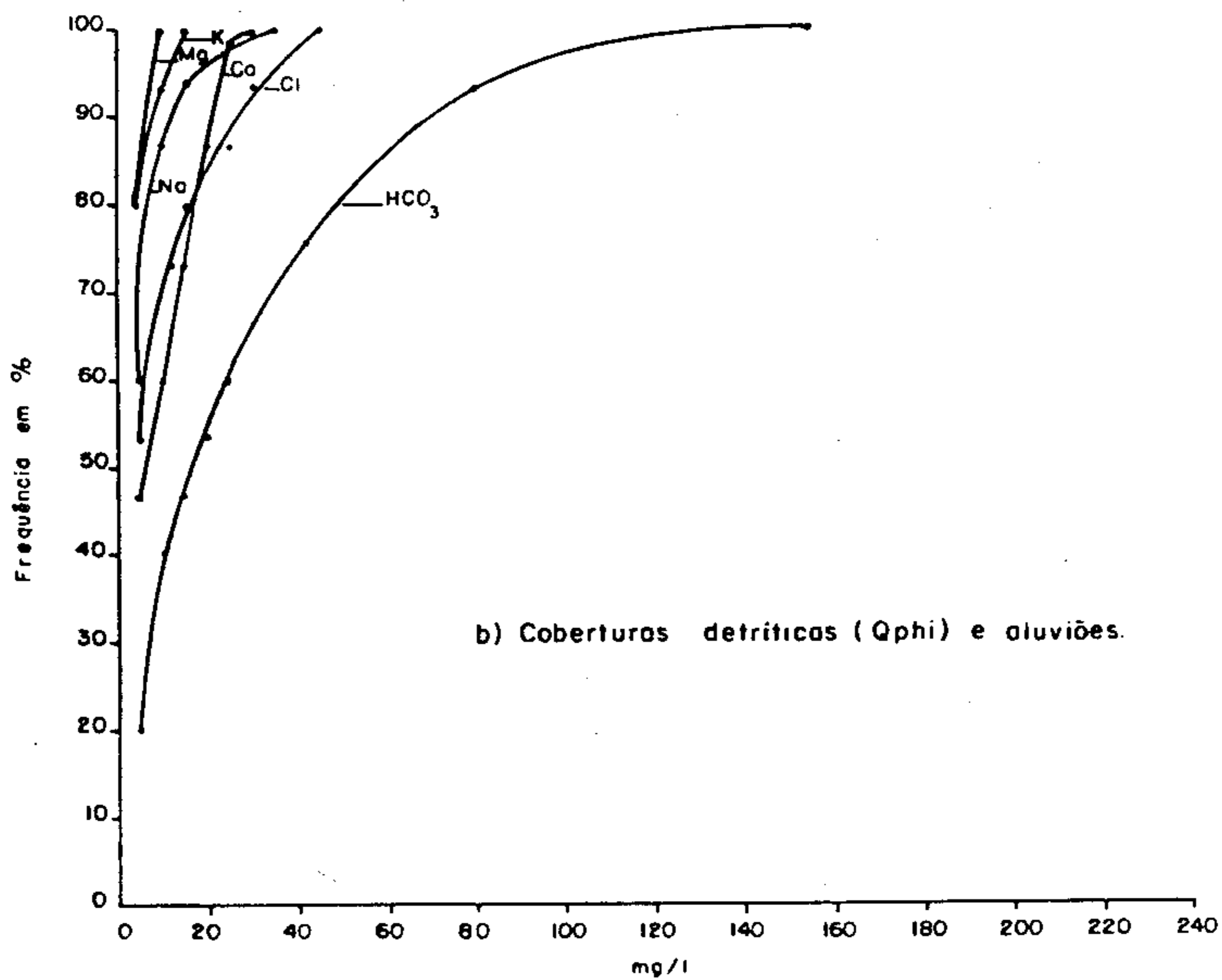
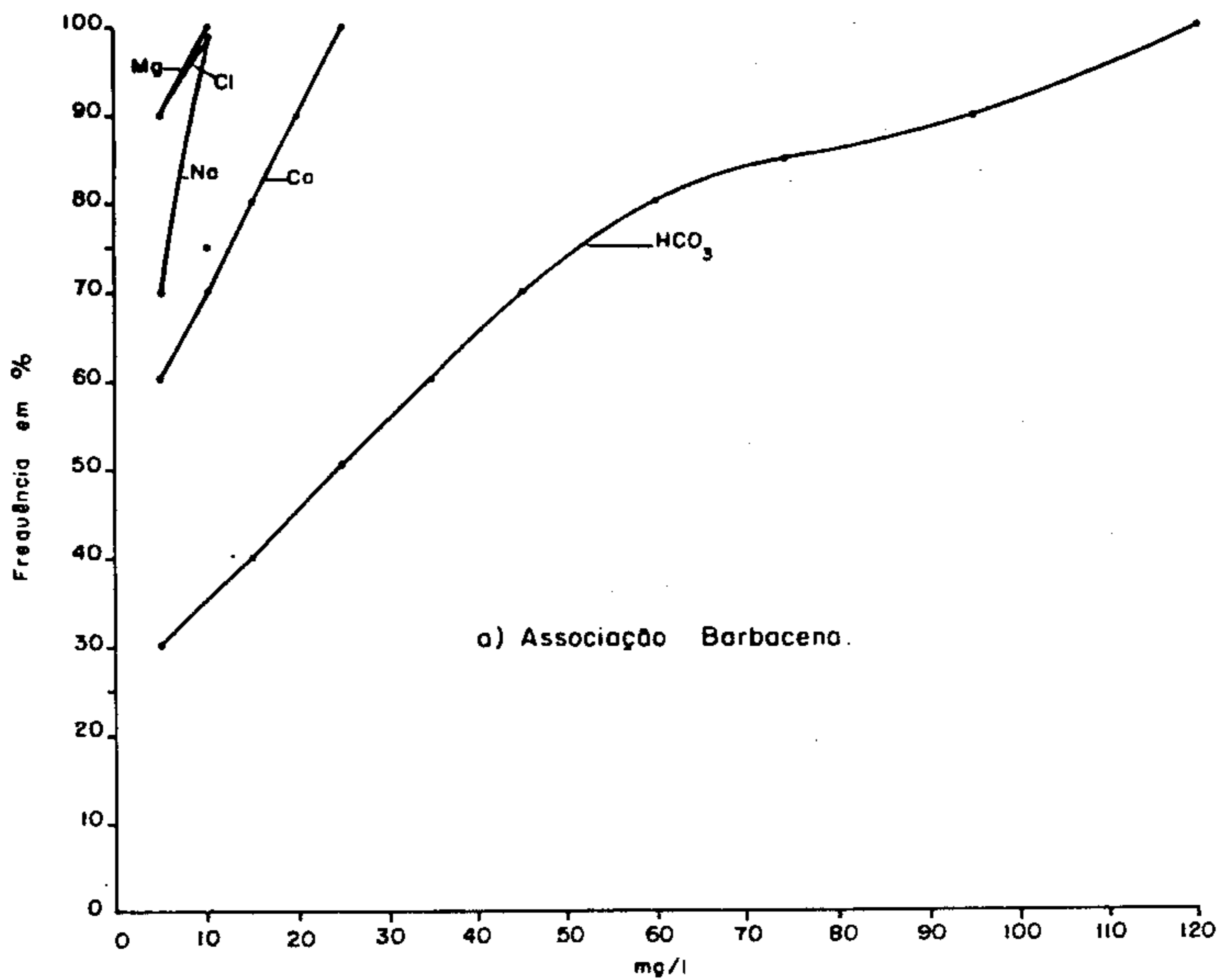


Fig. 7.5

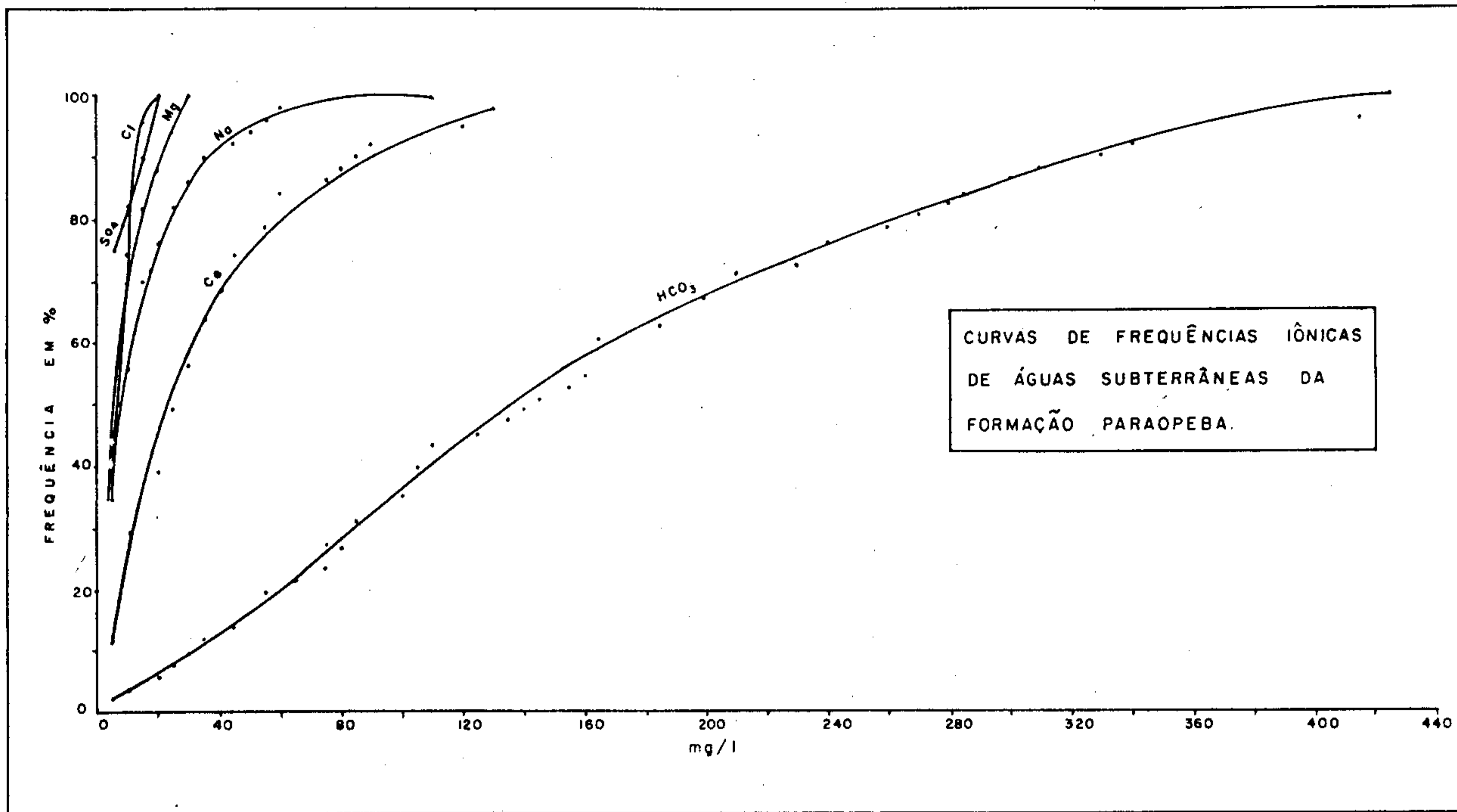


Fig. 7.6

durante a percolação da água.

Quanto ao sódio, as suas maiores concentrações ocorrem nas águas do aquífero Paraopeba. Nas águas da Associação Barbacena a sua concentração varia de 0 a 5 mg/l para 70% das análises químicas e de 5 a 10 mg/l para 30%, enquanto que nos sedimentos do Quaternário, em 60% das análises ocorrem valores de concentração de sódio entre 0 e 5 mg/l, em 26% de 5 a 10 mg/l e em 14% entre 10 e 30 mg/l.

Quanto ao cálcio, as menores concentrações ocorrem nas águas dos sedimentos de Quaternário e das rochas da Associação Barbacena, com valores que não ultrapassam a 30 mg/l. Para os sedimentos, 75% das análises acusaram valores de concentração de cálcio entre 0 a 12,5 mg/l e 25% entre 12,5 e 25 mg/l, enquanto que para os metamorfitos 75% das amostras apresentaram valores entre 0 e 16 mg/l e 25% entre 16 e 30 mg/l. Os maiores teores de cálcio ocorrem nas águas do Grupo Bambuí, chegando atingir valores da ordem de 125 mg/l.

No que se refere ao magnésio, os teores são maiores nas águas de aquífero Paraopeba. As concentrações deste cátion nas águas da Associação Barbacena e sedimentos recentes são semelhantes. Para os metamorfitos, em 90% das análises químicas obteve-se para a concentração do magnésio valores de 0 a 5 mg/l e em 10% valores entre 5 a 10 mg/l, enquanto que nos sedimentos 80% acusam teores de 0 a 5 mg/l e 20% entre 5 a 10 mg/l.

As maiores concentrações do ion bicarbonato correspondem as águas das rochas do aquífero Paraopeba (0 a 425 mg/l) e as menores às águas das rochas da Associação Barbacena (0 a 120 mg/l).

Quanto ao ion cloreto a sua concentração ocorre em valores maiores nos sedimentos do Quaternário que, vale ressaltar, são aquíferos de pequena espessura predominando em áreas de clima 4bTh. Para estes sedimentos a concentração do cloreto varia entre 0 a 5 mg/l para 25% das análises químicas, 5 a 12,5 mg/l para 50% e 12,5 a 45 mg/l para o restante.

As concentrações de sulfato são pequenas e apresentam-se maiores nas águas das rochas do aquífero Paraopeba, onde 75% das análises químicas apresentaram valores entre 0 a 10 mg/l e 25% entre 10 a 20 mg/l.

Os tipos mais representativos das águas subterrâneas da área em estudo estão representados segundo o diagrama de Schoeller-Berkaloff (figuras 7.7 a 7.13), bem como através de diagramas de Stiff representados no mapa de hidroquímica anexo.

Na figura 7.14 estão representados os principais grupos (06) de águas subterrâneas da área segundo a relação condutividade (Mmho/cm) X sulfato (rSO_4).

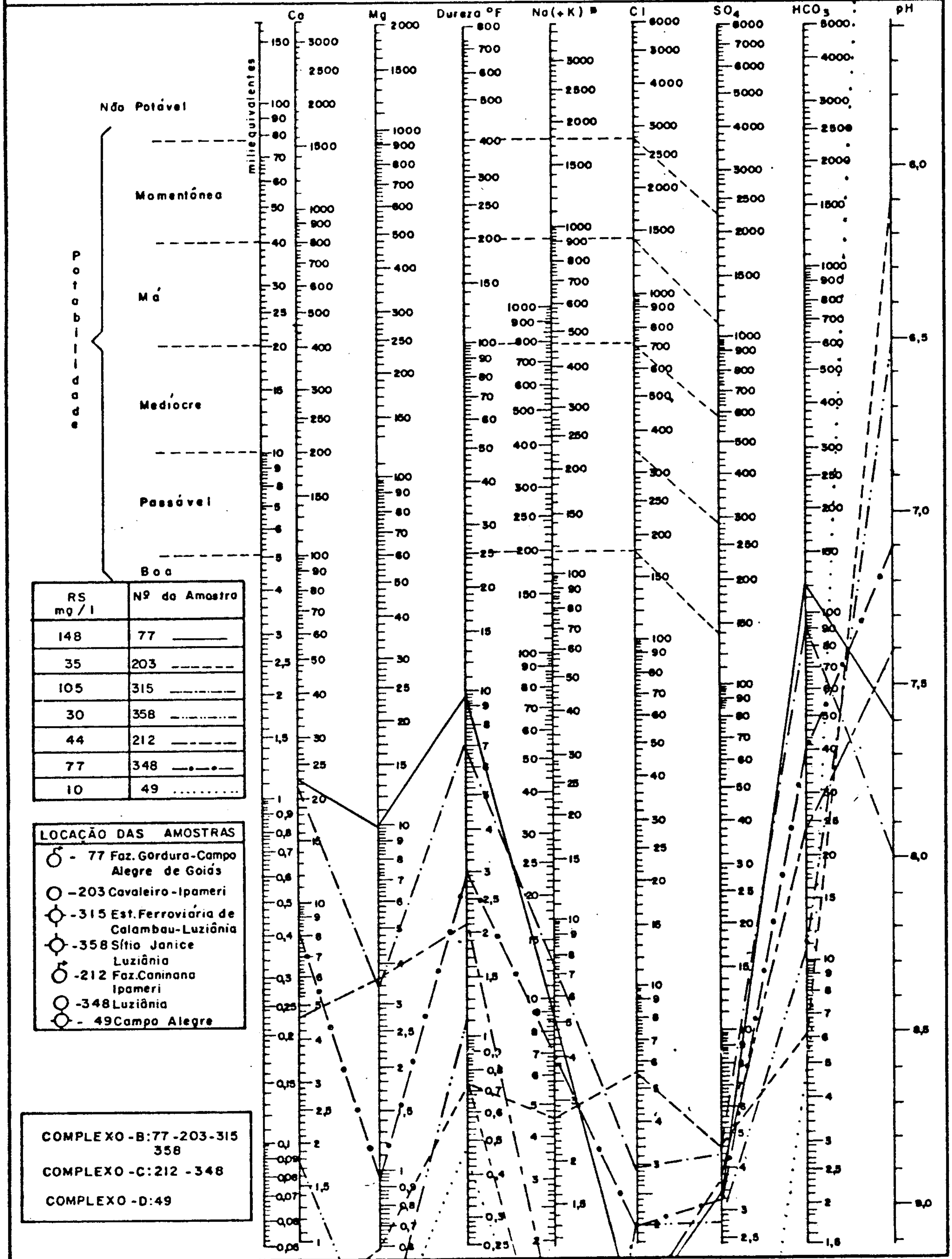
7.2.2 Relações Iônicas e Índices de Trocas de Base.

Para o presente estudo serão abordadas as relações iônicas que interessam em particular a cada formação e, para o mesmo, não foram considerados os resultados de análises que apresentaram erros superiores aos definidos pelas normas técnicas.

No que se refere a razão rMg/rCa os maiores valores ocorrem em águas das coberturas do Terciário-Quaternário que apresentam uma faixa de variação entre 0,04

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



⊕ Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.7

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

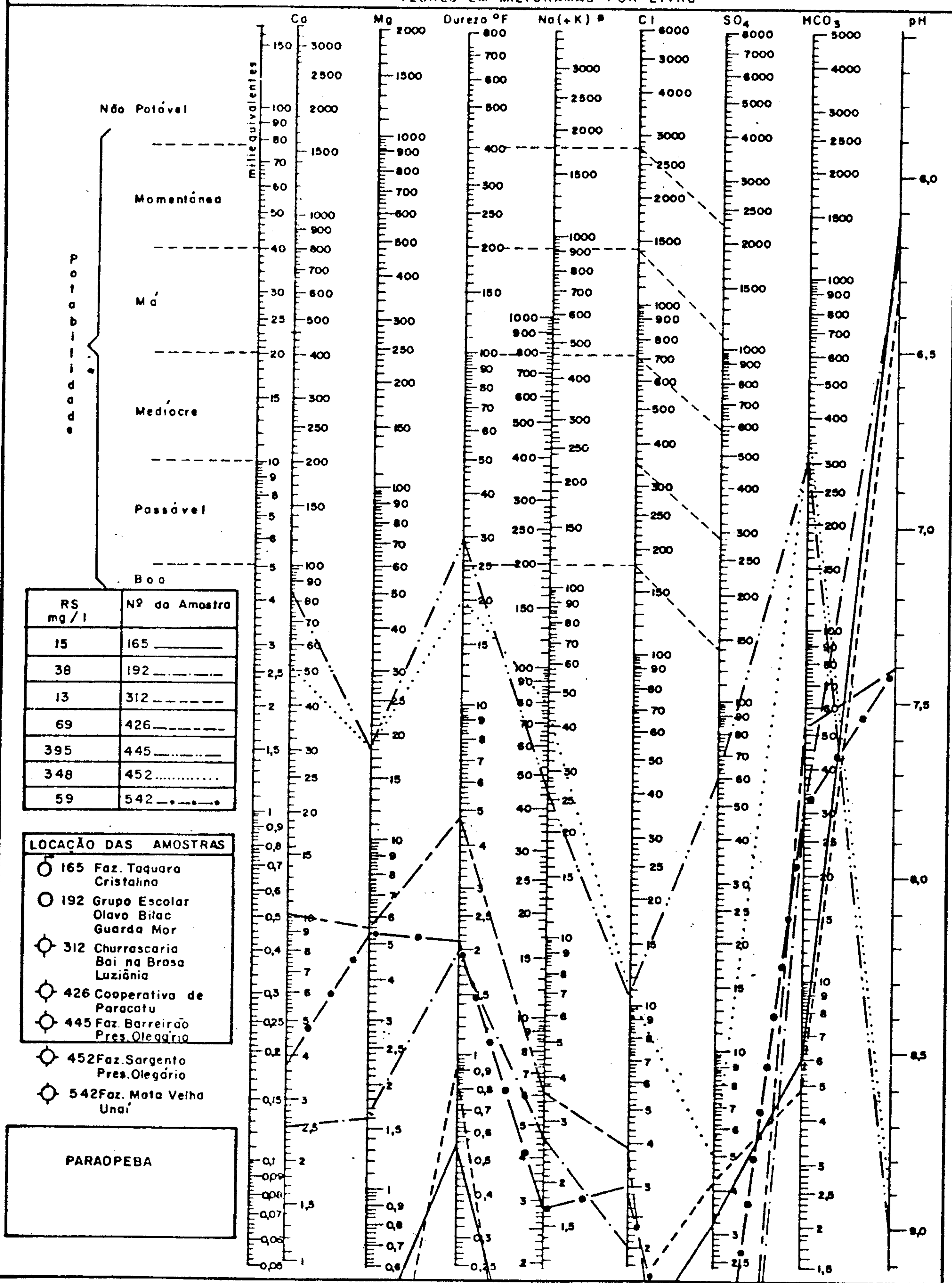
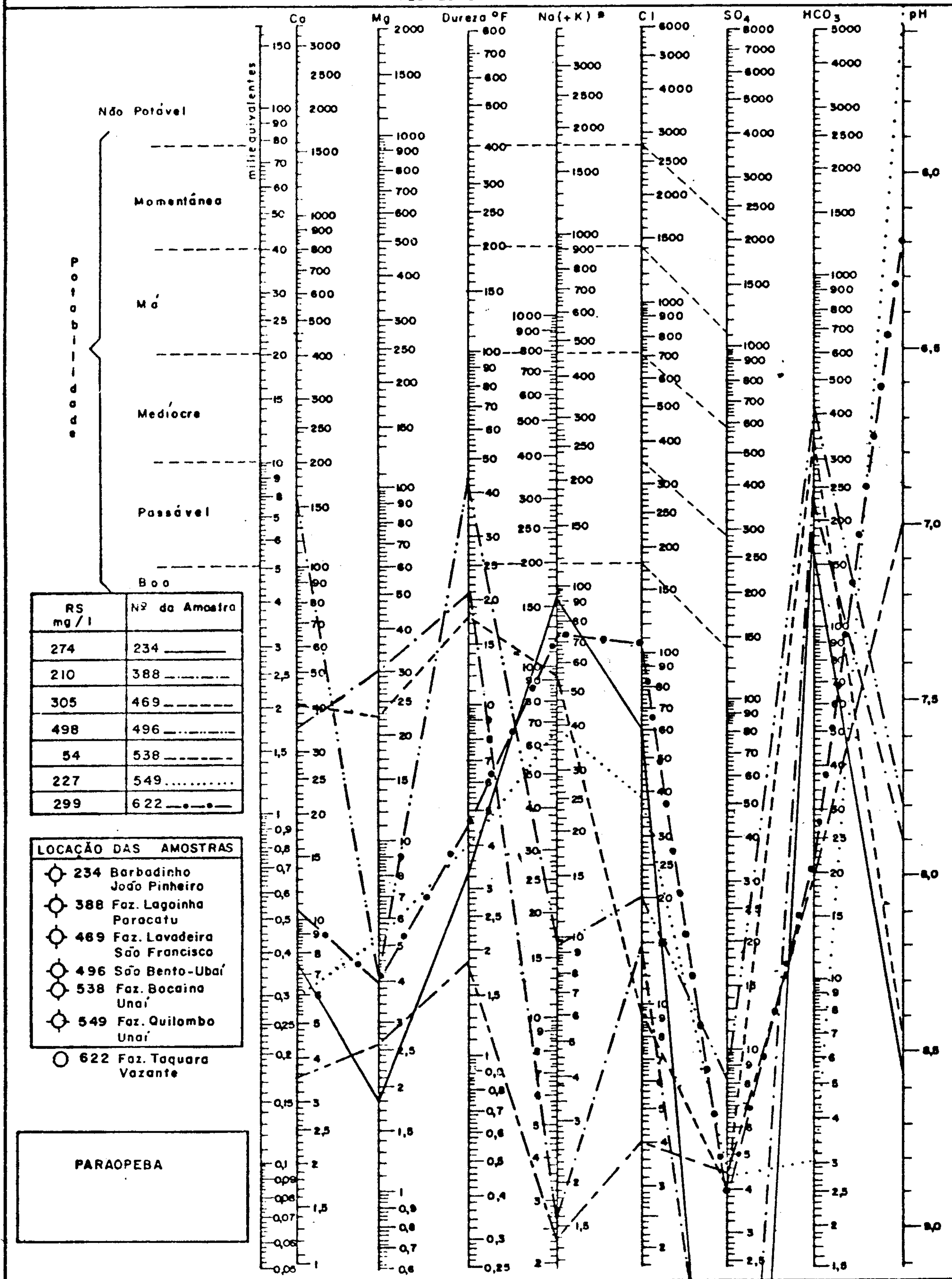


Fig. 7.8

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

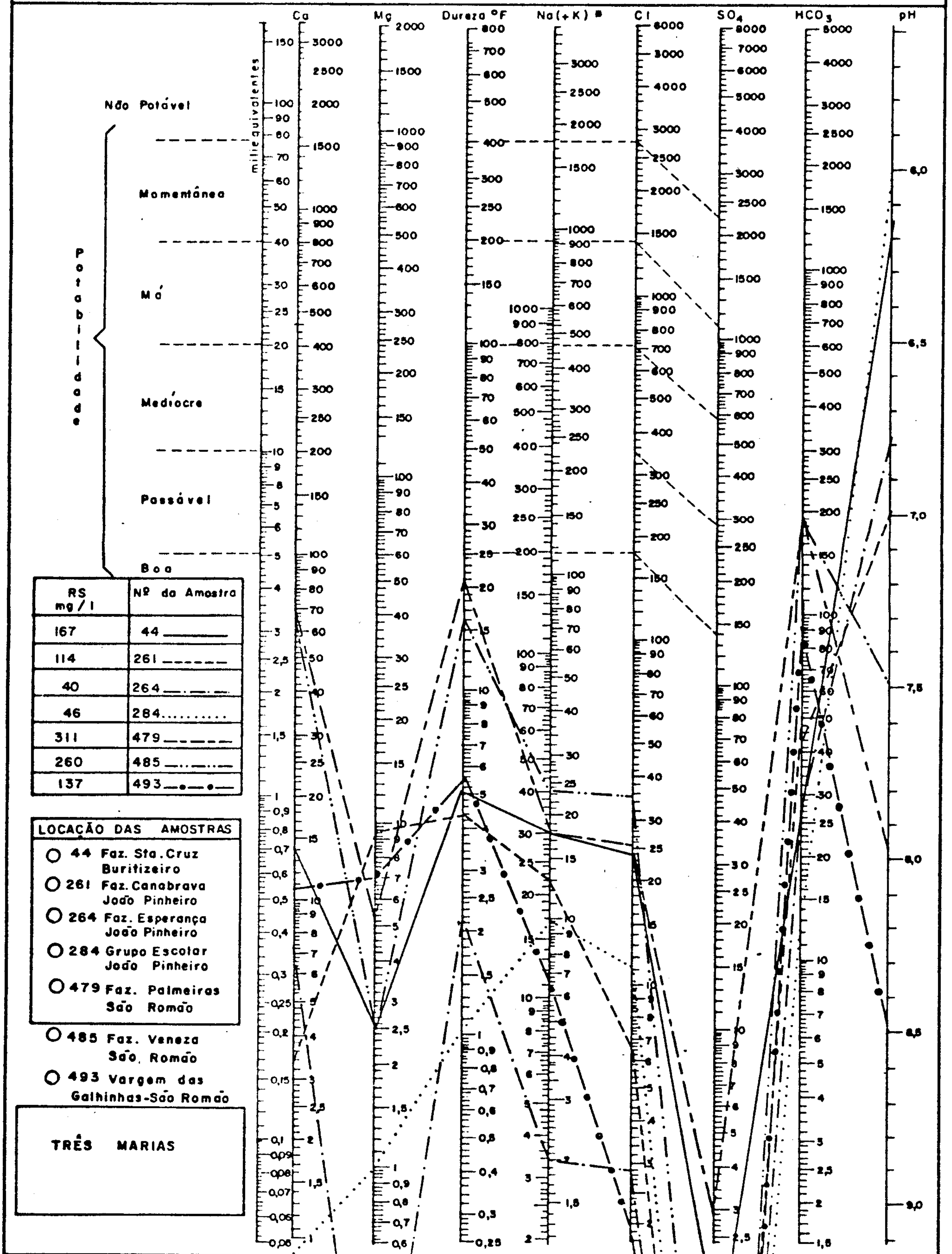


Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.9

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

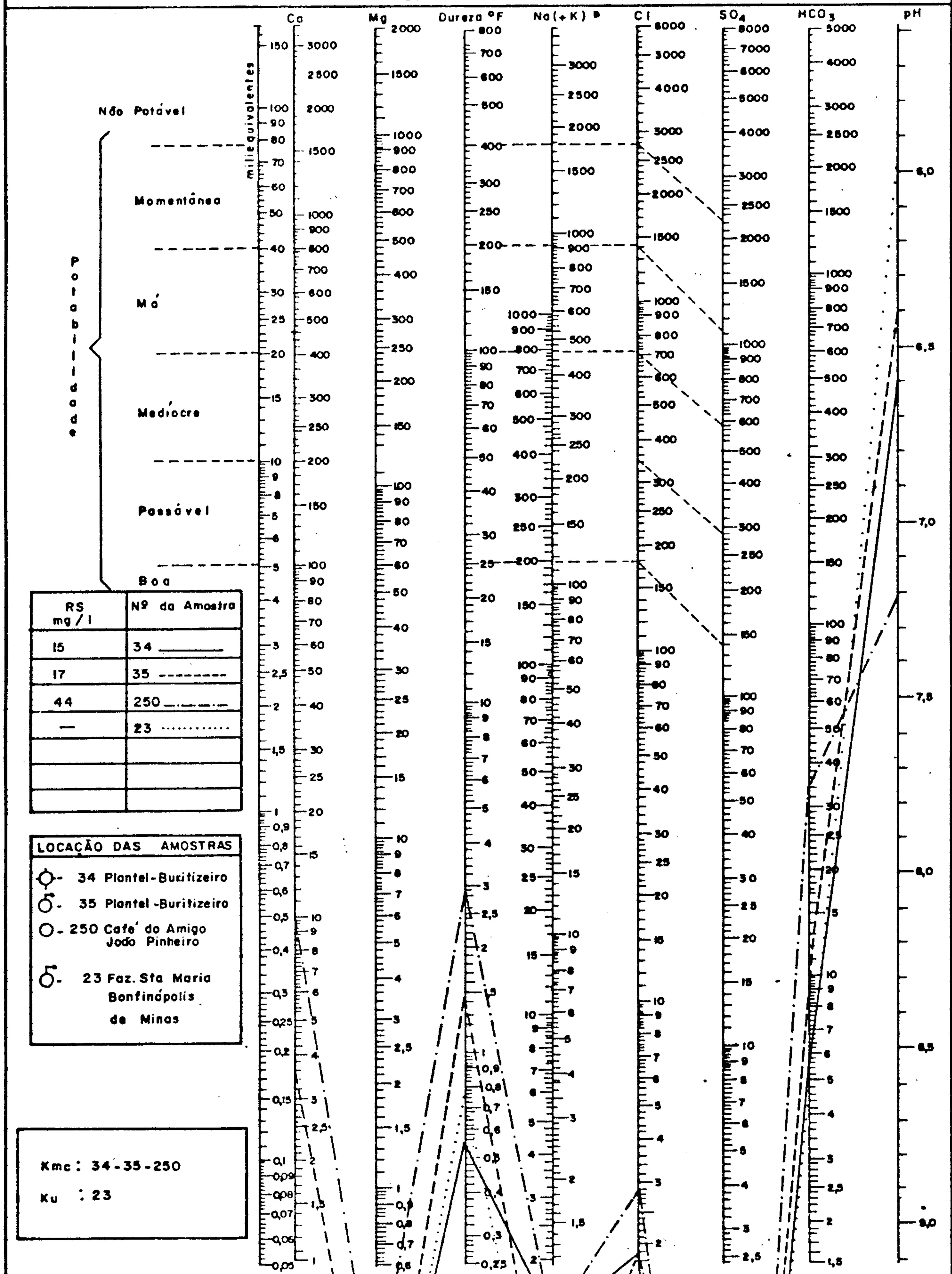


† Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.10

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

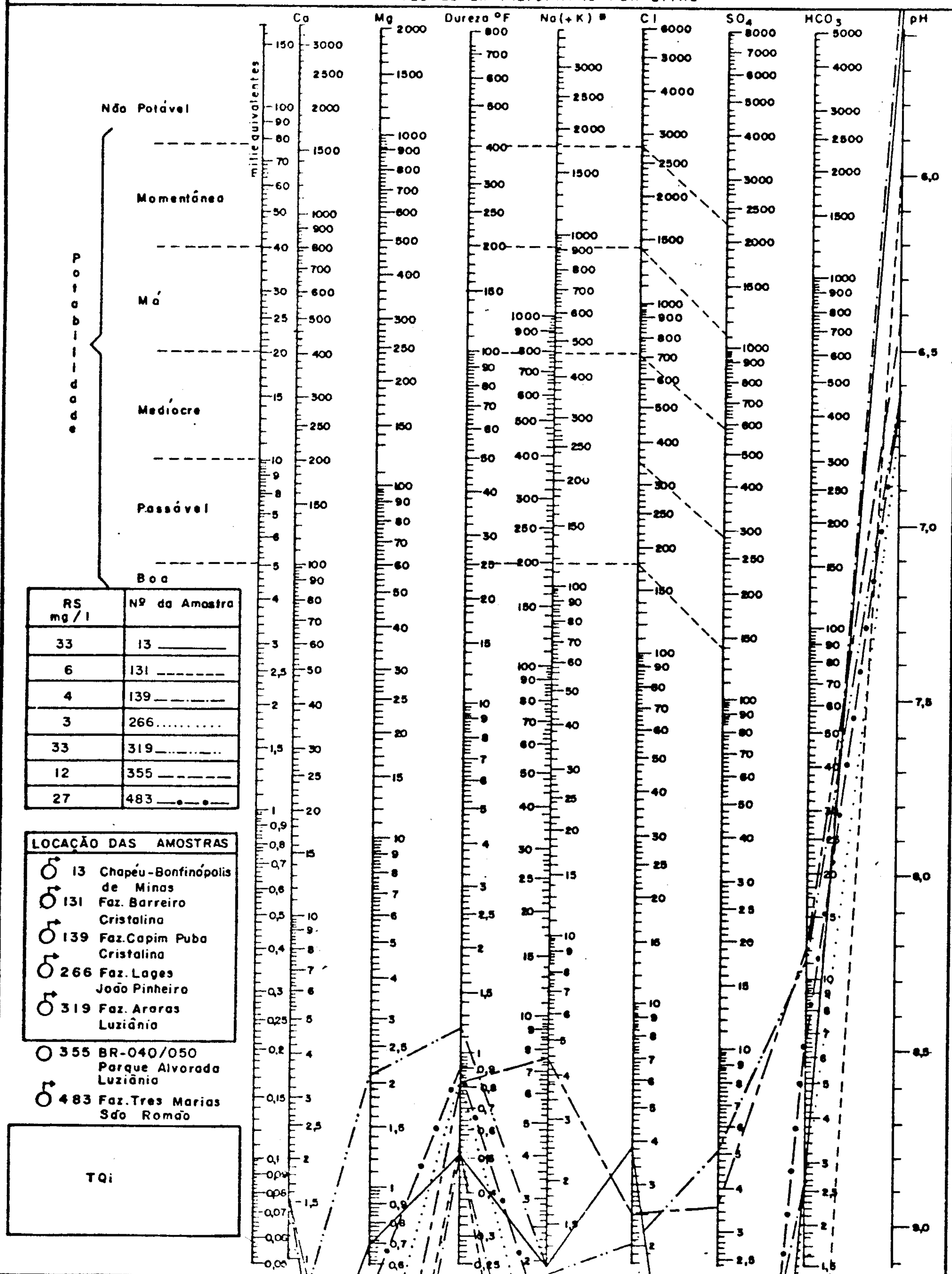


⊕ Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig 7.11

DIAGRAMA DE ANÁLISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO

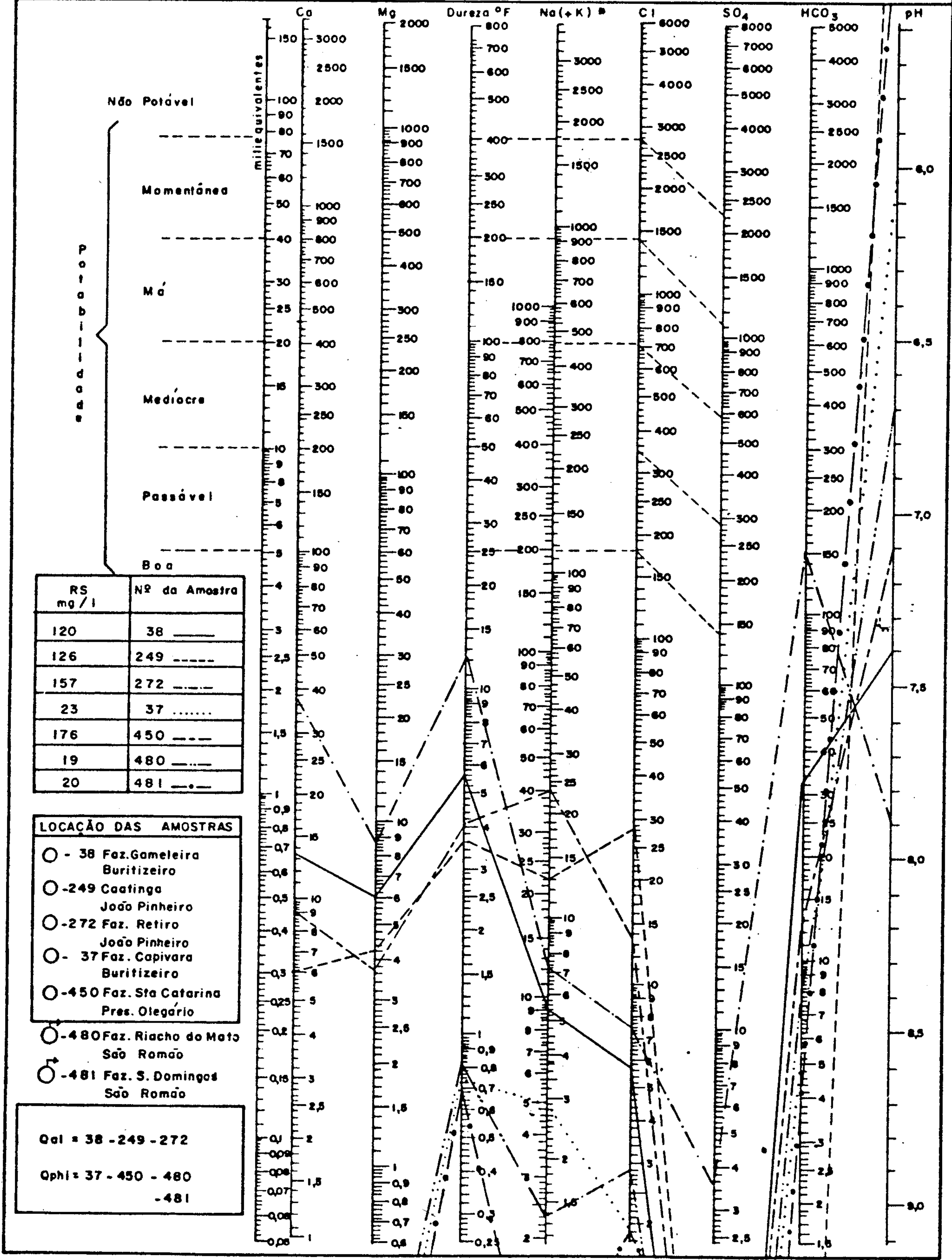


* Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.12

DIAGRAMA DE ANALISE D'ÁGUA

TEORES EM MILIGRAMAS POR LITRO



* Na (+K) transformar K em equivalente Na e somar

Fig. 7.13

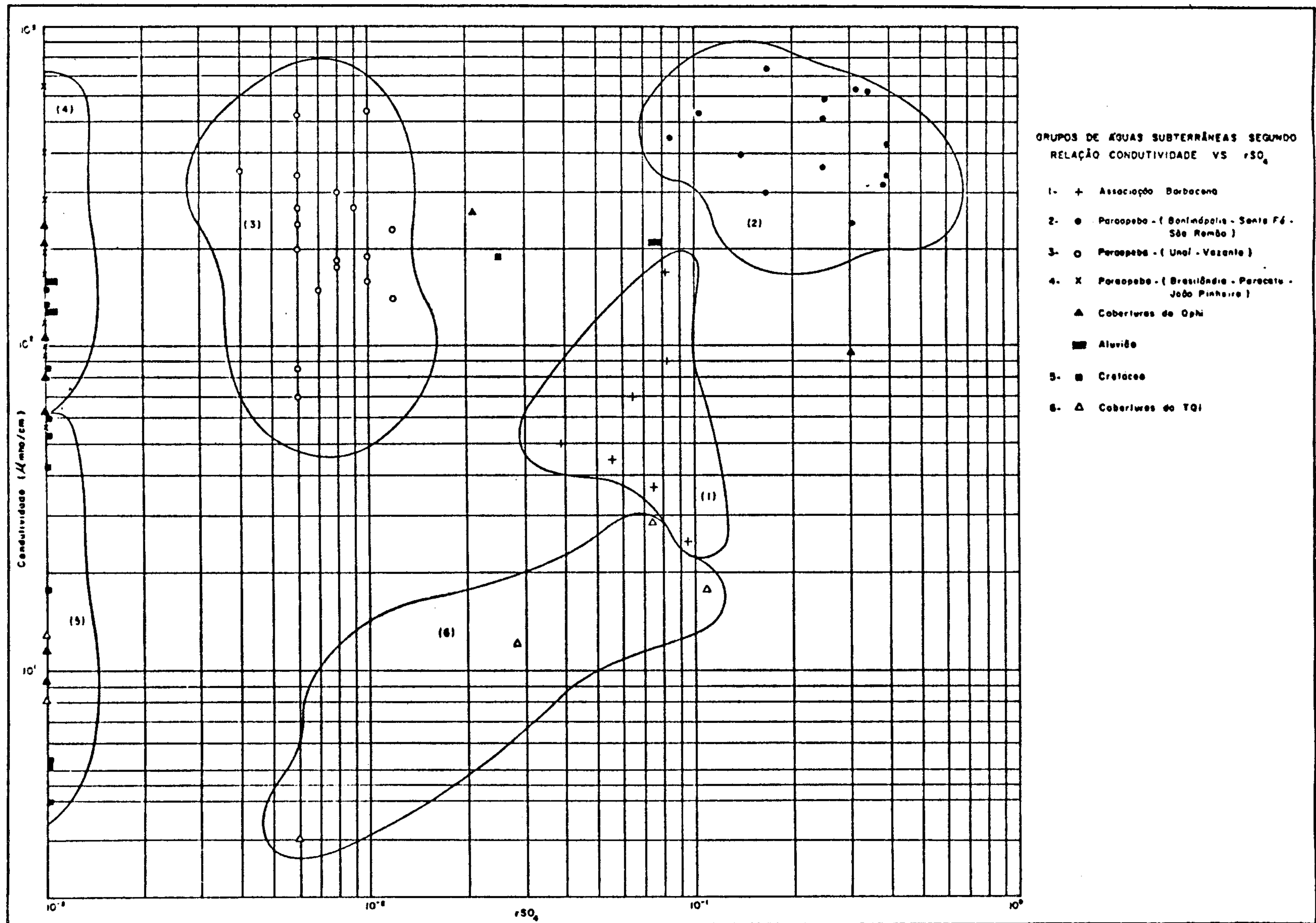


Fig. 7.14

a 6,9. É nos sedimentos do Cretáceo e nas coberturas do Quaternário onde ocorrem os menores valores para esta relação com uma variação entre 0,01 a 1,19, sendo que neste intervalo as águas das coberturas apresentam os maiores valores. Com relação a razão magnésio-cálcio apenas as águas do aquífero Paraopeba oferecem condições para que se efetue um estudo mais detalhado. Distinguem-se neste aquífero três grupos de águas, determinados a partir da relação condutividade/ rSO_4 , correspondentes as áreas de Bonfinópolis-Santa Fé-São Romão, Unaí (incluindo-se Vazante) e Paracatu-Brasilândia-João Pinheiro. Para as águas de Unaí obteve-se uma relação matemática entre a razão iônica rMg/rCa e o rCa que pode ser expressa por $y = 2x + 14$, onde y representa a concentração de cálcio e x a razão iônica (fig. 7.15). Pode-se constatar que a medida que diminui a concentração do bicarbonato de cálcio aumenta a razão rMg/rCa . Este fato verifica-se também para o grupo de águas de Bonfinópolis-Santa Fé-São Romão, embora, dado a dispersão dos pontos no gráfico, não se conseguiu definir a equação da reta de rCa em função da rMg/rCa .

Quanto a razão iônica rK/rNa os seus maiores índices correspondem as águas de sedimentos recentes, o que se considera normal dado tratarem-se de aquíferos livres com áreas de recarga muito extensas. Seguem as águas dos metamorfitos da Associação Barbacena e do Cretáceo. As primeiras, ao que parece, sofrem, em parte, uma certa influência dos minerais de argila ricos em alcalinos. Na ordem decrescente seguem as águas da Formação Paraopeba, coberturas do Terciário-Quaternário e Formação Três Marias.

No que tange a razão iônica $r(Na+K) / rCl$, é nas águas mais profundas captadas da Formação Paraopeba on

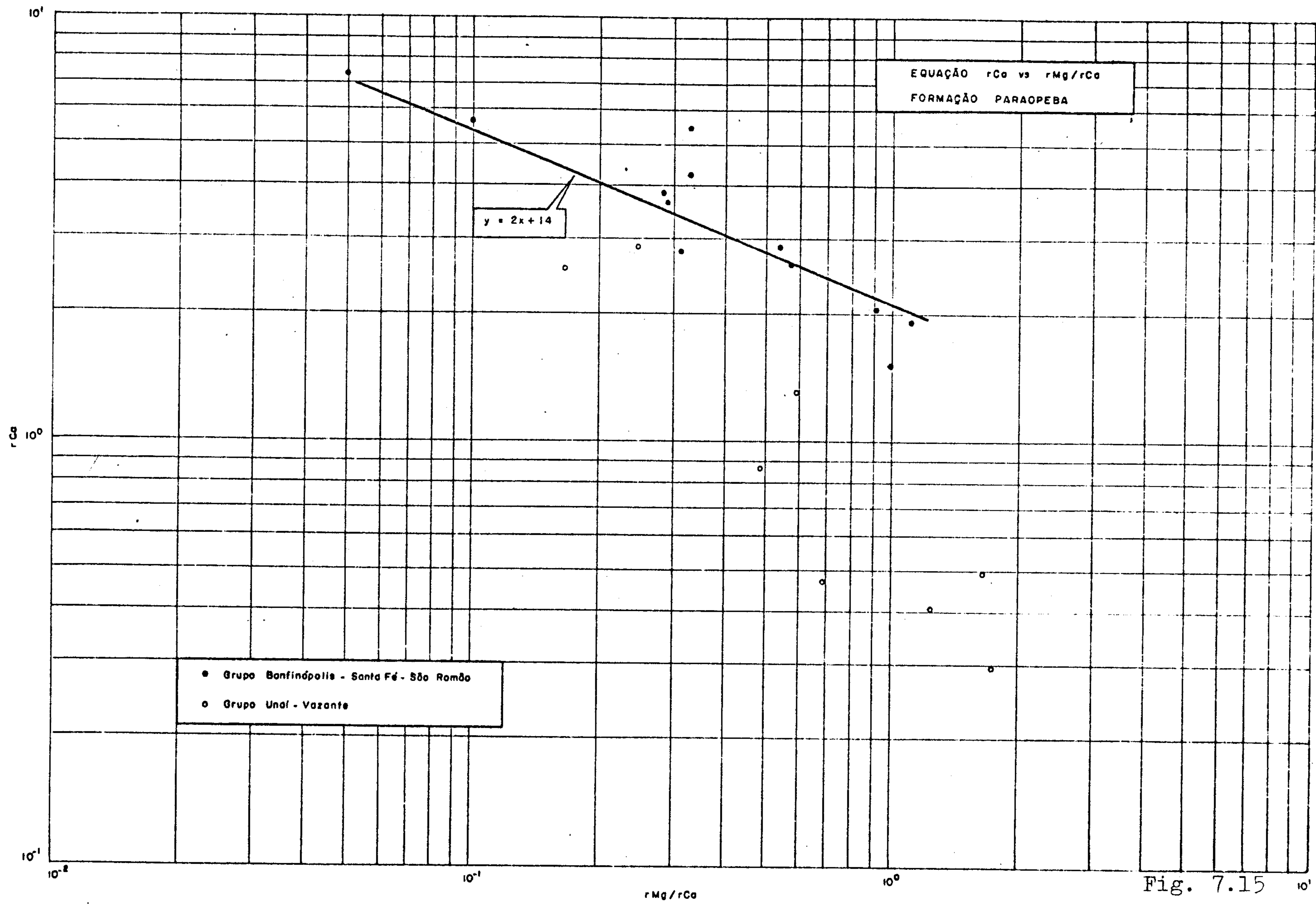


Fig. 7.15

de ocorrem os maiores valores, os quais apresentam uma média de 2,99, chegando a atingir um máximo de 17. Para as águas da Associação Barbacena a média situa-se em torno de 1,3, não tendo sido considerado um valor extremo e isolado relativamente alto (10,43). Seguem na ordem decrescente as águas da Formação Três Marias com média de 2,65, e dos sedimentos do Cretáceo ao Quaternário, com médias variando entre 0,19 a 0,99. Esta situação indica que nas águas mais profundas, onde a salinização apresenta-se em grau mais avançado, a relação $r(\text{Na}+\text{K})/r\text{Ca}$ acusa maiores valores, podendo indicar uma maior troca de base.

A relação $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ apresenta-se com valores baixos em águas pouco profundas dos aquíferos sedimentares tipo livre. Os maiores valores ocorrem em águas da Asociação Barbacena, com uma média de 2,18, e em águas mais profundas do aquífero Paraopeba, as quais corresponde uma média de $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ igual a 0,95.

Quanto a relação $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ as águas, em geral, apresentam resultados que se identificam como continentais e não chegam a ultrapassar a 2,7. As médias para os vários aquíferos variam entre 0,05 a 0,76, com maiores índices para as águas das coberturas do Terciário-Quaternário e Formação Paraopeba. As águas do Cretáceo e sedimentos do Quaternário apresentam baixos valores para a relação cloro/bicarbonato.

Analisando o comportamento do $r\text{Ca}$ em relação ao $r\text{Cl}$ obteve-se relações matemáticas entre estes ions para dois grupos de águas das rochas da Formação Paraopeba, ou sejam, para as águas de Bonfinópolis-Santa Fé-São Romão e Unaí. Para o primeiro grupo a relação $r\text{Ca}(y)$ versus $r\text{Cl}(x)$ pode ser expressa segundo a equação $y = 18x + 0,62$ e para

Unai a equação pode ser representada por $y = 6x + 0,05$ (fig 7.16). Ainda no que se refere as águas da Formação Paraopeba foram determinadas relações matemáticas entre a concentração do $\text{rCl}(y)$ e a condutividade (x) para os três grupos de águas já determinadas neste aquífero. No grupo de Bonfinópolis-Santa Fé-São Romão, a relação é representada por $y = 780x + 220$; para as águas das áreas do rio Preto (Unai) $y = 525x + 25$ e para o grupo de águas de Paracatu-Brasilândia-João Pinheiro, $y = 219x + 25$ (fig. 7.17). Para as águas das coberturas detríticas do Quaternário a relação condutividade / concentração de cloreto pode ser expressa pela equação $y = .450x + 3$ (fig. 7.18).

Os índices de troca de base, considerando-se o total de análises selecionadas para as águas da área em estudo, concentram-se no intervalo -2 a 1. A amplitude de variação deste índice apresenta-se maiores nas águas de Formação Paraopeba, principalmente nas áreas onde ocorrem intercalações de rochas carbonáticas. Predominam nestas águas valores menores que 1, e para as áreas de domínio das rochas pelíticas o índice de troca de base aproxima-se mais de 1.

As águas da Associação Barbacena apresentam uma variação do índice de troca de base entre -2,3 e 1. Para a Formação Três Marias ocorre uma concentração de itb em torno de zero e para os sedimentos os valores ficam geralmente entre 0 e 1.

7.3 Qualidade das Águas para o Consumo Humano e Animal

As águas subterrâneas, em geral, apresentam

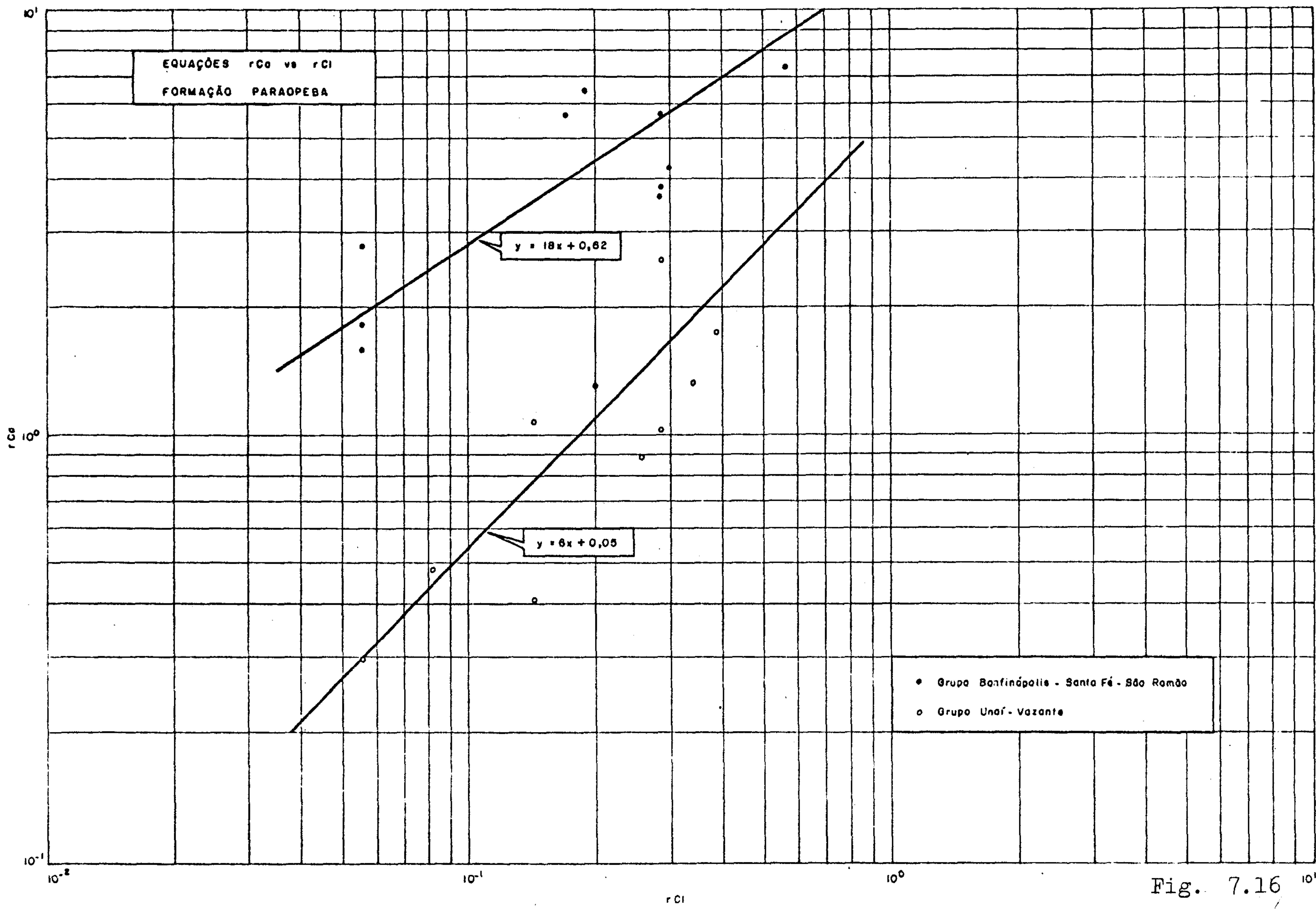


Fig. 7.16 ^{10¹}

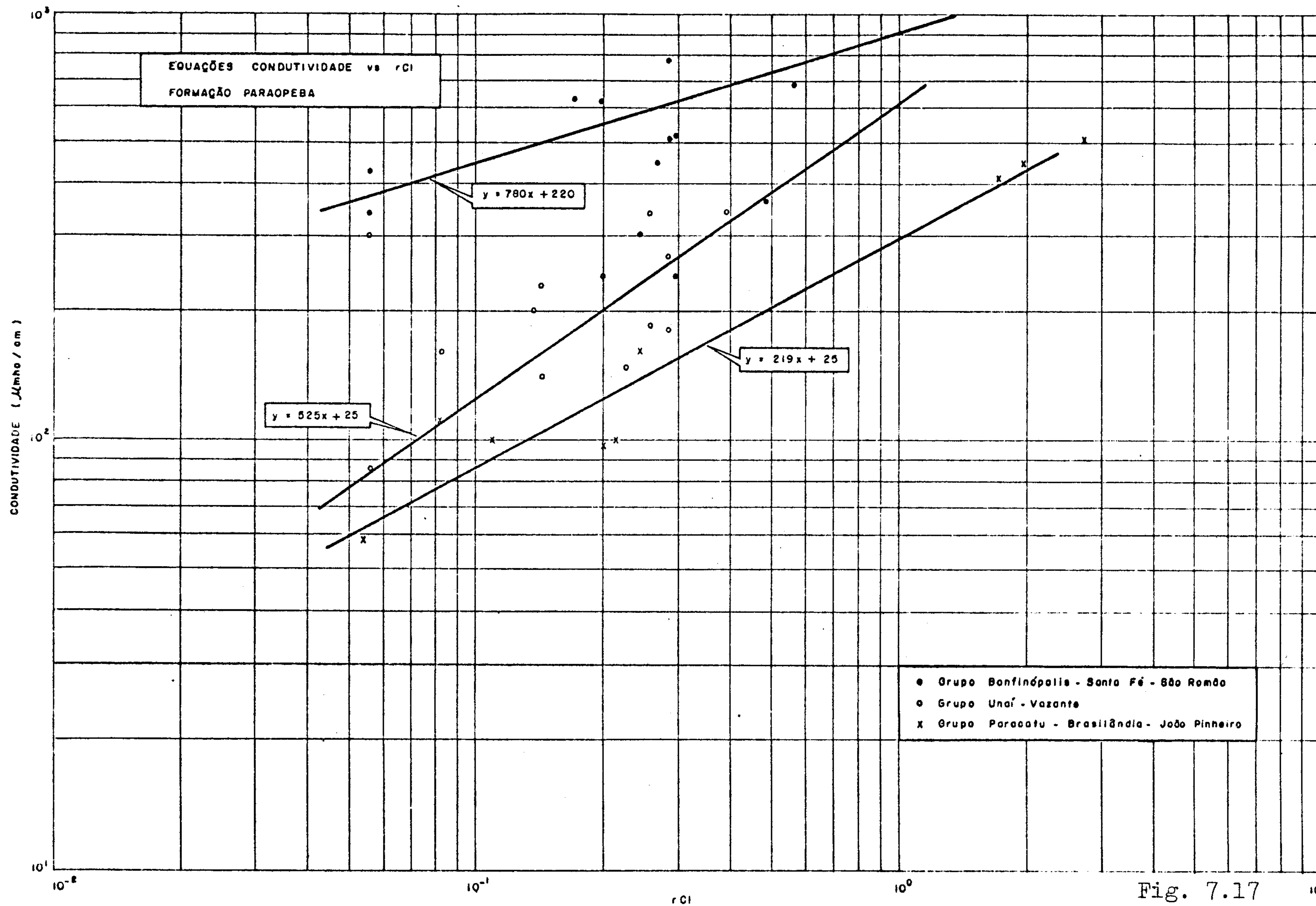


Fig. 7.17

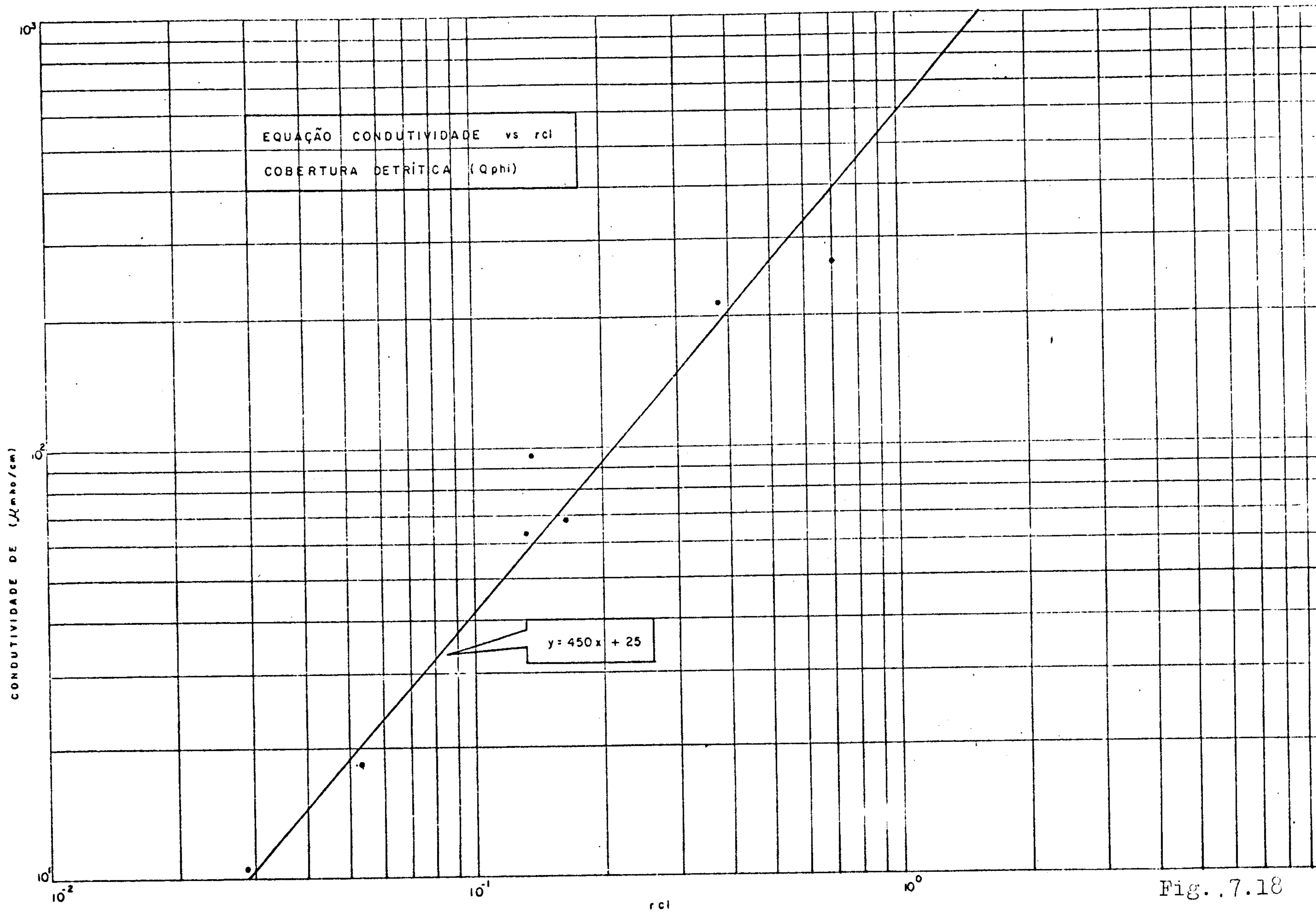


Fig..7.18

tam-se boas para o consumo humano, com exceção para algumas áreas dos municípios de Unaí, Paracatu, Presidente Olegário e Buritizeiro onde ocorrem as rochas das Formações Paraopeba e Três Marias. Nestas áreas as águas possuem valores de dureza superiores aos limites estabelecidos pela Associação Brasileira de Novas Técnicas para água potável (tabela 7.1), e sua qualidade química esta relacionada a maior influência das rochas carbonáticas que ocorrem no Grupo Bambuí. No quadro 7.2 constam os pontos com as respectivas localidades onde a qualidade da água não oferece condição de potabilidade no que se refere à dureza.

Quadro 7.2 - Valores de Dureza e Concentração de Alcalinos Terrosos.

PONTO	LOCALIDADE	MUNICÍPIO	FORMAÇÃO	DUREZA (CaCO ₃)	Ca mg/l	Mg mg/l
BHNO-479	Faz. Palmeiras	S. Romão	Três Marias/Paraopeba	200,31	67,35	5,0
-259	Faz. Buriti	João Pinheiro	Paraopeba	323,01	83,28	11,0
-445	Faz. Barreirão	Presidente Olegário	Paraopeba	292,80	86,03	18,0
-452	Faz. Sargento	Presidente Olegário	Paraopeba	202,27	52,59	18,25
-496	P. S. Bento	Unaí	Paraopeba	437,08	148,35	4,3
- 42	Faz. Pé do Morro	Buritizeiro	Paraopeba	393,98	131,87	0,06
-388	Faz. Lajinha	Paracatu	Paraopeba	210,30	34,54	30,00
-582	Faz. S. Clara	Paracatu	Paraopeba	396,90	116,17	23,40
-497	Boa Vista	Unaí	Paraopeba	221,09	56,12	10,60
-516	Faz. Couto	Unaí	Paraopeba	226,97	73,00	13,00
-530	Faz. Fala a Verdade	Unaí	Paraopeba	348,88	115,07	7,2
-550	Faz. Retiro do Boqueirão	Unaí	Paraopeba	266,00	62,32	12,5
-559	Faz. do Roncador	Unaí	Paraopeba	258,92	76,61	13,20
-575	Faz. Vargem Bonita	Unaí	Paraopeba	229,91	57,54	19,0

No que se refere ao consumo animal, as águas subterrâneas da área em estudo, apresentando valores de resíduo seco que não ultrapassam a 500 mg/l, não oferecem restrições.

PADRÕES DE POTABILIDADE
Índices em Miligramas/litro (p.p.m.)

CARACTERÍSTICAS	U.S.P.H.S.	ABNT		Org. Mundial de Saúde	
		Recom	Toler.	Permissível	Excessivo
<u>Físicas</u>					
Turbidez (sil.)	10 (1)	1	5	5	25
Côr (esc. cobalto)	20 (1)	10	30	5	50
Odor ou cheiro	Aus. de odor	Inobjetével		Inobjetével	
Sabor	Aus. de sabor	Inobjetével		Inobjetével	
<u>Químicos</u>					
Manganês (em Mn)	-	-	0,1	0,1	0,5
Chumbo (em Pb)	0,1	-	0,1	0,1	-
Cobre	3,0 (2)	-	3,0	1,0	1,5
Zinco	15,0 (2)	-	15,0	5,0	15,0
Ferro (em Fe)	0,3 (3)	-	0,3	0,3	1,0
Magnésio (em Mg)	125,0 (2)	-	-	5,0	15,0
Arsênio (em As)	0,05	-	0,10	0,2	-
Selênio (em As)	0,05	-	0,05	0,05	-
Cromo (hexavalente)	0,05	-	0,05	0,05	-
Flúor	1,5	1,0	1,5	-	-
Cloretos (Cl)	250,0 (2)	-	250	200	600
Comps. fenol (fenol)	0,001 (2)	-	0,001	0,001	0,002
Sulfatos (SO ₄)	250,0 (2)	-	250	200	400
Dureza (CO ₃ Ca)		100	200		
Cloro livre		0,2	0,5		
Nitrog. nítrico				-	50
Sólidos totais	500 (1000)	500	1.000	500	1.500
Cianetos (em CN)				0,01	-
Cálcio (em Ca)				75	200
pH		pHs	6	7,0-8,5 > 6,5 ou < 9,2	

(1) - Para águas filtradas

(2) - Limites recomendados ou sugeridos, porém não exigidos

(3) - Para ferro e Manganês em conjunto

TABELA : 7.1

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

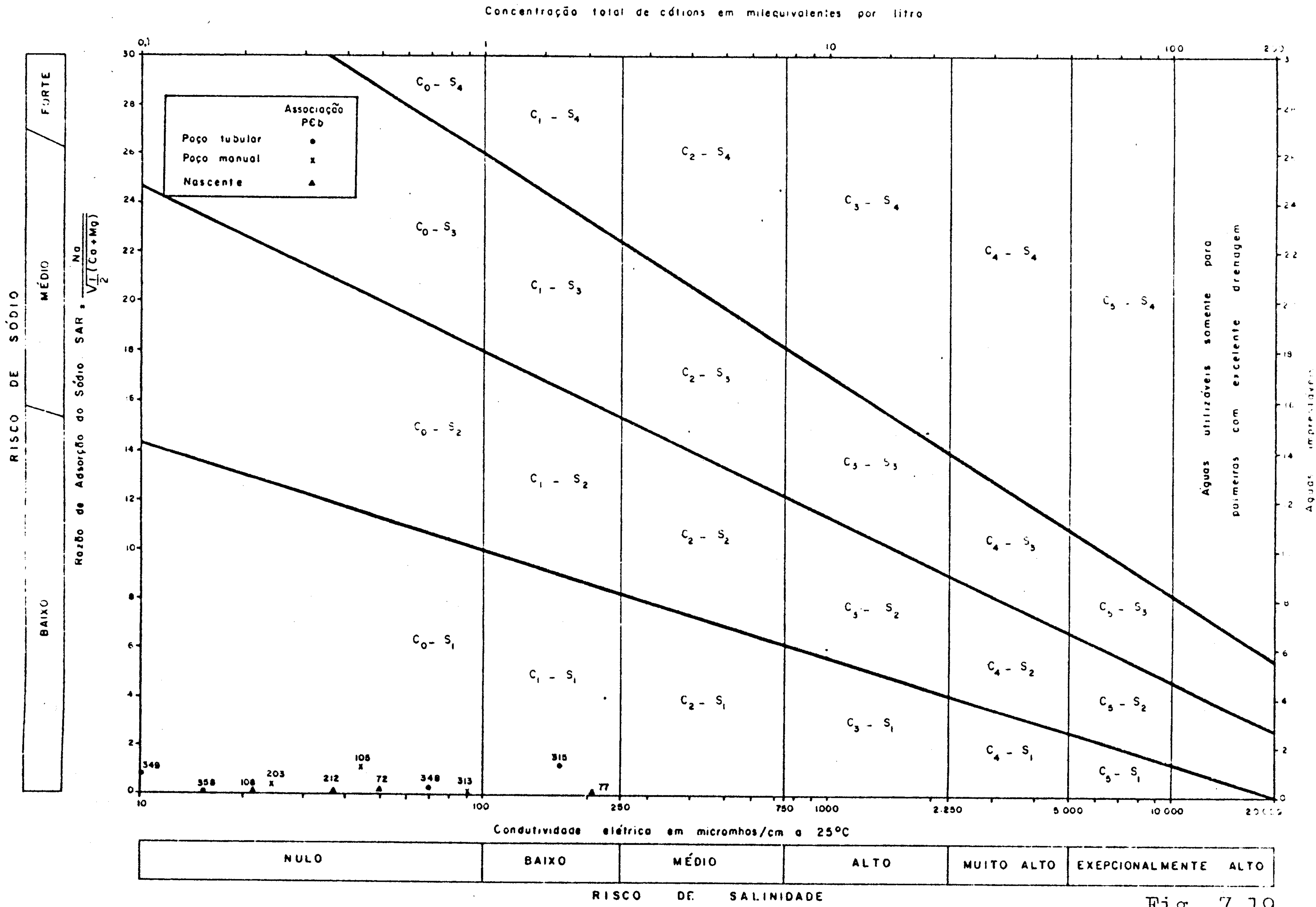


Fig. 7.19

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

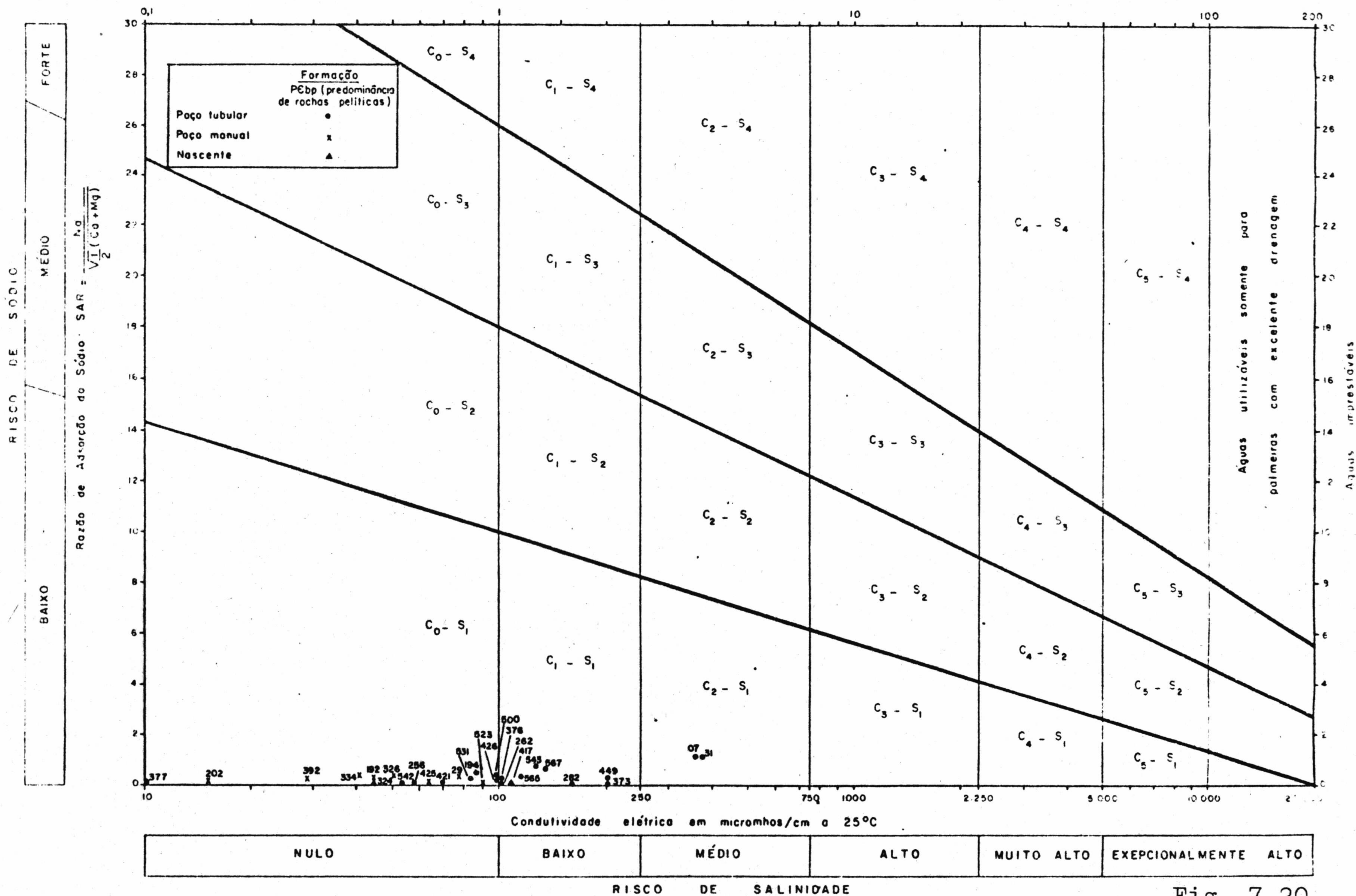


Fig. 7.20

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

Concentração total de cátions em miliequivalentes por litro

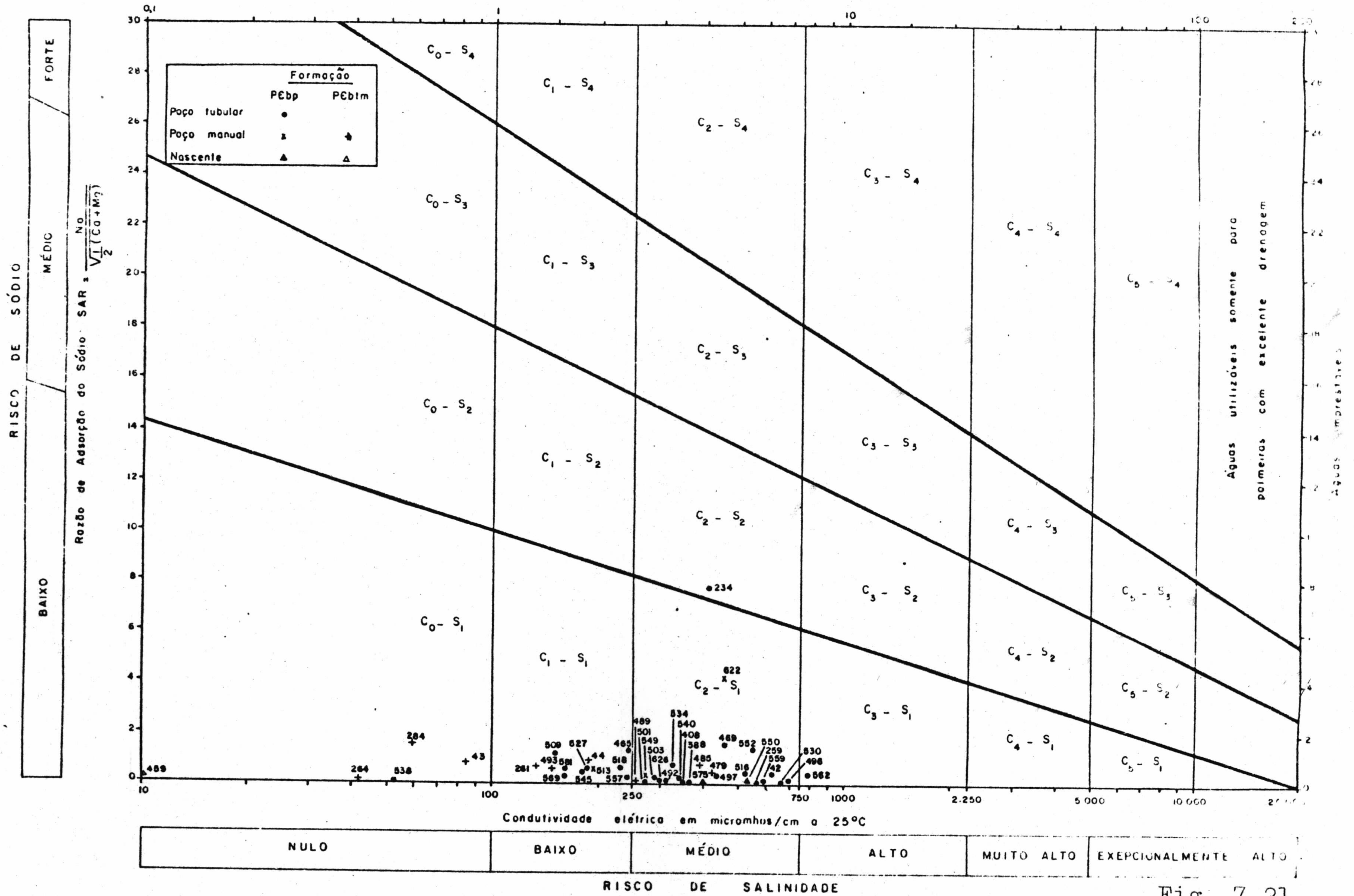


Fig. 7.21

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO

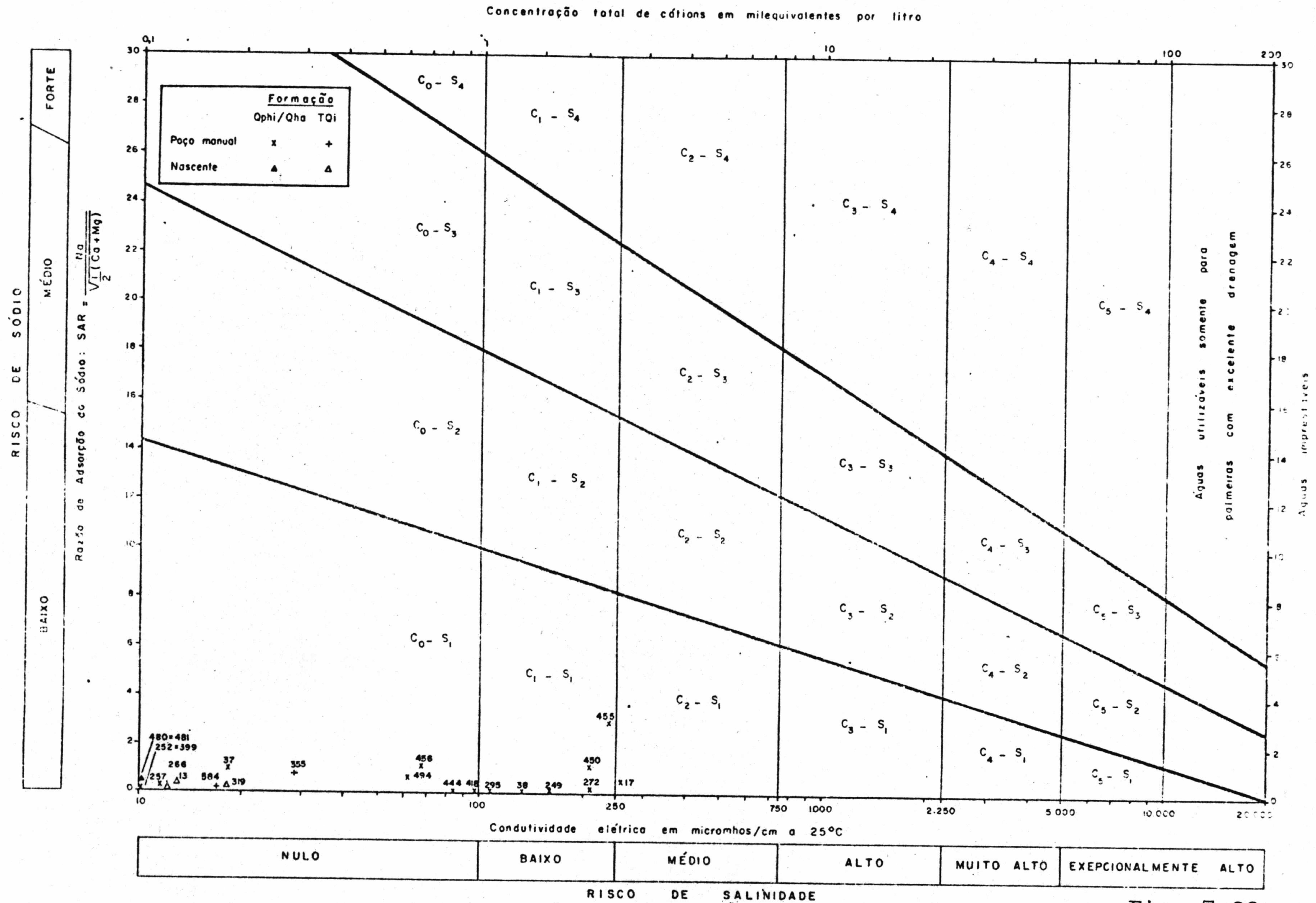


Fig. 7.22

de lixiviação.

As águas das rochas da Associação Barbacena, Cretáceo, Terciário e Quaternário são, predominantemente, do grupo $C_0 S_1$ e podem ser usadas na maioria dos solos com pouco risco de salinização destes. As águas do Grupo Bambuí apresentam os tipos $C_0 S_1$, $C_1 S_1$ e $C_2 S_1$ e excepcionalmente $C_2 S_2$ (BHNO-234). Para as áreas onde predominam as rochas pelíticas, as águas pertencem geralmente ao grupo $C_0 S_1$, seguido do grupo $C_1 S_1$. Em áreas onde ocorrem intercalações de rochas carbonáticas predomina, para as águas subterâneas, o grupo $C_2 S_1$ em relação ao grupo $C_1 S_1$. São águas de salinidade média e baixo teor de sódio e se prestam a irrigação quando há uma lixiviação moderada e as culturas não são ultra-sensíveis ao sódio.

7.5 Qualidade das Águas para Indústrias

De acordo com as normas de tolerâncias de qualidade de água para aplicações industriais definidas pela AWWA (tabela 7.2), as águas da Formação Paraopeba apresentam na dureza restrições quanto a seu uso em indústrias de enlatamentos de vegetais em geral, bebidas carbonatadas, lavanderias, papel e polpa, cortumes e têxtil.

TOLERÂNCIAS DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA APLICAÇÕES INDUSTRIAIS SELECIONADAS
(Todos os valores são dados em miligramas por litro, exceto o pH)

INDÚSTRIA	Turbidez	Côr	Odor	Dureza	Alcalini- dade	pH	Sólidos totais	Ca	Fe	Mn	Fe+ Mn	SiO ₂	F	CaSO ₄	Observa- ções
Ar condicionado	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	-	-	-	A, B, E
Padaria	10	10	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	-	F, P
Cervejaria, fraca escura	10 10	- -	Baixo Baixo	- -	75 150	6.5-7.0 7.0	500 1000	100-200 200-500	0.1 0.1	0.1 0.1	0.1 0.1	- -	1 1	100-200 200-500	D, G, P D, G, P
Enlatamento de vegetais em geral	10 10	- -	Baixo Baixo	25-75 -	- -	- -	- -	- -	0.2 0.2	0.2 0.2	0.2 0.2	- -	1 -	- -	P
Bebidas carbonatadas	2	10	0	250	50	-	850	-	0.2	0.2	0.3	-	0.2	-	C, H, P
Confeitos	-	-	Baixo	-	-	-	100	-	0.2	0.2	0.2	-	-	-	I
Alimentos em geral	10	-	Baixo	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	-	P
Gêlo (água pura)	1-5	5	-	-	30-50	-	300	-	0.2	0.2	0.2	10	-	-	J, P
Lavanderia	-	-	-	50	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-
Alvejamento de matéria plastica	2	2	-	-	-	-	200	-	0.02	0.02	0.02	-	-	-	-
Papel e polpa Madeira triturada Polpa Kraft Soda e Sulfito Luz, Grau HL	50 25 15 5	20 15 10 5	- - - -	180 100 100 50	- - - -	- - - -	- 300 200 200	- - - -	1.0 0.2 0.1 0.1	0.5 0.1 0.05 0.05	1.0 0.2 0.1 0.1	- - - -	- - - -	- - - -	K, R A - - B
Polpa de rayon(viscosa) Produção Manufatura	5 0.3	5 -	- -	8 55	50 -	- 7.8-8.3	100 -	- -	0.05 0.0	0.03 0.0	0.05 0.0	<25 -	- -	- -	L -
Curtimento	20	10-100	-	50-135	135	8.0	-	-	0.2	0.2	0.2	-	-	-	M
Textil Geral Tingimento Lavagem de lã Bandagem de algodão	5 5 - 5	20 5-20 70 5	- - - Baixo	20 20 20 20	- - - -	- - - -	- - - -	- - - -	0.25 0.25 1.0 0.2	0.25 0.25 1.0 0.2	- 0.25 1.0 0.2	- - - -	- - - -	- - - -	- C, N Q Q

TABELA: 7.2

8. CONDIÇÕES DE EXPLORAÇÃO E DEMANDA

A viabilidade de exploração de um aquífero de pende além da profundidade das águas subterrâneas e produti vidade do mesmo, de fatores econômico - sociais.

8.1 Possibilidades de Exploração

A possibilidade de exploração na área em estu do será tratada levando-se em considerações as característi cas de profundidades e qualidades químicas das águas subter râneas e produtividade dos aquíferos.

8.1.1 Profundidade de Captação

Nos aquíferos fraturados abrangendo a Formação Paraopeba e rochas da Associação Barbacena, a profundidade dos poços não deve ultrapassar de 100 metros uma vez que fi cou constatado que a probabilidade de aumento da produtivida de das unidades de captação é bastante pequena ao penetrar profundidades maiores. Conclui-se também, na Formação Parao peba, que poços com profundidades entre 60 e 90 metros apre sentam produtividades maiores do que poços com profundidades menores que 60 metros.

Nos sedimentos granulares, em geral, a capta ção de água subterrânea é mais aconselhada através de poços escavados, que podem possuir menores profundidades nos sedi mentos do Qphi e aluviais (1 a 20 metros) podendo atingir até 35 metros nas coberturas do TQi.

8.1.2 Profundidade dos Níveis D'água

Nas rochas fraturadas da Associação Barbacena a profundidade média do nível estático é da ordem de 15 metros. No total dos pontos inventariados, 60% apresenta valores inferiores a 10 metros e 40% entre 10 a 15 metros.

Para as rochas fraturadas da Formação Paraopeba, 62% do total dos pontos inventariados apresentam nível estático inferior a 15 metros, 18% entre 15 e 20 metros e 20% maior que 20 metros. Nas áreas cársticas a variação do nível piezométrico, ao que tudo indica, de acordo com observações periódicas efetuadas em três poços tubulares (02 em áreas não cársticas e 01 em áreas cársticas) é maior do que nas áreas onde predominam as rochas pelíticas. Em Vazante (zona cárstica) a variação do nível estático durante um período de 12 meses foi de 19,5 metros, ocorrendo a sua profundidade máxima (31,5 m) no mês de janeiro. Nas fazendas Curralinho e Dourado, as variações obtidas para o mesmo período, foram de 13,5 a 6,2 metros, ocorrendo as profundidades maiores de 26,5 e 10,6 m nos meses de setembro e novembro respectivamente.

Os sedimentos do Terciário - Quaternário apresentam uma média de nível estático em torno de 18 metros. Em 64 % dos pontos inventariados ocorrem profundidades inferiores a 10 metros, 14 % entre 10 a 15 metros e 22 % maiores que 15 metros.

Em observações periódicas efetuadas nos poços BHNO - 344 e 301, as variações do nível estático para um mesmo período de 12 meses, foram de 2,5 e 3,6 metros, ocorrendo as profundidades maiores (15,4 e 7,4 metros) nos meses de novembro e outubro respectivamente.

Nas coberturas do Quaternário (Qphi) a profundidade das águas subterrâneas ocorre próximo a superfície. As áreas de ocorrências destes sedimentos apresentam para o

nível estático um valor médio de 8 metros. No total de pontos cadastrados, 75% apresentam profundidades menores que 10 metros, 19% entre 10 e 15 metros e 6% maiores que 15 metros.

Em observações periódicas efetuadas nos poços BHNO - 399, 378 e 418, as variações do nível estático no período de setembro-78 a agosto-79, foram de 2,79, 3,6 e 9,3 metros, ocorrendo as profundidades maiores (4, 7 e 13 metros) nos meses de novembro, setembro e setembro respectivamente.

As aluviões geralmente apresentam profundidades de nível estático pequenas, dado as suas características geológicas e genéticas do ambiente de formação. A profundidade de água subterrânea em grande parte é inferior a 10 metros e, não raro, a 5 m.

8.1.3 Capacidade de Produção dos Poços

Nos aquíferos fraturados da Associação Barbacena a capacidade específica dos poços, em geral baixa, está coerente com as suas características geotectônicas que são desfavoráveis. A produtividade dos poços inventariados varia entre 127 e 350 l/h/m, situando-se a média em torno de 225 l/h/m. Do total dos poços um percentual de 35,7 % apresenta valores de vazão específica até 200 l/h/m, 50 % entre 200 e 400 l/h/m e 14,3 % maiores que 400 l/h/m.

Nas rochas fraturadas da Formação Paraopeba a produtividade apresenta-se maior que nas rochas da Associação Barbacena, isto devido a uma tectônica mais favorável e a ocorrência de intercalações de rochas carbonáticas entre as primeiras.

A vazão específica nas rochas pelíticas da Formação Paraopeba varia, nos pontos inventariados, entre

35 a 7.118 l/h/m. O valor médio é de 576 l/h/m. Um percentual de 48% dos poços tubulares apresenta valores até 400 l/h/m, 28% entre 400 e 800 l/h/m e 24% maiores que 800 l/h/m.

Nas áreas onde ocorrem intercalações de rochas carbonáticas sem evidências de carstificação na superfície, a vazão específica média obtida corresponde a 1.472 l/h/m.

No que concerne a relação vazão específica por metro de penetração no aquífero, para as áreas de predominância de rochas pelíticas esta relação atinge um valor de 5,4 l/h/m/m. No caso das áreas mescladas com rochas carbonáticas a média obtida foi de 20,5 l/h/m/m. Considerando o total dos poços para toda a área, a capacidade específica atinge um valor médio de 11,7 l/h/m/m, situando-se a mediana em torno de 5,8 l/h/m/m. Conclui-se que a produtividade é frequentemente maior nos poços perfurados nas sequências com intercalações de rochas carbonáticas, que estão geralmente associadas a importantes sistemas de falhas.

Nas áreas cársticas propriamente ditas, a capacidade específica apresenta, em termos relativos, os maiores valores na área, embora saiba-se que se tratando de aquíferos dependentes da existência de uma tectônica favorável bem como do grau de carstificação, não se pode prever com segurança a produtividade de um poço tubular a ser perfurado. A capacidade específica na zona saturada do aquífero, apresenta uma média de 129 l/h/m/m com um mínimo de 0,23 e um máximo de 412 l/h/m/m.

Os sedimentos detríticos do TQi e Qphi apresentam uma produtividade limitada e podem ser aproveitados através de captação por poços escavados, para abastecimento doméstico. Algumas, nascentes, entretanto, apresentam vazões apreciáveis, que justificam os seu aproveitamento para

fins de irrigação ou de abastecimento de pequenas aglomerações urbanas.

As aluviões no baixo curso do rio Paracatu podem oferecer boas vazões através de captação de água por poços escavados.

8.1.4 Qualidade Química das Águas

As águas subterrâneas, em geral, são potáveis, com exceção das áreas onde ocorrem espessuras maiores de rochas carbonáticas, como pode ser comprovado em análises de 11 poços tubulares, 01 poço escavado e uma nascente.

Nas águas da Associação Barbacena o resíduo seco varia entre 7 a 148 mg/l, apresentando uma média de 49 mg/l. O pH se situa entre 4,2 a 8 e em grande parte as águas são agressivas. Os menores valores de resíduo seco e pH correspondem as águas de nascentes. Predominam as águas bicarbonatadas que podem se classificar, quanto ao cátion, na ordem de prioridade, em cálcico-magnesianas, cálcicas e mistas

Nas águas ocorrentes nas rochas pelíticas do Grupo Bambuí o resíduo seco situa-se entre 12 e 395 mg/l, com uma média de 108 mg/l. O pH varia de 5,4 a 8 e as águas são em geral agressivas. As nascentes e poços escavados apresentaram os menores valores para o resíduo seco e pH. Predominam as águas do tipo bicarbonatada e que em relação ao cátion podem ser mista, cálcica, cálcica magnesiana e magnesiana.

No aquífero Paraopeba com intercalações de rochas carbonáticas não carstificadas em superfície, o resíduo seco varia entre 54 e 498 mg/l, sendo a média de 246 mg/l. O pH apresenta valores entre 5,4 a 8,6 e, em geral, as águas

são incrustantes. São em geral águas bicarbonatadas, sobressaindo-se as cálcicas, mistas e cálcico-magnesianas.

Em dois poços perfurados (BHNO - 622 e 626) em área predominantemente cárstica, o resíduo seco apresentou valores de 299 e 170 mg/l e pH de 6,2 e 7,9, respectivamente. Trata-se a primeira de água cloretada sódico-potássica (poço escavado) e a segunda bicarbonatada cálcica magnesiana (poço tubular).

Para os ortoquartzitos da Formação Três Marias os resultados obtidos de águas de poços escavados e nascentes, apresentaram valores de resíduo seco entre 14 e 311 mg/l e pH entre 6 e 8,5. Tratam-se de águas que podem ser corrosivas ou incrustantes. São predominantemente bicarbonatadas cálcico-sódico-potássicas, podendo, quanto, ao cátion, ocorrerem as cálcicas, mistas, sódico-potássicas e magnesianas.

Em três amostras de água provenientes dos aquíferos do Cretáceo, onde predominam os sistemas de fluxos locais, foram determinados valores de resíduo seco entre 15 e 44 mg/l e pH entre 4 e 7,2. São águas agressivas.

As águas das coberturas detríticas do Terciário-Quaternário apresentam valores de resíduo seco entre 1 a 36 mg/l e pH entre 4,8 e 6,7. São em grande parte águas corrosivas. Estes sedimentos comportam-se como sistemas aquíferos de fluxos locais. Predominam as águas bicarbonatadas cloretadas seguidas das bicarbonatadas, bicarbonatadas sulfatadas e mistas. Quanto ao cátion apresentam tipos bem diversos não se sobressaindo um tipo sobre o outro.

Nas coberturas do Quaternário (Qphi) às águas são, em geral, bicarbonatadas, podendo ocorrer as bicarbonatadas cloretadas e cloretadas. Quanto ao cátion os tipos são diversos, podendo ocorrer, entre outras, as águas sódico

potássico-cálcicas, cálcicas, cálcico-magnesianas e mistas. O resíduo seco situa-se entre 120 e 174 e o pH entre 4,1 a 7,9. São águas em geral agressivas.

8.2 Zonas mais Favoráveis para Exploração

As áreas mais favoráveis para a exploração situam-se nos municípios de Vazante onde ocorrem os aquíferos cársticos, podendo ser aproveitados através da captação por poços tubulares, e as situadas no município de São Romão, nas confluências dos rios Urucuia e Paracatu com o rio São Francisco, onde as rochas do Grupo Bambuí acham-se recobertas por aluviões podendo ser aproveitadas através da captação por poços tubulares penetrando nas aluviões e nas rochas de Grupo Bambuí, ou por poços manuais captando água das aluviões. Seguem as áreas da Formação Paraopeba onde ocorrem rochas carbonáticas intercaladas com rochas pelíticas e que apresentam uma tectônica favorável, como, por exemplo, acontece em grande parte do município de Unaí, norte de Paracatu e a oeste de Bonfinópolis de Minas, ou, quando se apresentam recobertas por sedimentos do Quaternário Indiferenciado em grande parte do município de São Romão e em áreas a leste da cidade de Santa Fé. Em menor importância, seguem a áreas da Associação Barbacena e da Formação Paraopeba com predominância de rochas pelíticas. Entre os aquíferos fraturados as áreas onde ocorrem as rochas pelíticas apresentam pouca importância dado a suas características estruturais pouco favoráveis. Excetuando-se estas áreas, os aquíferos fraturadas podem ser aproveitados para a captação de água através de poços tubulares, orientada ao abastecimento de pequena a médias cidades e a agropecuária.

8.3 Demanda e Uso Atual

Na área, no que concerne ao panorama econômico, a atividade primária predomina sobre as atividades de transformação e de serviços. A população rural é bem maior do que o contingente que se concentra nas cidades.

Em mapa inserido no capítulo intitulado "Aspectos Gerais" consta a divisão municipal por micro-regiões, bem como estimativas de população no que trata de recursos humanos, rebanhos e aves.

Considerando-se a situação atual da área e a sua tendência para o desenvolvimento econômico em função da agricultura e da agropecuária, pode-se, para a estimativa de demanda de água, usar um índice de consumo "per capita" da ordem de 180 l/hab. Assim, para uma população total na área de 303.130 habitantes corresponde uma demanda hídrica de $5,46 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{dia}$, o que equivale a $1,99 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Para os rebanhos, convertendo-se os bovinos, equinos e muares em unidade animal padrão, e os suínos, ovinos e caprinos como meia unidade, obtém-se para o consumo de $0,05 \text{ m}^3/\text{UAP}/\text{dia}$ um consumo animal total da ordem de $72.500 \text{ m}^3/\text{dia}$ o que corresponde a $2,6 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Portanto, a demanda atual de água na área é da ordem de:

$$V = 4,6 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Comparando esta demanda com as reservas exploráveis na área em estudo (excetuando-se as áreas onde ocorrem as rochas da Associação Barbacena que totalizam aproximadamente 8.370 km^2) as quais totalizam um valor da ordem de $1,04 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$, conclui-se que a demanda atual corresponde a apenas 4,42 % das reservas exploráveis o que não deve

constituir preocupação a curto e médio prazo.

Quanto ao uso atual predomina nos metamorfitos da Associação Barbacena a captação da água de nascentes e através de poços manuais para o uso doméstico. Os poucos poços tubulares existentes são utilizadas para o abastecimento de pequenas indústrias, hospitais e postos de gasolina.

No Grupo Bambuí o aquífero Paraopeba destaca-se atualmente, como um bom suporte no abastecimento de água para as pequenas e médias indústrias, agropecuária e abastecimento público. Este aquífero apresenta-se como uma boa opção na captação de águas subterrâneas através de poços tubulares, método este já implantado com sucesso na área. Nas Formações Paranoá e Três Marias predomina a utilização de águas subterrâneas de nascentes ou através de poços manuais, geralmente utilizada para o uso doméstico. Não é aconselhável a utilização de poços tubulares nestas formações.

Os sedimentos oferecem condições apenas para a captação de água de nascentes ou através de poços manuais, orientada geralmente para o uso doméstico. Vale destacar, em caráter excepcional, as áreas situadas nas confluências dos rios Urucuia e Paracatu com o rio São Francisco onde as aluviões, ao que tudo indica, apresentam boas condições hidrogeológicas.

9. CONCLUSÕES

O estudo realizado permitiu alcançar resultados satisfatórios para um melhor conhecimento hidrogeológico da área e que podem ser resumidos nos seguintes aspectos:

a) Foram evidenciados três tipos de aquíferos no que concerne a permeabilidade, ou sejam os fraturados, representados pela seqüência de rochas da Associação Barbacena e do Grupo Bambuí, excetuando-se neste as áreas cársticas do município de Vazante, consideradas como aquíferos cársticos, e, finalmente, os aquíferos granulares correspondentes aos sedimentos do Cretáceo, Terciário-Quaternário e Quaternário.

b) Distinguem-se quanto a potencialidade hidrogeológica, três grupos, quais sejam, os aquíferos de potencialidade fraca a muito fraca, representados pelas unidades hidrogeológicas Paranoá, Três Marias, Cretáceo e coberturas do Terciário-Quaternário; os aquíferos de potencialidade média a fraca, aos quais correspondem a Associação Barbacena, Formação Paraopeba (excetuando-se as áreas cársticas) e coberturas indiferenciadas do Quaternário; e, finalmente, as áreas cársticas da Formação Paraopeba e as aluviões nas confluências dos rios Paracatu e Urucuaia com o rio São Francisco, as quais apresentam potencialidade hidrogeológica elevada a média.

Os aquíferos Paranoá, Três Marias, Cretáceo e coberturas indiferenciadas do Terciário-Quaternário, de fraca a muito fraca potencialidade hidrogeológica, apresentam, geralmente, sistemas de fluxo locais, resultantes de sua configuração geológica-topográfica. Possuem águas de baixo resíduo seco e agressivas, podendo também ocorrer água incrustante na Formação Três Marias. São predominantemente

bicarbonatadas, podendo ocorrer as mistas. Quanto ao cátion, apresenta -se como água cálcica sódica potássica ou sódica potássica. Em geral as águas destes aquíferos não apresentam restrições para o consumo humano, agrícola ou industrial, com exceção de algumas áreas de ocorrência da Formação Três Marias cujas águas podem apresentar valores de dureza acima do permitido pelas Normas Técnicas.

Em caráter preliminar fez-se uma determinação do coeficiente de infiltração nas coberturas do Terciário-Quaternário pelo método do escoamento superficial, baseando-se em dados de descargas do Posto Ponte São Marcos na bacia do rio São Marcos. Obteve-se um índice de infiltração total da ordem de 10,97%, sendo que 10,86% corresponde a infiltração nas coberturas (TQi). Aplicando-se este índice em suas áreas bem definidas quanto a continuidade e extensão (Serra da Maravilha e Rio Preto), foram determinados para as suas reservas reguladoras valores de ordem de grandeza de $4,24 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$. Para as reservas permanentes foi estimado um valor da ordem de $3,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$, considerando-se para a espessura média saturada um valor de 08 metros e o coeficiente de restituição igual a 0,1.

Os aquíferos que correspondem a seqüência de rochas da Associação Barbacena, Formação Paraopeba (excluindo-se as áreas cársticas) e coberturas indiferenciadas do Quaternário assemelham-se quanto ao potencial hidrogeológico (médio a fraco). A Associação Barbacena, tratando-se de aquíferos pouco fraturados e com uma litologia com uma apreciável participação de rochas pouco competentes, não oferece condições favoráveis para que se constituam bons aquíferos. As águas deste grupo são, em geral, corrosivas e correspondem aos tipos bicarbonatadas cálcico-magnesianas, cálc

cicas e mistas. Em geral são boas para o consumo humano, a grícola e industrial.

As águas do aquífero Paraopeba apresentam pre dominantemente o tipo bicarbonatada cálcica, cálcica mag nesiana e mista. São geralmente agressivas em áreas predomi nantemente de rochas pelíticas e incrustantes onde ocorrem rochas carbonáticas. A salinização é baixa com valores de resíduo seco não ultrapassando a 500 mg/l. São em geral, boas para o consumo humano, industrial e agrícola, mas podem apresentar restrições no que concerne a dureza para os dois primeiros e quanto ao SAR na sua aplicação na irrigação em áreas onde ocorrem rochas carbonáticas. As coberturas de tríticas do Quaternário (Qphi), que correspondem a aquíferos do tipo "livre" de espessuras variáveis, apresentam na sua configuração geológica-topográfica e, em parte, na partici pação dos microclásticos na sua litologia, fatores limitan tes para que se constituam bons aquíferos. As suas águas são agressivas e apresentam vários tipos químicos, tais co mo, bicarbonatadas, bicarbonatadas cloretadas e cloretadas. Quanto ao cátion podem ser sódicas potássicas, cálcicas, cál cica-magnesianas e mistas. Estas águas são de baixo resíduo seco não apresentando restrições à sua aplicação ao consumo humano, agrícola e industrial.

Sem incluir as rochas cársticas, foram estima das para a Formação Paraopeba valores de reservas permanen tes e reguladoras em duas áreas distintas segundo o compor tamento tectônico, topográfico e hidrodinâmico. A primeira na bacia do rio Preto limitada por uma poligonal cujos ver tices são Paracatu, cabeceiras do ribeirão Mundo Novo, Pal mital e extremidades norte e sul da falha de empurrão da serra do Rio Preto, correspondendo uma área de 7.663 km²;

a segunda, bem maior (26.337 km^2), corresponde ao complemen
to da área total.

Para a área do rio Preto foram estimados para as reservas permanentes e reguladoras valores da ordem de $V_p = 1,1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ e $V_r = 1,71 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$ e para a área de 26.387 km^2 valores de $V_p = 2,99 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ e $V_r = 3,48 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$, respectivamente, o que corresponde para a área total do aquífero Paraopeba (Fraturado) uma reserva permanente de $V_p = 1,4 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ e uma reserva reguladora de $V_r = 2,06 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Para as coberturas do Quaternário (Qphi) foi determinada uma reserva permanente da ordem de:

$$V_s = 6,9 \cdot 10^8 \text{ m}^3$$

No que concerne a reserva explorável obteve-se um volume de:

$$V_r = 3,93 \cdot 10^8 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Finalmente destacam-se com potencialidade hí
drica elevada a média as áreas cársticas da Formação Paraopeba no município de Vazante, e, as aluviões que ocorrem nas confluências dos rios Urucuia e Paracatu com o rio São Fran
cisco.

Foi calculada para as áreas cársticas de Va
zante (150 km^2) um volume de reserva reguladora correspondente a $V_r = 1,45 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$. Para as aluviões, face a cícli
ca alternância de recarga descarga que está em função das descargas dos rios, tornando-se necessário um conhecimento mais preciso da influência destes cursos d'água nesses aquí
feros para que se possa determinar as suas reservas.

Considerando-se a situação atual da região e a sua tendência para um desenvolvimento econômico fundamen
tado na agricultura e na agropecuária, foi usado, para a

estimativa de demanda de água um índice de consumo "per capita" da ordem de 180 l/hab. Para a demanda hídrica da região, no que trata do consumo humano, foi estimado um valor da ordem de $V = 1,99 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$. Para os rebanhos, considerando-se para uma "unidade animal" um consumo de $0,05 \text{ m}^3/\text{UAP}$ estimou-se uma demanda hídrica de $V = 2,6 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$. Obtém-se portanto para demanda hídrica total da área correspondente a folha BHNO um volume de ordem de $V = 4,6 \cdot 10^7 \text{ m}^3/\text{ano}$.

Comparando esta demanda com as reservas exploráveis ($V = 1,04 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{ano}$) nas quais, vale ressaltar, não estão computadas as reservas referentes as rochas da Associação Barbacena e aluviões, conclui-se que a demanda hídrica total da área corresponde a apenas 4,42 % das reservas exploráveis, e que estas são satisfatórias para o desenvolvimento da região, em termos de agropecuária, agricultura não irrigada e pequenas a médias indústrias.

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DOS AQUÍFEROS

TIPO DE AQUÍFERO	UNIDADE HIDROGEOLÓGICA	LITOLÓGIA	RESERVAS		MAZ. ESPECÍFICA MÉDIA DOS POÇOS (1/h/m)	T médio (m ² /s)	S médio	QUALIDADE DAS ÁGUAS					POTENCIALIDADE HÍDRICA
			Permanentes (m ³)	Reguladoras (m ³ /ano)				TIFOS PREDOMINANTES	RESÍDUO SECO MÉDIO (mg/l)	PARA O CONSUMO			
										HUM.	AGRIC.	IND.	
FRATURADOS	Associação Barbacena	Xistos e Quartzitos	-	-	225	-	-	Bic. cálcio-magnesiânica, cálcica e mista	49	B	B	B	Fraca mas pode ser aproveitada através de captações por poços tubulares.
	Faranoá	Ortoquartzitos	-	-	100	-	-	-	54	B	B	B	Fraca a muito fraca.
	Paraopeba	Ardósias, calcários e dolomitos	1,4 .10 ⁹	2,06.10 ⁸	-	1,03.10 ⁻³	9,7 .10 ⁻⁴	Bic. cálcica, cálcica - magnesiânica e mista.	-	B - M	B - R	B - M	Média a fraca, aproveitamento por poços tubulares.
	Paraopeba Pred. Pelítica	Ardósias	-	-	576	4,58.10 ⁻⁴	5,0 .10 ⁻⁶	Bic. mista, cálcica e cálcio-magnesiânica	108	B	B	B	
	Paraopeba com intercalações carbonáticas.	Argilo-carbonosas, dolomitos e calcários.	-	-	1.472	1,67.10 ⁻³	1,29.10 ⁻³	Bic. cálcica, mista e cálcio-magnesiânica.	246	B - M	B - R	B - M	
	Três Marias	Siltitos e arcólios	-	-	-	-	-	Bic. cálcio-sódio-potássica	139	B - M	B - R	B - M	Fraca a muito fraca
CÁRSTICOS	Paraopeba cárstico	Calcário, dolomito e argilo-carbonosas	-	1,45.10 ⁷	6.033	5,8 .10 ⁻³	5 .10 ⁻³	Bic. cálcio-magnesiânica.	234	B - M	B - R	B - M	Elevada a média
GRANULARES	Cretáceo	Arenitos, argilas e conglomerados	-	-	-	-	-	Bic. cálcio-sódio-potássica.	28	B	B	B	Fraca a muito fraca
	Coberturas do TQi	Areias e argilas	3,7 .10 ⁹	4,58.10 ⁸	-	2,07.10 ⁻⁴	-	Bic. cl. cálc. Mista mista e sód.-potássica	15	B	B	B	Fraca a muito fraca
	Coberturas do Qphi	Areias e argilas	1,23.10 ⁹	8,59.10 ⁸	-	8,8 .10 ⁻⁴	6,3 .10 ⁻²	Bic. bic. clorurada, clorurada-sódio - potássicas, cálcicas, cálcio-magnesiânicas e mistas.	64	B	B	B	Média a fraca
	Aluviões	Areias e argilas	-	-	-	1,6 .10 ⁻³	1,3 .10 ⁻²	Bic. cálcio-magnesiânica.	144	B	B	B	Excetuando-se zonas no centro e canto nordeste da área correspondente às aluviões dos rios Paracatu e São Francisco respectivamente, apresentam limitadas possibilidades hidrogeológicas.

B - BOA R - REGULAR M - MÁ

10. BIBLIOGRAFIA

- ÁGUAS subterrâneas e poços tubulares. São Paulo, CETESB, 1978. 482 p.
- ANDRADE RAMOS, J.R. de - Folhas de São João del Rey e Barbacena. In: BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia. Relatório anual do diretor; 1955. Rio de Janeiro, 1956.
- BARBOSA, Octávio - Guia das excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia; noticiário nº 3. São Paulo, SBG, 1955.
- _____ - Projeto Goiânia; relatório preliminar. s.n.t. (Relatório inédito da PROSPEC) 39 p.
- _____ - Resumo da Geologia do Estado de Minas Gerais. Rio de Janeiro, s.ed, s.d. (Relatório inédito do DNPM, 556) 44 p.
- _____ - Resumo da Geologia do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, s.ed, 1934. (Minas Gerais. Secretaria da Agricultura, boletim, 3).
- _____ - "Simpósio das formações Eopaleozóicas do Brasil; Série Bambuí". In: Congresso Brasileiro de Geologia, 19, Rio de Janeiro, 1965. Anais do... Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Geologia, 1965. 11 p.
- BARBOSA, O. & OPPENHEIM, Viktor - Sobre a geologia da bacia do São Francisco no norte de Minas Gerais. Mineração e Metalurgia, Rio de Janeiro, 2(7): 37 - 42, maio/jun. 1937.
- BARBOSA, O. & OPPENHEIM, Viktor - Sobre a geologia da bacia do São Francisco no norte de Minas Gerais. Mineração e Me

- talurgia, Rio de Janeiro, 2(8): 121 - 124, jul/ago, 1937.
- BARBOSA, Octávio et alii - Geologia da Região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, DNPM, 1970. 140 p. (BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral - Divisão de Fomento da Produção Mineral, boletim , 136).
- BARBOSA, Octávio et alii - Geologia e inventário dos recursos minerais do Projeto Brasília. In: _____ - Relatório preliminar do Projeto Brasília. Rio de Janeiro, s. ed, 1966. (Relatório inédito do DNPM).
- BASILE, Robert M. & CORBIN, Samuel W. - A graphical method for determining Thornthwaite climate classifications. Annals of the Association of American Geographers, Lawrence, 59(3): 561 - 572, sep. 1969.
- BOGOMOLOV, G. - Hidrogéologie et notions de géologie d'ingénieur. Moscou, Editions de La Paix, s. d. 260 p.
- BRASIL, Gov. do Estado de São Paulo. Secretaria dos Serviços e obras Públicas. Água, Padrões de Potabilidade e Poluição. São Paulo, 1970.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia - Normais climatológicas (Mato Grosso-Goiás). Rio de Janeiro, 1969. v.5.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia - Normais climatológicas (MG, ES, RJ e GB). Rio de Janeiro, 1969. v.3.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - Inventário das estações fluviométricas. Brasília, 1976. 192 p.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Goiânia; relatório pre

- liminar. Goiânia, s. ed, 1970. (Relatório inédito DNPM).
- BRASIL. Ministério do Interior. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - Estudos de reconhecimento e estudos hidrogeológicos para aproveitamento integrado; região central da Bahia. Recife, s. ed, 1974 (Relatório inédito, SUDENE/CONESP).
- BRASIL. Ministério do Interior. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - Observações pluviométricas no Nordeste do Brasil. Fortaleza, 1969. 2v.
- BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo Agropecuário ; Goiás . Rio de Janeiro, 1973. v.3.
- BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo Demográfico; Goiás. Rio de Janeiro, 1973. v.1.
- BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Estimativa da população no Estado de Goiás. Goiânia, s. ed, 1975. (Relatório inédito IBGE) 5 p.
- BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Sinopse preliminar do censo agropecuário - Mato Grosso - Goiás - Distrito Federal; censos econômicos de 1975. Rio de Janeiro, 1977.
- BRASIL. Ministério do Planejamento e Coordenação Geral. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo Demográfico; Minas Gerais. Rio de Janeiro, 1973.v.1.
- BRAUN, Oscar P.G. - "Contribuição a estratigrafia do Grupo Bambuí". In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo

Horizonte, 1968. Anais do... Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 1968. p. 155 - 166.

_____ - Contribuição a geologia das folhas Paraná e Taguatinga, nos Estados de Goiás e Bahia. In: BARBOSA, O - Relatório preliminar do Projeto Brasília. Rio de Janeiro, s. ed, 1966. (Relatório inédito do DNPM).

_____ - Contribuição a geomorfologia do Brasil Central. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 32(3). 3-39, jul/set. 1970.

_____ - Formação Areado e Formação Serra Negra. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 23(3): 100 - 106, maio, 1964.

_____ - Neck de Alkali - Basalto no Oeste de Minas Gerais. Boletim do Instituto de Geologia, Ouro Preto, 2(1): mar. 1967.

BRAUN, Oscar P. G. & BAPTISTA, Milton B. - Considerações sobre a geologia pré-Cambriana da região sudeste e parte da região Centro-Oeste. s.n.t*

BRAUN, Oscar P.G. & FRANCISCONI, Odimo - Algumas Considerações sobre o Grupo Bambuí em face dos conceitos mais atuais. s.n.t **

CAMPBELL, D. F. et alii - Correlação estratigráfica preliminar das principais unidades da bacia do alto São Francisco. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, Rio de Janeiro, 1: 94 - 95, 1966.

*Trabalho apresentado no 29º Congresso Brasileiro de Geologia, em Belo Horizonte, 1976.

**Trabalho apresentado no 29º Congresso Brasileiro de Geologia, em Ouro Preto, 1976.

- COSTA, José A. & MORENO, EDUARDO F. - Manual de métodos quantitativos en el estudio de águas subterrâneas. México, s. ed, 1966. (Relatório inédito A.I.D), 105 p.
- COSTA, M. T. da & BRANCO, J. J. R - Roteiro para a excursão Belo Horizonte - Brasília (XIV Congresso Brasileiro de Geologia). Boletim do Instituto de Pesquisas Radioativas, Belo Horizonte, 15: 9 - 125, 1961.
- CRUZ, W Barbosa da & FRANÇA, Hélio P. M. - Inventário Hidrogeológico básico do Nordeste; folha 14 - Jaguaribe SO. Recife, SUDENE, 1971. 222 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 31).
- CRUZ, W. Barbosa da & MELO, Francisco A. F. de - Estudo Geoquímico preliminar das águas subterrâneas do Nordeste. Recife, SUDENE, 1974. 125 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 19).
- CUSTÓDIO, E & LLAMAS, Manuel R. - Hidrologia subterrânea. Barcelona, Omega, 1976.
- DAKER, Alberto - A água na agricultura; irrigação e drenagem. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1970. v.3.
- DERBY, O. A - Contribuições para o estudo da geologia do valle do rio São Francisco. Archivos do Museu Nacional. Rio de Janeiro, 4: 87 - 119, 1879.
- _____ - The geology of the diamond and carbonado washings of Bahia, BRAZIL. Economic Geology, Urbana 1: 134 - 142, 1905.
- _____ - The Serra do Espinhaço, BRAZIL. Journal of Geology, Chicago 14: 374 - 401, 1900.
- DIAGNÓSTICO hidrogeológico de Montes Claros, Minas Gerais;

- relatório final. Belo Horizonte, s. ed, 1974; (Relatório inédito COPASA/OESA) 2v.
- ELEMENTOS de hidrogeologia prática. Recife, SUDENE, 1967. 372 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de hidrogeologia, série hidrogeologia, 13).
- ESTUDO de avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos hidrológicos de área da Jaíba, M.G. Belo Horizonte s. ed, 1975 (Relatório inédito FJP/RURALMINAS) 130 p.
- FERRARI, Pedro G. - Excursão 3; primeira parte (XXIX Congresso Brasileiro de Geologia). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 1976. (Roteiro das Excursões) p. 31 - 41.
- FREYBERG, B. Von - Resultado de pesquisas geológicas em Minas Gerais, Brasil. Trad. José Menescal Campos. Rio de Janeiro, s. ed, 1932. (Relatório inédito DNPM. 33).
- GALVÃO, M. Veloso - Regiões bioclimáticas do Brasil. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 29(1): 3-36, jan/mar. 1967.
- GUIMARÃES, D - Arqui - Brasil e sua evolução geológica, Rio de Janeiro, DNPM, 1951. (BRASIL - Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia, boletim, 88).
- Contribuição ao estudo dos tufos vulcânicos da Mata da Corda. Belo Horizonte, 1955. 27 p. (Minas Gerais. Instituto de Tecnologia Industrial, boletim, 18).
- GUIMARÃES, Maria Rita da S. & DUARTE, Aluizio C, ed. - Geografia do Brasil; grande região Leste. Rio de Janeiro, IBGE, 1965. v.5. série A.
- HASUI, Yociteru - O cretáceo do Oeste Mineiro. Boletim da

Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 18(1): 39 - 56, dez. 1969.

HEM, J. D. - Study and interpretation of the chemical characteristic of natural water - Geological Survey Water Supply; Paper, 1473: 3 - 21, 1959.

KEREKES, José - Reconhecimento e estudos preliminares na baía do Urucuia. Rio de Janeiro, s. ed, 1957 (Relatório inédito CODEVASF) 40 p.

KING, Lester. C - A geomorfologia do Brasil Oriental. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, 18(2): 147 - 165, abr. 1956.

LADEIRA, Eduardo A. & BRITO, Octávio E. A. de - "Contribuição a geologia do planalto da Mata da Corda". In: Congresso Brasileiro de Geologia, 22, Belo Horizonte, 1968. Anais do... Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Geologia, 1968.

LADEIRA, Eduardo A et alii - O Cretáceo em Minas Gerais; mesa redonda (XXV Congresso Brasileiro de Geologia). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25, São Paulo, 1971. Anais do... São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1971.

LEAL, Antônio de Souza - Consideração sobre a circulação da água em rochas cristalinas e salinização em região árida; área piloto de Juazeiro/Curuçá - Bahia. Recife, SUDENE; 1969. 28 p. (BRASIL. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 24).

_____ - Legenda para mapas hidrogeológicos. Recife, SUDENE, 1974, 30 p. (BRASIL. SUDENE. Divisão de Hidrogeologia, série hidrogeologia, 42).

LOGAN J. - The interpretation of chemical analyzes of wa-
ter. Recife. s. ed, 1965. (Relatório inédito USAID). 96p.

MENEZES Filho, Nelson R. et alii - Projeto Três Marias;
relatório final. Belo Horizonte, s. ed, 1977. (Relatório
inédito DNPM/CPRM).

MIRANDA, João - Minas Gerais; Geologia. In: BRASIL Ministé
rio da Agricultura. Departamento Nacional da População Mi-
neral. Divisão de Geologia e Mineralogia. Relatório anual
do diretor; 1955. Rio de Janeiro, 1956. p. 163.

MORAES, Luciano Jacques de - Geologia da região diamantífe-
ra do Norte de Minas Gerais. Rio de Janeiro, DNPM, 1937.
103 p. (BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mine-
ral. Serviço de Fomento da Produção Mineral, boletim, 19) .
il.

MORAES REGO, Luiz Flores de - Reconhecimento geológico da
parte ocidental do Estado da Bahia. Rio de Janeiro, DNPM,
1926. p. 33 - 54 (BRASIL. Departamento Nacional da Produ-
ção Mineral, Serviço Geológico e Mineralógico, boletim,
17).

MORAIS, Franklin de - Inventário hidrogeológico do Norte de
Minas Gerais e Sul da Bahia; Folha 33 - Belo Horizonte-
NE. Belo Horizonte, s. ed, 1977. (Relatório inédito CPRM/
DNPM).

NIMER, Edmon - Clima. In: Fundação Instituto Brasileiro de
Geografia e Estatística. Geografia do Brasil, região Cen-
tro-Oeste. Rio de Janeiro, 1977. v.4. p. 35 - 58.

_____ - Clima. In: Fundação Instituto Brasileiro de Geogra-
fia e Estatística. Geografia do Brasil, região Sudeste.
Rio de Janeiro, 1977 v.3. p. 51 - 89.

- OLIVEIRA, A. F. de - BRAZIL. In: Jenks, W. F. ed - Hand book of South America Geology. Geological Society of America Memoir, Boulder, 65: 1 - 62. 1956.
- OLIVEIRA, Francisco de P. - Exploração das minas de galena de Ribeirão do Chumbo, afluente do Abaeté e estudo da área percorrida de Ouro Preto até esse lugar. Annaes da Escola de Minas de Ouro Preto, 1: 35 - 94, 1881.
- PFLUG, Reinhard - A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e Zonas Adjacentes de Minas Gerais. Rio de Janeiro. DNPM, 1965. 55 p. (BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Divisão de Geologia e Mineralogia, boletim, 226)
- RIMAN, Eberhard T - A Kimberlita no Brasil. Annaes da Escola de Minas, Ouro Preto, 15: 27 - 32, 1917.
- SAD J. H. GRASSI et alli - Formações Cretáceas em Minas Gerais; uma revisão. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 1(1): 1 - 10, dez - 1971.
- SCHMITH, Hans Lothar - A geologia da folha Bocaiuva. s. ed, 1969. (Relatório inédito Geoexplorações, 59). 24 p.
- SCHOELLER, H - Les eaux souterraines. Paris. Masson, 1962. 611 p.
- SCHOLL, Walter Uwe & SOUZA, Cyrton Moreira de - Geologia da folha de Baldin; Minas Gerais - Brasil. Belo Horizonte, s. ed, 1970 (Relatório inédito DNPM) Universidade de Heidelberg), 59 p.
- SEGUNDO plano integrado de desenvolvimento do Noroeste Mineiro (Planoroeste-2); hidrologia subterrânea. Belo Horizonte, s. ed, 1978. (Relatório inédito Ruralminas/CETEC) .
- SEGUNDO plano integrado de desenvolvimento do Noroeste Mi

neiro (Planoroeste-2), primeiro relatório; setor econômico. Belo Horizonte, s. ed, 1976 (Relatório inédito FJP/Ruralminas). v.2

SIQUEIRA, Luiz - Contribuição da geologia à pesquisa de água subterrânea no Cristalino. Recife, s. ed, 1963. (Relatório inédito da Sudene) 51 p.

THORNBURY, William D. - Principles of geomorphology. New York, John Wiley, 1954. 618 p.

WALTON, William C. - Groundwater resource evaluation. New York, McGraw-Hill, 1970. 664 p.

YASSUDA, E. R. et alii - Poços profundos; manual técnico; subsídio para aplicação de normas. São Paulo, Edgard Blucher. 1965. 180 p.