

Boletim IG, Instituto de Geociências, USP, V. 10 : 1 - 10, 1979

## FONTES DE CAMPOS DO JORDÃO

MÁRIA SZIKSZAY

JEAN-MARIE / TEISSEDRÉ

*Departamento de  
Geologia Geral*

*Instituto de Pesquisas Tecnológicas – Divisão  
de Minas e Geologia Aplicada, São Paulo*

### RESUMÉ

M. Szikszay e J. M. Teissedre – Les Sources de Campos do Jordão – Bol. IG, Instituto de Geociências, USP, V. 10 : 1 - 10, 1979

La région du plateau de Campos do Jordão, située au NE de l'État de São Paulo, est formée par des roches précambriennes, essentiellement représentées par des migmatites homogènes et hétérogènes. De nombreux massifs granitiques et filons de quartzite et dolomite à pendage subvertical les recourent longitudinalement. Telles structures géologiques font apparaître des sources de contact ou de dissolution dans les dolomites, sources à très forts débits, mais donnant des eaux peu minéralisées.

D'après les résultats des analyses physico-chimiques, on peut mettre en évidence deux types d'eaux: un type provenant des roches granitiques et dolomitiques avec des teneurs en sels dissous plus élevées par rapport à celui qui provient des roches gneissiques et d'altération qui reflète une circulation superficielle.

Suivant ces critères et en fonction de leur origine peu profonde, les eaux sont classées comme bicarbonatées calciques, calco-magnésiennes ou chlorurées magnésiennes. Leur faible minéralisation, aliée à la base radioactivité, les encadre dans la catégorie des eaux de table faiblement radioactives.

### RESUMO

A região do Planalto de Campos do Jordão está situada na parte nordeste do Estado de São Paulo e é composta de rochas do pré-Cambriano, representadas essencialmente, por migmatitos homogêneos e heterogêneos. Esse complexo é cortado por numerosas camadas de quartzito e dolomito, assim como por corpos de granito. Essas estruturas geológicas favorecem a emergência de fontes de contato ou de dissolução nos dolomitos. As fontes têm vazões bastante fortes mas fornecem águas pouco mineralizadas.

Segundo as análises físico-químicas, constata-se a existência de 2 tipos de água: um tipo é proveniente de rochas graníticas e dolomíticas com teores de sais dissolvidos mais elevados; outro tipo emerge de rochas gnáissicas e de alteração refletindo uma circulação superficial.

Segundo esses critérios e considerando sua origem pouco profunda as águas são classificadas como bicarbonatadas cálcicas, calco-magnesianas ou cloretadas magnesianas.

As águas de algumas fontes podem ser incluídas na categoria de águas minerais fracamente radioativas e as restantes como águas de mesa.

## INTRODUÇÃO

Os aspectos químicos e geológicos das águas das fontes de Campos do Jordão são abordados no presente trabalho. Esta quarta contribuição faz parte do estudo das fontes de águas ditas minerais do Estado de São Paulo (Szikszay & Teissedre, 1977a, 1977b).

A metodologia utilizada foi descrita na primeira parte do nosso estudo sobre as águas das fontes na borda da bacia de São Paulo (Szikszay & Teissedre, 1977a).

Queremos expressar os nossos agradecimentos à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela ajuda financeira. Agradecemos também a gentileza do Dr. José Gilberto Bermudes, gerente da Minalba Alimentos e Bebidas S.A. e ainda a química Maria Helena Oliveira (IEA), quem prontificou-se para fazer as determinações de radioatividade das amostras de águas fornecidas.

## CONTEXTO GEOLÓGICO

Do ponto de vista geomorfológico esta região pertence ao Planalto de Campos do Jordão, que se nivela a cerca de 2 000 m e se acha profundamente dissecado, com desníveis graduais de 700 a 800 m, até as regiões de Santo Antonio do Pinhal e do rio Sapucaí Mirim. Em geral, as elevações se alinham segundo N50° E em decorrência das direções de fraqueza das formações geológicas.

Estruturalmente o Planalto de Campos do Jordão pertence ao Compartimento Jundiá, que faz parte dos grupos São Roque e Açunguá. Este compartimento é separado do grupo de São Roque pela falha transcorrente de Jundiuvira e delimitado pela falha de Buquirá que, por sua vez, bordejia a NE o vale do Paraíba, em todo seu comprimento.

No que se refere à litologia, ela é essencialmente representada por ectinitos e migmatitos do pre-Campriano superior, (Fig. 1). Essas rochas afloram numa grande extensão e envolvem lentes e enclaves de quartzitos, anfibolitos, rochas calcossilicatadas, calcáreos metamórficos e dolomíticos. Esses corpos de pouca extensão, algumas dezenas de metros, são dificilmente representáveis no mapa geológico.

Porém, eles são importantes à finalidade da presente análise.

As fontes Água Santa, Marisa e Santa Filomena, bastante próximas umas das outras, pertencem a mesma litologia, ou seja, ao conjunto dos migmatitos homogêneos. Elas são fontes de contato entre camadas e filões de rochas granitoides. Na fonte Água Santa as rochas examinadas no fundo da captação, foram identificadas como intercalações de dolomitos. A circulação ascendente da água das fissuras subverticais, abertas nos dolomitos por dissolução química, originaria a nascente. Associadas a estas rochas encontram-se camadas de rochas metassedimentares calcossilicatadas e quartzíticas equigranulares e sacaroides. A paragênese das calcossilicatadas envolve grãos de quartzo, feldspato, sulfetos e minerais verdes.

A fonte Marisa encontra-se dentro de um veio de granito porfirítico, apresentando transição gradativa para uma rocha de granulação mais fina. Camadas de quartzitos e de leptinitos com granada, biotita, feldspato e quartzo encontram-se intercalados dentro dessa estrutura. A água surge das fraturas e diaclases do granito porfirítico.

A geologia da fonte Santa Filomena, pouco distante da fonte Marisa, é caracterizada por camadas de dolomitos e pegmatitos a quartzo, feldspato, turmalina e biotita. A água surge no contato entre essas rochas cujo mergulho é quase subvertical. Essas 3 fontes situam-se numa zona de falha, evidenciada pela milonitização bastante acentuada dos tipos de rochas encontradas.

Na fonte Simão não foi encontrado afloramento de rocha e considerando sua fraca vazão, ela pode ser uma fonte de ruptura de talude.

A fonte São Lourenço, na Fazenda Tabatinga, encontra-se nos embrechitos ou granitos embrechíticos. A água emerge das fraturas e diaclases. Foram identificados também blocos de rochas mesocráticas e intercalações de quartzito nos embrechitos. Admite-se que as rochas verdes são restitos de um gnaiss-anfibolito com uma paragênese essencialmente composta de anfibólio, feldspato, quartzo, biotita e sulfetos.

A fonte Nossa Senhora das Graças localiza-se nos migmatitos e a água surge das fissuras

abertas segundo a xistosidade.

A fonte Renato situa-se em gnaiss e quartzito, biotita, feldspato potássico e plagioclásio. A água emerge da xistosidade da rocha.

Em escala regional, todas as fontes estão incluídas dentro da faixa dos migmatitos

PARTE DO MAPA GEOLÓGICO DE CAMPOS DO JORDÃO

(Levantamento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - 1977)

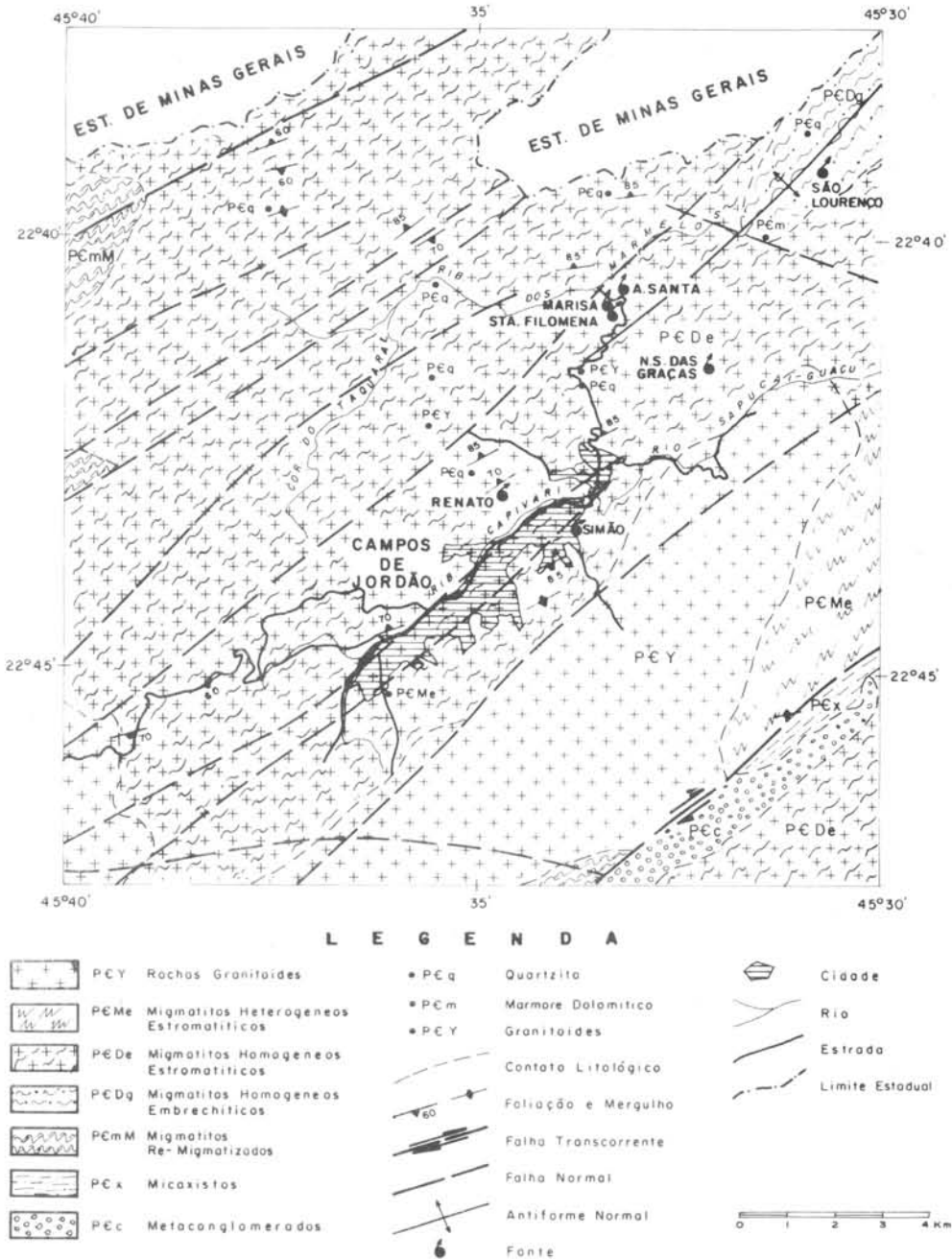


Fig. 1 - MAPA GEOLÓGICO E LOCALIZAÇÃO DAS FONTES

homogêneos estromatíticos ou à tendência embrechítica nebulítica a anatexítica. As diferenças encontradas na escala das fontes

são devidas a veios, filões e camadas de pequena extensão de rochas associadas a essas rochas.

TABELA I  
TIPOS DE FONTES E LITOLOGIAS

NOME DA FONTE	TIPO	LITOLOGIA
ÁGUA SANTA	Fissura de dissolução	Dolomitos e quartzitos
MARISA	Fraturas e diaclases	Granito porfirítico
SANTA FILOMENA	Contato e fissura de dissolução nos dolomitos	Dolomitos e pegmatitos
SIMÃO	Ruptura de talude	Solo de alteração
SÃO LOURENÇO	Fraturas e diaclases	Granito embrechítico
NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	Fissuras e xistosidade	Migmatitos
RENATO	Fissuras e xistosidade	Gnaise

TABELA II  
RESULTADOS DAS MEDIDAS FÍSICAS

Nome da Fonte	Data da coleta	T da água °C	pH	Cond. em $\mu\text{mho/cm}$	Radioativ. em nCi/l	Vazão $\ell/s$
ÁGUA SANTA	25/11/76	19	5,3	156	1,48*	24,00
MARISA	26/11/76	18	5,0	174	2,00*	14,50
SANTA FILOMENA	26/11/76	18	5,0	168	1,70*	4,20
SIMÃO	26/11/76	16	4,7	23		0,14
SÃO LOURENÇO	27/11/76	21	4,7	100	3,70**	10,70
NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	27/11/76	16	4,7	16	3,20**	0,43
RENATO	27/11/76	16	4,7	25		0,50

\* OLIVEIRA, M. H. (comunicação pessoal)

\*\* LONGO, O. W. (1967)

## RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

### Aspectos Físicos

Os resultados das medidas físicas encontram-se na Tabela II.

### Temperatura

A temperatura das águas encontra-se entre 16° a 21°C e não é superior a temperatura média anual do ar da região, portanto, segundo o Código de Minas do Brasil, as águas das fontes são consideradas como fontes frias.

### pH

Observa-se nas águas uma pequena diferença nos valores de pH. O pH 5 proveniente de águas de rochas dolomíticas e rochas associadas e o pH 4,7 de rochas predominantemente gnaissicas. Todas as águas são ácidas, independentemente das rochas das quais emergem.

### Condutividade

Existem dois tipos de águas em relação a condutividade. As que provêm de rochas dolomíticas e rochas associadas, com condutividade mais elevada, ao redor de 150  $\mu\text{mho/cm}$  e outro grupo com condutividade baixa, ao redor de 20  $\mu\text{mho/cm}$ , proveniente de rochas gnaissicas.

### Radioatividade

Tem-se dados de radioatividade somente de 5 fontes. Segundo o Código de Minas, as águas das fontes Marisa, São Lourenço e Nossa Senhora das Graças, podem ser classificadas como fracamente radioativas.

### Vazão

As vazões das fontes emergentes de rochas dolomíticas e quartzíticas tem um valor bastante elevado, variando de 10,7 a 24,0  $\ell/s$ . As outras fontes tem vazões mais baixas, variando de 0,14 a 0,50  $\ell/s$ . As fontes com vazões altas pertencem a zona de falha

marcada por intercalações de veios, filões e camadas de vários tipos de rochas. Estas camadas paralelas à estrutura regional formam uma barreira natural que favorece as saídas da água infiltrada no Morro da Pedra do Fogo. A posição e o mergulho subvertical das camadas de quartzito são responsáveis pelo armazenamento da água em profundidade. A recarga natural é elevada devido a uma pluviosidade média de 2 000 mm por ano no lado sul da Serra. As fissuras e zonas fraturadas tem as suas zonas de recarga em cotas mais elevadas, propiciando forçosamente a surgência dessas águas sob pressão. A pressão favorece as circulações e o alargamento das fraturas no contato entre dois tipos de rochas.

## ASPECTOS QUÍMICOS

Os resultados das análises dos maiores constituintes e elementos traços são apresentados nas Tabelas III e IV.

Observa-se quanto aos sólidos totais dissolvidos, que as águas se dividem em dois grupos: (1) com sólidos totais dissolvidos ao redor de 150 mg/ $\ell$ ; e (2) com sólidos totais dissolvidos ao redor de 20 mg/ $\ell$ . O primeiro grupo representa as fontes de rochas dolomíticas e outros corpos de pegmatitos e o segundo é referente as rochas gnaissicas. Estes dados podiam ser esperados devido a condutividade.

O oxigênio encontra-se entre 8–10 mg/ $\ell$ .

O gas carbônico varia entre 20–24 mg/ $\ell$ .

Conjuntamente com os dados de bicarbonato refletem as reações bioquímicas no terreno onde as águas circulam, conforme discutido anteriormente (Szikszay & Teissedre, 1977a).

As fontes Água Santa, Santa Filomena e São Lourenço têm teores mais elevados em cloreto.

Os sulfatos encontram-se em teores iguais nas águas das fontes Água Santa, Marisa e São Lourenço e faltam nas restantes. Foram identificados nas rochas sulfetos, cuja oxidação posterior poderia ser a origem do sulfato nas águas.

Os fosfatos encontram-se em teores mais elevados nas águas provenientes de rochas dolomíticas e associadas.

A sílica encontra-se em teores baixos em todas as águas, o que era esperado, consi-

TABELA III  
 RESULTADOS DAS ANÁLISES – ELEMENTOS PRINCIPAIS (mg/l) MAIORES CONSTITUINTES – MG/l

Nome da Fonte	Data da Coleta	Sólidos Totais Dissolv.	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Ca	Mg	Na	K	Al	Fe	SiO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>
ÁGUA SANTA	25/11/76	140	10	24	14,0	6,9	2,1	1,0	0,03	0	4,0	70,0	5,0	2,0	0,19	0,05	0,06	9,6
MARISA	26/11/76	165	8	20	18,4	8,6	1,95	1,1	0	0	5,0	80,0	2,5	2,0	0,15	0,012	0,06	12,3
SANTA FILOMENA	26/11/76	150	10	24	15,8	8,9	1,9	0,85	0,022	0,02	4,1	100,0	5,0	0	0,16	0	0,06	8,8
SIMÃO	26/11/76	28	8	24	1,1	3,3	1,88	0,4	0	0,01	4,2	10,0	0,5	0	0,01	0	0,01	10,6
SÃO LOURENÇO	27/11/76	90	11	20	0,6	14,5	2,25	1,4	0,03	0	5,5	70,0	5,0	2,0	0,25	0	0,07	10,3
N. SENHORA DAS GRAÇAS	27/11/76	21	10	20	2,8	1,1	1,44	0,7	0,004	0,08	4,3	10,0	1,5	0	0,08	0	0,01	3,6
RENATO	27/11/76	30	8	20	1,4	2,8	1,6	0,6	0,003	0,01	4,3	13,0	1,0	0	0,09	0	0,07	3,4

Analisadas por: M. Szikszay

TABELA IV  
 RESULTADOS DAS ANÁLISES – ELEMENTOS TRAÇOS (mg/l)

Nome da Fonte	Data da Coleta	I	Br	F	B	Ni	Cu	Cr total	Zn	Pb
ÁGUA SANTA	25/11/76	0,1	0	0,98	1,0	0,03	0,01	0,038	0,08	0,011
MARISA	26/11/76	0,01	0,01	0,96	0,4	0,01	0,01	0,022	0,07	0,015
SANTA FILOMENA	26/11/76	0,1	0	1,0	0,8	0,02	0,02	0,02	0,09	0,011
SIMÃO	26/11/76	0	0	0,95	0,4	0,05	0,01	0,018	0,07	0,02
SÃO LOURENÇO (Tabatinga)	27/11/76	0	0,019	0,95	0,8	0,03	0,01	0,02	0,09	0,15
NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	27/11/76	0	0,05	0,86	0,6	0,02	0,01	0,015	0,08	0,005
RENATO	27/11/76	0	0,01	1,02	0,3	0	0,03	0,017	0,09	0,02

Analisadas por: M. Szikszay

derando o baixo valor de pH. Nota-se mais cálcio do que sódio nas águas das fontes Água Santa, Marisa, Santa Filomena e Nossa Senhora das Graças, sendo todas águas bicarbonatadas cálcicas. É conhecido que a presença de bicarbonato de cálcio reduz a solubilidade de sílica na água, e ainda, onde há mais cálcio do que sódio, existe menos sílica.

Observando-se teores relativamente mais elevados de alumínio nas águas das fontes Água Santa, Santa Filomena e São Lourenço (0,03, 0,022 e 0,03, respectivamente).

Não existe ferro nas águas das fontes Água Santa, Marisa e São Lourenço e enquanto este variou de 0,01 a 0,08 mg/l nas restantes.

Amônia está presente somente nas águas das fontes de Água Santa e Marisa. Os teores de nitrato estão dentro dos limites permitidos e refletem a presença de vegetação em decomposição.

Quanto aos elementos traços, verifica-se que o iodeto existe somente em 3 fontes.

O brometo encontra-se nas águas das fontes de Marisa, São Lourenço, Nossa Senhora das Graças e Renato.

O fluoreto é encontrado em teores praticamente idênticos em todas as águas. O fluoreto freqüentemente encontra-se nas rochas ígneas e metamórficas como um componente de anfibólios, tais como hornblenda e micas.

O boro encontra-se em teores mais elevados nas águas das fontes Água Santa, Santa Filomena e São Lourenço. Em todas essas emergências verificou-se a presença de vários tipos de veios e pegmatitos com turmalina, que seriam responsáveis pelo teor mais elevado de boro nessas águas.

O níquel e cobre estão sempre presentes nas águas. O níquel encontra-se um pouco mais elevado nas águas da fonte Simão, que provem do solo onde pode existir a concentração deste elemento.

O cromo encontra-se mais elevado nas águas da fonte Água Santa e mais baixo nas de rochas gnaissicas. O cromo comporta-se como o ferro nas águas naturais, portanto, espera-se ter certa quantidade de cromo como cátion.

O zinco é mais elevado nas águas das fontes Santa Filomena, São Lourenço e Renato. O zinco pode substituir o ferro ou o magnésio em certos minerais.

O chumbo encontra-se com teores muito mais elevados nas águas da fonte São Lourenço. O chumbo pode substituir certos ions tais como o cálcio. Ocorre também em feldspatos potássicos onde substitue o potássio.

TABELA V  
VALORES DE ÍNDICE DE TROCA DE BASES E RELAÇÕES CARACTERÍSTICAS

Nome da fonte	i.e.b.	rMg/rCa
ÁGUA SANTA	+ 0,21	0,81
MARISA	- 0,42	0,77
SANTA FILOMENA	+ 0,35	0,93
SIMÃO	- 8,00	5,40
SÃO LOURENÇO	+ 0,14	40,00
NOSSA SENHORA DAS GRAÇAS	- 0,75	0,64
RENATO	- 2,50	3,28



## INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS ÁGUAS

### Troca de bases

A importância do conhecimento dos valores de índice de troca de bases foi abordada na primeira parte do nosso trabalho (Szikszay & Teissedre, 1977a), assim como é feito seu cálculo.

Observando os índices de troca de bases (Tabela V), verifica-se que aqui também existe uma separação das águas em dois grupos: um grupo com i.e.b. positivo, proveniente de águas de rochas dolomíticas e quartzíticas, e outros com i.e.b. negativo e próximo ao zero, das águas provenientes de rochas gnáissicas (excessão a fonte Marisa que se encontra sua emergência em rochas mistas). O i.e.b. negativo mais elevado pertence as águas das fontes Simão e Renato, que refletiria talvez uma circulação mais rápida dessas águas nos terrenos.

### Relações caracterfsticas

Para comparar as águas entre sí, as relações caracterfsticas foram utilizadas.

Observa-se aqui também (Tabela V) que existe a separação de dois grupos de águas, ou seja  $rMg/rCa$  menor que um, proveniente de águas com litologias semelhantes, tais como dolomitos de Água Santa e Santa Filomena, pegmatitos e migmatitos das fontes Marisa e Nossa Senhora das Graças. Valores de 3 a 5 encontram-se nas águas das fontes Renato, proveniente de gnaiss com biotita rica em magnésio, na fonte Simão onde a água circula no solo e é muito elevado na de São Lourenço, devido a presença de anfíbolitos e biotita-gnaiss.

### Classificação das águas

Para classificar as águas utilizou-se o diagrama de Piper.

Segundo este diagrama as águas das fontes podem ser assim classificadas:

- 1 - bicarbonatadas cálcicas (fontes: Água Santa, Marisa, Santa Filomena).

- 2 - bicarbonatadas magnesianas (fontes: São Lourenço, Renato).

- 3 - bicarbonatada calco-magnesiana (fonte: Nossa Senhora das Graças).

- 4 - cloretada magnesiana (fonte: Simão).

Aqui também observa-se uma separação, porém menos acentuada, refletindo a litologia. O grupo I (n<sup>os</sup> 1, 2, 3 e 5) proveniente de rochas dolomíticas, granitos e outros, o grupo II (n<sup>os</sup> 6 e 7) de rochas gnáissicas e o n<sup>o</sup> 4, de rochas muito alteradas ou solo.

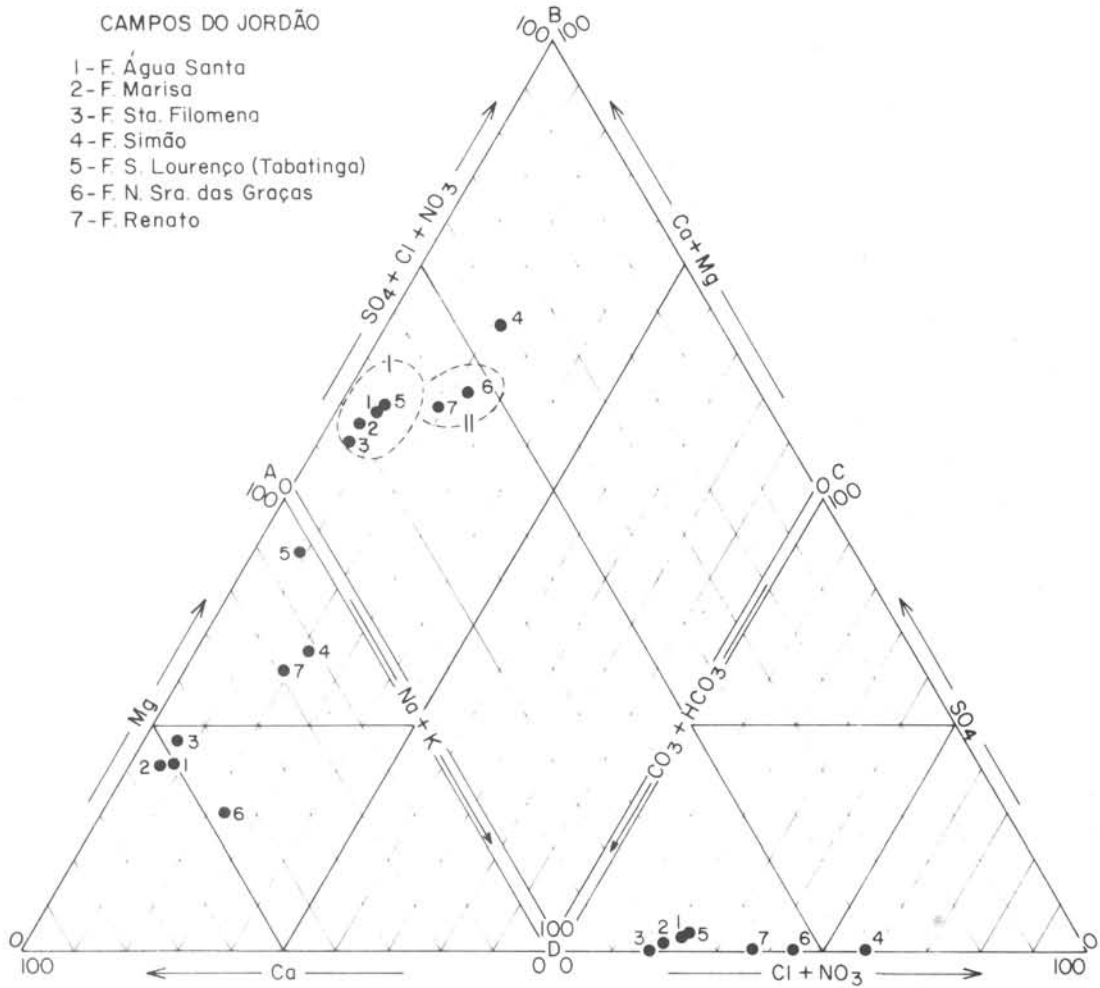
## CONCLUSÃO

Pode-se dizer que, na região de Campos do Jordão existem dois tipos principais de águas, refletindo duas litologias diferentes, ou seja, águas emergentes de rochas dolomíticas, granitos, pegmatitos e outros, e gnáissicas, incluindo uma que provem do solo.

Essa separação verifica-se na condutividade (acima de 100  $\mu$ mho/cm e ao redor de 20  $\mu$ mho/cm), na mineralização total, nas relações caracterfsticas e nas famílias químicas predominantemente bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, salvo as águas da fonte Simão que é cloretada magnesiana refletindo assim sua circulação nos solos.

Ressalta-se que as vazões naturais das fontes Água Santa, Marisa e São Lourenço são relativamente as mais elevadas já encontradas.

As águas das fontes Marisa, São Lourenço e Nossa Senhora das Graças podem ser consideradas como minerais apenas pelo critério de radioatividade, o qual as coloca no grupo de águas fracamente radioativas. As restantes enquadram-se na classificação de águas de mesa.



## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. - 1964 - Fundamentos Geológicos do relevo Paulista - Instituto Geog. Geol., Boletim 41 : 167-274.
- GEOLOGIA DA REGIÃO ADMINISTRATIVA 3 NO ESTADO DE SÃO PAULO - Rel. nº 9720 - IPT - São Paulo.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J. M. - 1977a - Análise hidroquímica preliminar das fontes dos arredores da bacia de São Paulo - Rev. Bras. de Geociên., 7 : 32-44.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J. M. - 1977b - Fontes da Estância de Águas da Prata, Estado de São Paulo - Bol. do Inst. de Geociên., USP 8 : 83-96.
- SZIKSZAY, M. & TEISSEDE, J. M. - Análise hidrogeológica preliminar das fontes da região de Águas de Lindóia - Rev. Bras. de Geociên. - no prelo.