

Boletim IG. Instituto de Geociências, USP, 6: 55-75, 1975  
**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ISOTÓPICA DOS CALCÁRIOS E AMBIENTE  
DE SEDIMENTAÇÃO DA FORMAÇÃO BAURU**

*por*

*Kenitiro Suguio*

*Departamento de Paleontologia e Estratigrafia*

*Marcos Berenholc*

*Departamento de Geologia Geral*

*Eneas Salati*

*Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) - Piracicaba, São Paulo*

**ABSTRACT**

Local concentrations of caliche-like limestone deposits were found in the Uberaba (State of Minas Gerais) and Agudos (State of São Paulo) regions, Brasil. These limestones were formed in fluvial-lacustrine environment and belong to the Upper Cretaceous (Senonian?) Bauru Formation of the Paraná Intracratonic Sedimentary Basin.

The chemical composition of the limestone samples in major, minor and trace elements were determined. Carbon and oxygen stable isotopic compositions were also analysed in comparison with caliche samples from Africa.

The fresh-water deposition, perhaps under a dry climate, of these sediments was confirmed by the analysis. A genetic relationship between the limestones and the underlying basaltic rocks was also suggested.

**RESUMO**

Depósitos de calcários similares a caliches são encontrados em concentrações locais nas regiões de Uberaba (MG) e Agudos (SP). Estes calcários pertencem à Formação Bauru, do Cretáceo Superior (Senoniano?) da Bacia Intracratônica do Paraná, tendo sido sedimentada em ambiente flúvio-lacustrino.

Foram determinadas as composições químicas em elementos maiores, menores e traços desses calcários. A constituição em isótopos estáveis de carbono e oxigênio também foi analisada em confronto com amostras de caliche da África.

Essas análises confirmaram a deposição desses sedimentos em água doce, talvez sob condições de clima seco. A origem desses calcários, a partir de basaltos subjacentes, também foi sugerida.

**INTRODUÇÃO**

A Formação Bauru constitui um registro geológico do Cretáceo Continental Brasileiro bastante amplamente documentado. As rochas sedimentares pertencentes a esta formação ocu-

pam a maior parte do planalto ocidental do Estado de São Paulo e ocorrem também no extremo oeste de Minas Gerais (Triângulo Mineiro), sul de Goiás e sul e leste de Mato Grosso.

Originalmente deveriam ter extensão contínua através desta vasta região, mas atualmente acham-se dissecadas pelo rio Paraná e seus afluentes maiores: rios Paranapanema, Paranaíba, Grande, etc. Frequentemente os vales dos rios atingem os basaltos da Formação Serra Geral, unidade cretácea sotoposta, que constituem via de regra, o embasamento da Formação Bauru.

Os calcários da Formação Bauru apresentam-se com distribuição geográfica restrita a determinadas regiões. Destas, a ocorrência mais conspícua localiza-se na região de Uberaba, Minas Gerais, onde se estendem desde cerca de 15 km ao norte de Sacramento até Frutal a oeste, passando por Uberaba. Os afloramentos de calcários margeiam a borda escarpada de uma feição geomórfica denominada comumente de *chapadão*, que é constituída de um vasto tabuleiro, de paisagem monótona, somente perturbada por suaves vales, onde cursos d'água conseguiram encaixar os seus leitos.

O extenso chapadão, cuja altitude chega a ser superior a 1000 m, possui uma declividade para sudoeste, estendendo-se a leste rumo Araxá, a oeste para Frutal e a norte para Uberlândia.

Em geral o calcário parece integrar o termo basal conglomerático da Formação Bauru, pelo menos na região de Uberaba, constituindo a fácies Ponte Alta de BARBOSA e outros (1970), formada de um material localmente conhecido na região de Ponte Alta (Município de Uberaba, MG) por *casco de burro*, com espessura de até 10 a 20 m, encontrando-se em todo o Triângulo Mineiro. (Fotos 1,2). Na Serra das Paineiras (Uberaba, MG) este conglomerado perde o seu caráter basal, sobrepondo-se a arenitos calcíficos, os quais se assentam em cima de arenitos tufáceos típicos da Formação Uberaba.

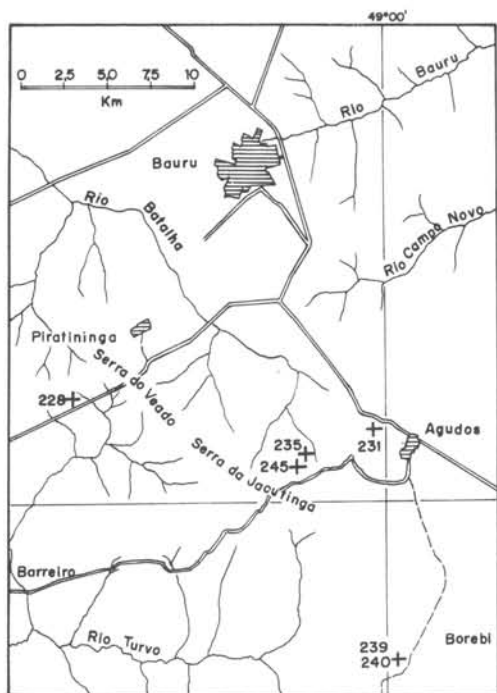
O *casco de burro* contém seixos frequen-

tes, de centímetros até decímetros, relativamente bem arredondados, de quartzo, quartzito e sílex (Foto 3). O cimento carbonático, muitas vezes recristalizado, pode aparecer em tal quantidade que passa a predominar sobre os grãos não carbonáticos, quando dá origem ao calcário impuro arenoso e silicoso.

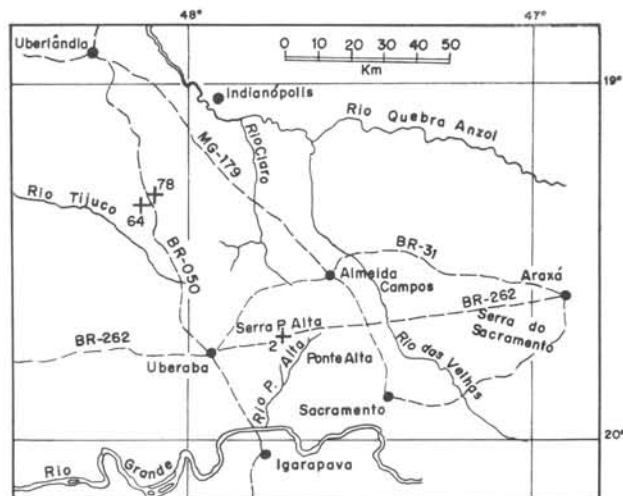
O calcário aparece comumente em forma de corpos lenticulares, fato bem notável na BR-050 a 50 km de Uberaba e próximo ao marco quilométrico 465. De Uberaba para o norte, principalmente na região de Ponte Alta (Figura 1), as camadas de calcário são mais possantes e sondagens da CCPPA (Companhia de Cimento Portland Ponte Alta) têm demonstrado a existência de maior continuidade nesta do que em outras áreas.

No Estado de São Paulo as ocorrências de calcários propriamente ditos, bastante arenosos, da Formação Bauru limitam-se à região de Agudos, Borebi, Piratininga, Alba e Santa Cruz do Rio Pardo, nas proximidades da cidade de Bauru (Figura 1). O calcário não apresenta continuidade por todas essas localidades, mas aparece esparsamente constituindo topografias mais acentuadas. Além disso, tem-se a impressão que os morros com ocorrência de calcário apresentam-se com o topo achatado, enquanto que aqueles isentos de calcário possuem topos mais arredondados.

Nesta região os calcários são bem inferiores, tanto em qualidade quanto em quantidade, aos de Ponte Alta em Minas Gerais. Os afloramentos mais notáveis estão localizados na Serra dos Agudos, com denominações locais, tais como, Morro da Serraria, Morro da Santa Rita, etc. Os topos desses morros elevam-se a alturas superiores a 50 m em relação aos terrenos circunvizinhos, e nas encostas das escarpas afloram calcários arenosos e conglomeráticos, cuja espessura bastante irregular parece variar de 2 a 5 m. Sua extensão lateral é desconhecida pois aflora em apenas um dos flancos



REGIÃO II: AGUDOS  
SÃO PAULO



REGIÃO I: UBERABA  
TRIÂNGULO MINEIRO

+ - NÚMERO E LOCAL  
DE AMOSTRAGEM

DETALHE DA ÁREA DE PONTE ALTA - REGIÃO I

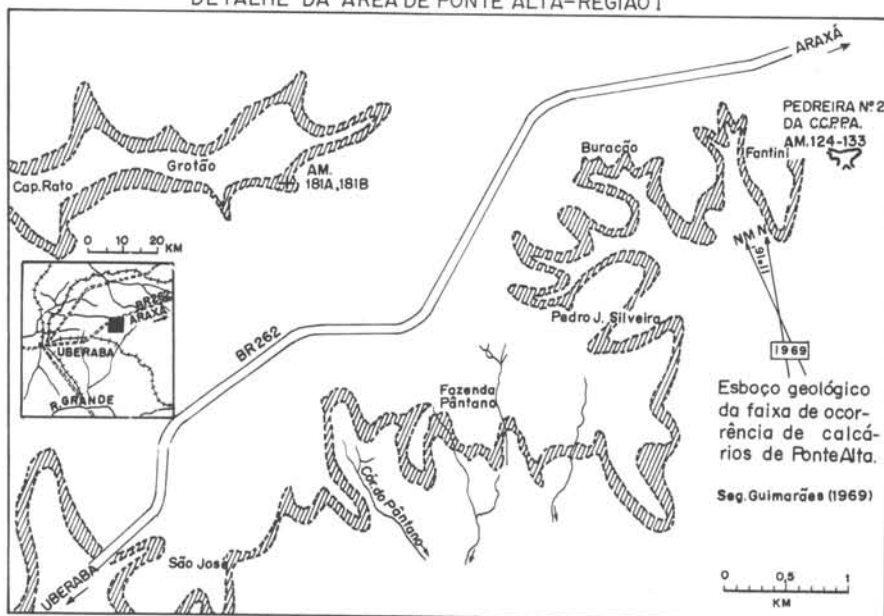


FIGURA 1 - REGIÕES DE PROCEDÊNCIA DAS AMOSTRAS DE CALCÁRIO ESTUDADAS

da serra, ocupando o calcário a posição de rocha capeadora dos morros. É possível mesmo que a situação estratigráfica basal, constatada na área de Ponte Alta, não se verifique na área de Agudos. As suas altitudes variam entre 620 a 650 m, mas em Borebi surgem em nível de cerca de 680 m, nos terrenos da Fazenda São José (antiga Fazenda Cel. Leite), onde apresentam-se em forma de blocos descontínuos nas cabeceiras de um pequeno vale.

Os calcários do Estado de São Paulo são também similares aos de Uberaba, tanto no seu modo de ocorrência como nos seus aspectos macroscópicos. Outras características, comuns as duas regiões, observáveis em afloramentos são: ausência de estratificação e o aspecto

nodular com manchas mais ou menos arenosas, fatos que lhes conferem coloração mosqueada. Essas manchas são ressaltadas pela lixiviação superficial por águas meteóricas e localmente podem assumir aspecto brechóide devido à angularidade acentuada das manchas. (Foto 4). Estudos mais completos sobre a petrografia e mineralogia desses calcários foram feitos por SUGUIO (1973).

Neste trabalho são apresentados apenas os dados relativos às composições química e isotópica destes calcários.

Este trabalho foi realizado com auxílio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.



Foto 1 — Afloramento de calcário típico com aspecto nodular e mosqueado sem estratificação.  
Local — Rodovia BR-262 a CCPPA (P. Alta).

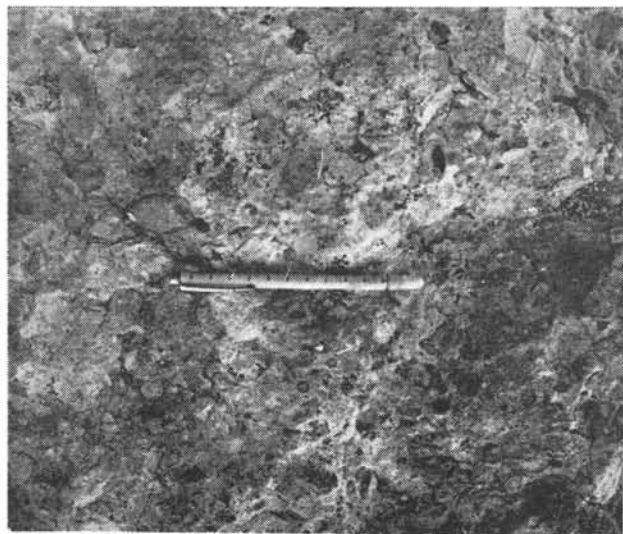


Foto 2 — Detalhe do aspecto nodular e mosqueado, em parte conglomerático.  
Local — Ponte Alta (Uberaba, MG).

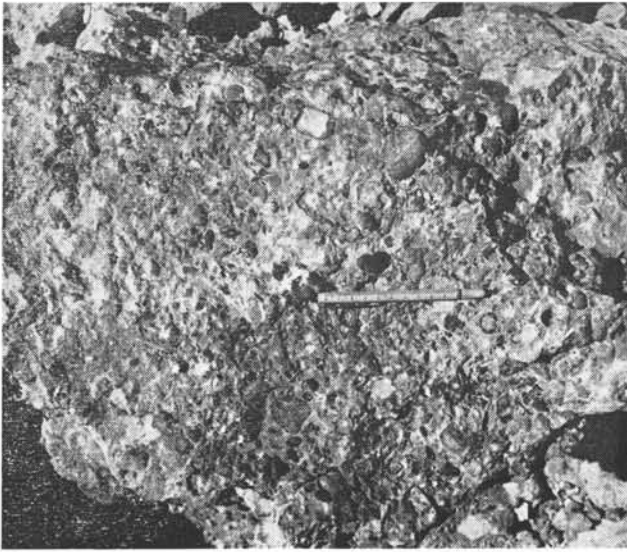


Foto 3 - Detalhe da parte conglomerática com seixos de quartzo e quartzito.  
Local - Ponte Alta (Uberaba, MG).

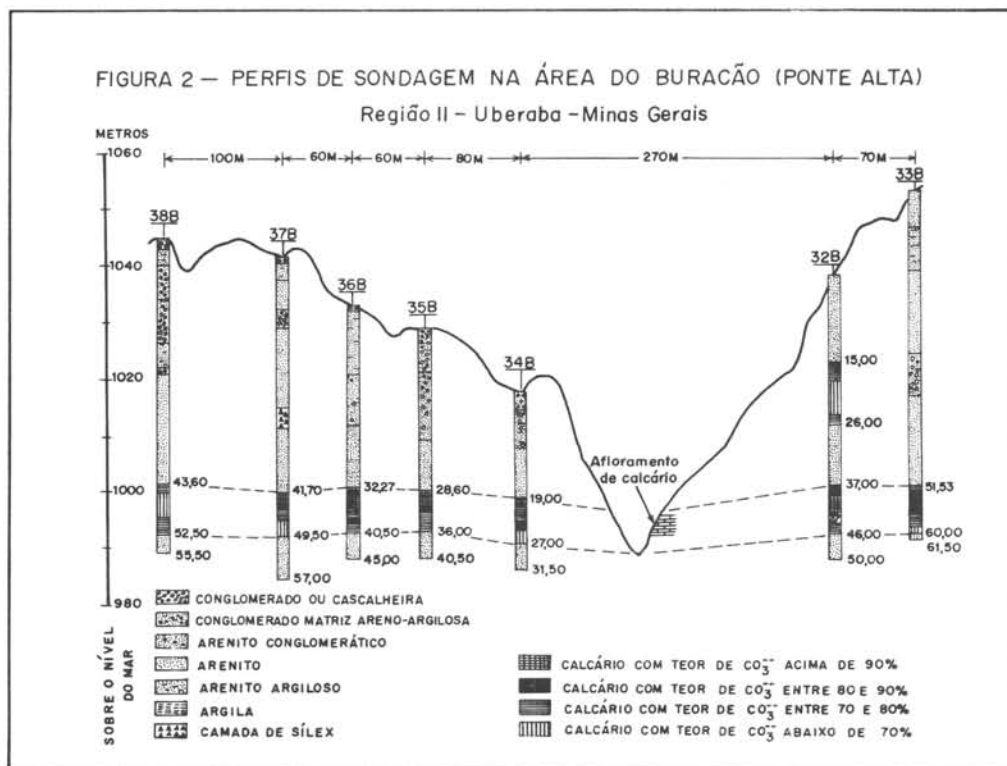


Foto 4 - Aspecto brechóide devido a "manchas arenosas" ressaltadas por lixiviação pluvial.  
Local - Faz. São José (Borebi, SP).

## AMOSTRAGEM

As amostras aqui analisadas compreen-

dem 15 de superfície e 9 de subsuperfície provenientes da região I (Uberaba, MG) (Figura 2). Da região II (Agudos, SP) foram analisadas



6 amostras coletadas em afloramentos (Figura 1). As numerações das amostras são as mesmas utilizadas por SUGUIO (1973).

Os calcários da Formação Bauru exibem características macroscópicas e microscópicas que se assemelham às dos depósitos de caliches. Desta maneira, para efeito de comparação de suas composições isotópicas, foram obtidas 5 amostras de caliches coletadas nas seguintes coordenadas:

Amostra	Latitude	Longitude
416/235	16°56'S	11°53'E
416/241	16°52'S	11°54'E
316/255	17°00'S	12°00'E
417/3	16°52'S	12°09'E
440/3A	17°08'S	12°02'E

Estas amostras provêm da região da Baía dos Tigres (Sul da Angola, África), e foram coletadas no Deserto de Moçâmedes, prolongamento para o norte do Deserto de Namib. Os depósitos de caliche datam do fim do Terciário.

## COMPOSIÇÃO QUÍMICA

### Métodos empregados

As análises por fluorescência de raios X

foram executadas no aparelho marca *Philips*, pertencente ao Centro de Pesquisas Geocronológicas do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. As análises químicas pelos processos convencionais foram feitas nos laboratórios da Puriquima.

### a. Análises dos elementos maiores e menores

Os elementos maiores e menores foram analisados por fluorescência de raios X nas condições expostas na tabela I. Por não haver padrões, e em virtude da variação dos teores dos elementos nas diversas amostras, foram analisadas por via química as amostras 64, 133, 163, 180, 1818, 245, 259, 328 (18,5m) e 348 (28,7m), e com os resultados obtidos construiu-se uma curva padrão para cada um dos seguintes elementos: Fe, Mn, Ti, Ca, Al, Si e Mg. Para o K foi utilizada como padrão uma amostra contendo 0,25% de K<sub>2</sub>O previamente analisada por fotometria de chama. As análises por via química foram efetuadas pelos métodos convencionais.

### b. Análise dos elementos traços

Os elementos traços foram também analisados por fluorescência de raios X, tendo sido

TABELA I – CONDIÇÕES DE TRABALHO PARA DOSAGEM DE ELEMENTOS MAIORES E MENORES EM AMOSTRAS DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU PELO MÉTODO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.

Elemento	Tubo	Condições de excitação	Cristal	Contador	Raios analíticas	Atmosfera	Colimador
Fe	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	K $\alpha$	Ar	Fino
Ti	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	K $\alpha$	Ar	Fino
Mn	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	K $\alpha$	Ar	Fino
K	Cr	40KV - 36mA	EDDT	Proporcional de fluxo	K $\alpha$	Vácuo	Grosso
Ca	Cr	40KV - 36mA	EDDT	Proporcional de fluxo	K $\alpha$	Vácuo	Grosso
Al	Cr	40KV - 36mA	EDDT	Proporcional de fluxo	K $\alpha$	Vácuo	Grosso
Si	Cr	40KV - 36mA	EDDT	Proporcional de fluxo	K $\alpha$	Vácuo	Grosso
Mg	Cr	40KV - 36mA	ADP	Proporcional de fluxo	K $\alpha$	Vácuo	Grosso

Observações : a. As amostras moídas abaixo de 100 meshes foram prensadas com 10 a 15 ton/recipiente de  $\beta = 1/4''$  durante 10 segundos.

b. Foi utilizado o aparelho de fluorescência de raios X, marca Philips, já mencionado.

utilizados como padrões as amostras W-1, GSP-1, BCR-1, AGV-1, PCC-1 e DIS-1, padrões internacionais da USGS (*United States Geological Survey*).

Devido à variação da matriz entre as diferentes amostras, foram feitas correções utilizando-se a linha de base (*back-ground*) (FAIRBAIRN e HURLEY, 1970), radiação Compton  $K\alpha$  do tubo de Mo (REYNOLDS, 1963) e radiação  $K\alpha$  do tubo de W. As condições utilizadas para o trabalho estão expostas na tabela II.

#### *Material analisado e preparação prévia*

Foram submetidas à análise química um total de 30 amostras, sendo 24 da região I e 6 da região II. Todas essas amostras foram submetidas a análises com granulação menor que 100 meshes (0,149mm), após britagens e moagens sucessivas.

#### *Elementos maiores e menores*

Foram determinados 8 elementos químicos

maiores e menores, na forma de seus óxidos, e a porcentagem de perda ao fogo.

Salvo algumas exceções, os teores dos elementos químicos principais não apresentaram grandes amplitudes de variação nas 30 amostras analisadas.

Para melhor visualização dos resultados deve-se recorrer ao exame das tabelas III, IV e V.

#### *a. Porcentagem de perda ao fogo*

A Porcentagem de perda ao fogo corresponde, no caso, principalmente à perda de  $CO_2$  eliminado pela decomposição térmica de  $CaCO_3$  e  $MgCO_3$  e, em menor quantidade, à perda da água de constituição dos minerais de argila presentes na forma de resíduos insolúveis ao HCl. Para estas determinações as amostras foram aquecidas em forno até 1100° C durante 2 horas.

Foi verificado que o caso mais freqüente (no mínimo 60%) foi representado pela classe com perda entre 30 e 40%, enquanto que

TABELA II – CONDIÇÕES DE TRABALHO PARA DOSAGEM DE ELEMENTOS TRAÇOS EM AMOSTRAS DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU PELO MÉTODO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.

Elemento	Tubo	Condições de excitação	Cristal	Contador	Raios analíticos	Atmosfera	Colimador	Correção de matriz
Ba	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	Linha de base
Zr	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\beta$	Ar	Fino	Linha de base
Pb	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$L\alpha$	Ar	Fino	$W K\alpha$
Zn	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	$W K\alpha$
Cu	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	$W K\alpha$
Ni	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	$W K\alpha$
Cr	W	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	Linha de base
Sr	Mo	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	Mo $K\alpha$ Compton
Rb	Mo	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	Mo $K\alpha$ Compton
Ga	Mo	50KV - 32mA	LiF-200	Cintilômetro	$K\alpha$	Ar	Fino	Mo $K\alpha$ Compton

Observação: Foi utilizado pó moído abaixo de 100 meshes sobre suporte de "mylar".

TABELA III - COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM ELEMENTOS MAIORES E MENORES DE AMOSTRAS DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU CONFORME ANÁLISES REALIZADAS PELO PROCESSO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.

Região I - Uberaba :

Amostra	P.F.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
2	35,33%	1,01%	0,05%	0,34%	3,22%	43,39%	0,40%	12,03%	3,37%
64	30,76	3,15	0,05	1,30	10,73	15,60	0,89	28,92	8,22
78	35,90	1,12	0,02	0,37	2,59	39,76	0,59	12,84	4,80
124	39,76	0,78	0,02	0,28	3,84	40,00	0,19	12,06	2,56
125	44,08	0,30	0,02	0,13	9,71	42,71	0,07	2,53	0,65
126	37,38	1,36	0,02	0,61	4,16	39,04	0,44	13,52	3,20
127	41,81	0,26	0,01	0,12	1,15	50,64	0,10	4,81	1,24
128	32,58	1,86	0,04	0,48	4,15	32,37	0,73	20,48	6,35
129	24,62	2,93	0,13	0,96	6,00	18,98	0,94	34,32	10,02
130	35,51	1,19	0,02	0,52	4,03	38,27	0,37	16,54	3,17
131	42,58	0,14	0,01	0,10	0,72	53,04	0,02	2,29	0,67
132	36,05	0,21	0,02	0,08	3,29	43,46	0,02	15,14	0,40
133	42,20	0,32	0,01	0,19	2,78	49,17	0,08	3,87	1,35
181A	42,51	0,52	0,02	0,16	9,32	30,90	0,12	14,89	1,50
181B	27,00	2,11	0,02	0,54	7,81	29,35	0,41	26,74	5,60
32B(17)	36,54	0,64	0,01	0,27	1,38	44,52	0,34	12,01	2,97
32B(18,5)	33,31	1,10	0,01	0,43	1,77	37,33	0,54	21,91	3,51
32B(23)	37,39	0,53	0,01	0,16	2,42	45,87	0,29	11,25	2,71
34B(24,8)	36,10	1,14	0,02	0,33	2,73	43,42	0,53	14,01	3,02
34B(28,7)	31,12	3,15	0,04	1,30	3,48	34,29	1,50	20,48	5,87
36B(22,2)	23,19	2,57	0,05	0,91	4,65	25,76	0,84	32,61	8,94
36B(37,2)	39,76	0,54	0,01	0,18	2,50	45,30	0,15	8,62	1,57
38B(46,8)	40,11	0,48	0,03	0,18	2,47	45,83	0,14	7,94	1,75
38B(51,1)	33,94	1,47	0,02	0,42	3,28	38,57	0,69	17,49	3,86

Região II - Agudos :

Amostra	P.F.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
228	34,84	0,73	0,02	0,25	1,97	44,89	0,24	14,57	2,75
231	36,35	0,55	0,02	0,18	2,76	46,18	0,12	11,94	1,84
235	33,92	0,65	0,01	0,22	1,48	40,01	0,30	17,11	2,85
239	37,64	0,38	0,01	0,18	1,61	45,36	0,08	12,61	1,96
240	35,06	0,59	0,02	0,18	1,72	42,97	0,22	15,27	3,25
245	33,12	0,66	0,01	0,24	2,61	37,03	0,18	25,08	3,03

NOTA: As amostras da região I, indicadas 32B, por exemplo, são de sondagens da área do Buracão (Ponte Alta) com as respectivas profundidades entre parênteses.

cerca de 20% correspondem aos calcários com perda superior a 40% e outros 20% com perda inferior a 40%.

*b. Teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

A moda da distribuição dos teores de



TABELA IV - COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM ELEMENTOS TRAÇOS DE AMOSTRAS DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU CONFORME ANÁLISES REALIZADAS PELO PROCESSO DE FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X.

Região I - Uberaba :

Amostra	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Zr	Ba	Sr	Ga	Rb
2	16	5	14	21	25	70	580	1050	9	2
64	18	18	17	51	130	240	890	1280	11	20
78	6	115	3	190	23	160	20	200	6	19
124	10	1	15	13	35	60	2500	490	10	4
125	10	13	35	12	30	30	175	1330	5	-
126	20	26	47	22	38	90	3700	520	12	11
127	11	10	22	6	24	30	450	210	7	1
128	16	29	43	27	37	170	880	390	4	26
129	30	18	21	31	65	310	2330	250	16	41
130	14	8	27	28	47	30	3220	470	3	14
131	11	1	1	6	12	30	2720	320	7	2
132	13	15	25	7	17	30	50	970	6	1
133	7	11	20	7	7	30	1100	200	7	4
181A	11	13	38	12	41	30	3170	2060	10	-
181B	7	61	144	28	72	170	1520	390	16	14
32R(17)	12	12	5	89	22	110	1550	310	9	12
32B(18,5)	14	20	4	88	26	110	1660	370	7	18
32B(23)	19	3	4	88	19	60	760	320	7	7
34B(24,8)	16	19	12	96	41	70	860	530	6	10
34B(28,7)	14	60	16	100	42	170	1700	230	4	40
36B(22,2)	18	16	11	95	62	210	1150	340	9	41
36B(37,2)	13	26	10	94	31	30	120	200	3	5
38B(46,8)	18	14	11	95	15	60	2650	320	5	2
38B(51,1)	21	24	19	103	47	110	3000	340	2	21

Região II - Agudos :

Amostra	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr	Zr	Ba	Sr	Ga	Rb
228	18	7	36	11	40	130	150	1470	7	1
231	20	6	14	12	14	80	200	1040	5	1
235	25	11	14	11	20	90	210	1330	6	1
239	21	22	41	11	9	100	130	510	10	1
240	18	1	7	10	23	100	200	400	8	7
245	16	7	39	11	23	100	180	880	6	2

NOTA: As amostras da região I, indicadas 32B, por exemplo, são de sondagens da área do Buracão (Ponte Alta) com as respectivas profundidades entre parênteses.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> situou-se entre 0,50 a 1,00% perfazendo mais de 30% das amostras com 1,00 a 1,50% e 0 a 0,50%.

O teor mínimo verificado foi de 0,14% (amostra 131) e o máximo de 3,15% (amostras 64 e 348:28,7 m). Os valores médios de

TABELA V – TEORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DE ELEMENTOS MAIORES, MENORES E TRAÇOS DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU.

	Elementos maiores e menores (%)				Elementos traços (p.p.m.)			
	Elemento	Máx.	Méd.	Mín.	Elemento	Máx.	Méd.	Mín.
Região I 15 amostras de superfície	P. Fogo	44,08	36,54	24,62	Pb	30	13	6
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,15	1,15	0,14	Zn	115	23	1
	MnO	0,13	0,03	0,01	Cu	144	31	1
	TiO <sub>2</sub>	1,30	0,41	0,08	Ni	190	31	6
	MgO	10,73	4,90	0,72	Cr	130	40	7
	CaO	53,04	37,78	15,60	Zr	310	99	30
	K <sub>2</sub> O	0,94	0,36	0,02	Ba	3700	1554	20
	SiO <sub>2</sub>	34,32	14,73	2,29	Sr	2060	675	200
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,02	3,54	0,40	Ga	16	9	3
					Rb	41	11	0
Região I 9 amostras de subsuperfície	P. Fogo	40,11	34,61	23,19	Pb	21	16	12
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,15	1,29	0,48	Zn	60	21	3
	MnO	0,05	0,02	0,01	Cu	19	10	4
	TiO <sub>2</sub>	1,30	0,46	0,16	Ni	103	94	88
	MgO	4,65	2,74	1,38	Cr	62	34	15
	CaO	45,87	40,10	25,76	Zr	210	103	30
	K <sub>2</sub> O	1,50	0,56	0,14	Ba	3000	1494	120
	SiO <sub>2</sub>	32,61	16,26	7,94	Sr	530	329	200
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,94	3,80	1,57	Ga	9	6	2
					Rb	41	17	2
Região II 6 amostras de superfície	P. Fogo	37,64	35,15	33,12	Pb	25	20	16
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,73	0,59	0,38	Zn	22	9	1
	MnO	0,02	0,01	0,01	Cu	41	25	7
	TiO <sub>2</sub>	0,25	0,21	0,18	Ni	12	11	10
	MgO	2,76	2,02	1,48	Cr	40	21	9
	CaO	46,18	42,74	37,03	Zr	130	100	80
	K <sub>2</sub> O	0,30	0,19	0,08	Ba	210	178	130
	SiO <sub>2</sub>	25,08	16,10	11,94	Sr	1470	938	400
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,25	2,61	1,84	Ga	10	7	5
					Rb	7	2	1

teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nas regiões estudadas estiveram entre 1,15% e 1,29%, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 0,59% nas amostras da região II.

### c. Teor de MnO

Em geral as amostras são pobres em MnO, ocorrendo quase que somente casos

com 0 a 0,05% de MnO. O único caso de teor maior corresponde à amostra 129 com 0,13%.

As médias foram de 0,03 a 0,02%, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 0,01% nas amostras da região II.

#### *d. Teor de $TiO_2$*

Nos casos mais freqüentes os teores de  $TiO_2$  estiveram entre 0 a 0,50% (23 casos). O valor máximo de 1,30% foi encontrado nas amostras 64 e 34B:28,7 m.

As médias acusaram teores de 0,41 e 0,46%, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 0,21% nas amostras da região II.

#### *e. Teor de $MgO$*

Mais comumente os teores de  $MgO$  estiveram entre 2,00 a 4,00%, perfazendo 13 casos nas amostras analisadas. O valor máximo encontrado foi de 10,73% na amostra 64.

As médias foram de 4,90% e 2,74%, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e de 2,02% na região II.

#### *f. Teor de $CaO$*

As amostras analisadas exibiram maior incidência de calcários com 35 a 45% de  $CaO$  (praticamente 50% dos casos). Os resultados mostraram grande variabilidade de tais teores, com transição desde calcários muito puros, extremamente ricos em  $CaO$ , até calcários impuros, muito arenosos.

As médias dos teores de  $CaO$  mostraram

valores desde 37,78% e 40,10%, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 42,74% nas amostras da região II.

#### *g. Teor de $K_2O$*

Os calcários analisados mostraram-se, em geral, pobres em  $K_2O$ , pois em mais de 60% dos casos tem-se menos de 0,50% deste óxido. É possível que a presença deste elemento esteja ligada aos insolúveis argilosos dos calcários.

O teor mínimo de 0,02% foi indicado pelas amostras 131 e 132 e o máximo de 1,50% foi verificado na amostra de 28,70m de profundidade da sondagem 34B. As médias indicaram valores desde 0,19% (região II) até 0,56% (subssuperfície da região I).

#### *h. Teor de $SiO_2$*

O teor de  $SiO_2$  deve-se principalmente às partículas arenosas de quartzo e, em menor parcela, aos silicatos, principalmente minerais de argila. Em vista disso, tem-se uma relação inversa entre os teores de  $CaO$  e de  $SiO_2$  nas amostras, isto é, aquelas mais pobres em um dos óxidos são mais ricas no outro.

Em geral a moda de freqüência dos teores de  $SiO_2$  situa-se entre 10% a 15% de  $SiO_2$ , onde se situam no mínimo 30% dos casos, seguidos pela classe de 15 a 20% e 5 a 10%.

#### *i. Teor de $Al_2O_3$*

A presença de  $Al_2O_3$  deve estar ligada aos minerais de argila e eventualmente a raros grãos de feldspatos.

As amostras aqui analisadas indicaram um predomínio grande da classe com 2,00 a 4,00%

de  $Al_2O_3$ , com 13 casos em 30 amostras examinadas, vindo a seguir as classes com 0 a 2,00% e 4,00 a 6,00%.

As médias indicaram teores de 3,54 e 3,80%, respectivamente para as amostras de superfície e de subsuperfície da região I, e 2,61% para as da região II.

#### *Elementos traços*

Nas mesmas amostras submetidas às análises químicas dos elementos maiores e menores foram determinados 10 elementos químicos que ocorrem nesses calcários em quantidades bem menores que os anteriores.

As determinações indicaram que alguns desses elementos apresentam maior variação de uma amostra para outra, enquanto que outros exibem teores mais uniformes.

Os elementos traços determinados para estes calcários e as suas variações de teores nas diferentes amostras podem ser vistos nas tabelas III, IV e V.

#### *a. Chumbo*

O chumbo apresenta-se em teores mais uniformes do que outros elementos traços analisados. Os resultados sugerem que a variação seja maior nas amostras da região I em relação às da região II.

O teor mínimo verificado foi de 6 ppm (amostra 78), atingindo um máximo de 30 ppm (amostra 129). Os valores médios indicaram desde 13 ppm (amostras de superfície da região I) até 20 ppm (amostras da região II).

Segundo RUNNELS e SCHLEICHER (1956) o teor médio de Pb nas rochas calcárias é de 16 ppm, enquanto que OSTROM (1957)

cita valor mais alto de 26 ppm. Portanto, os calcários da Formação Bauru apresentam teor de Pb que não se afasta muito das médias dos calcários comuns.

#### *b. Zinco*

O zinco aparece em grande amplitude de variação, pois o mínimo verificado foi de menos de 5 ppm (amostras 124.131,32B: 23m e 240), atingindo máximo de 115 ppm (amostra 78).

As médias indicaram teores de 23 e 21 ppm, respectivamente para as amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 9 ppm para a região II.

Os teores médios de Zn encontrados para os calcários da Formação Bauru situam-se bem próximos da classe de 4 a 20 ppm admitido por KRAUSKOPF (1955), como intervalo de variação nos calcários normais.

#### *c. Cobre*

O cobre apresenta-se com teores variando em amplitude da mesma ordem de grandeza que o zinco, pois a partir de um mínimo de menos de 5 ppm (amostras 78,131,32B: 18,5m e 32B: 23m) atinge-se um valor de até 144 ppm (amostra 181 B).

As médias mostraram cifras maiores do que no caso do zinco, pois variaram de 31 e 10 ppm, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 25 ppm na região II.

#### *d. Níquel*

Os teores de níquel, embora mais variáveis do que os de chumbo, foram mais homo-

gêneos em relação ao zinco e cobre.

O teor mínimo verificado foi de 6 ppm (amostra 127) e o máximo de 190 ppm (amostra 78). Os teores médios indicaram 31 e 94 ppm, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 11 ppm para a região II.

Para as amostras de superfície os teores médios de níquel, sendo de 31 e 11 ppm, respectivamente para as regiões I e II, se aproximam bem do teor médio de 15 ppm admitido para os calcários por OSTROM (1957).

Uma particularidade interessante deste elemento é a notável constância dos teores nas 9 amostras de sondagens com valores, em geral, bem mais altos do que a média dos calcários de superfície. Aparentemente a área de Buracão, em Ponte Alta, de onde provem as amostras de sondagem, constitui uma área de anomalia de concentração deste metal.

#### *e. Crômio*

Este elemento apresenta padrão de distribuição semelhante ao do níquel, mas com teores mais altos do que aquele elemento em amostras de superfície das regiões I e II. Nas amostras de subsuperfície da região I os teores de Ni foram bem mais altos do que a média dos valores encontrados para Cr em todas as amostras analisadas.

O valor mínimo constatado foi de menos de 10 ppm (amostra 133) e o máximo de 130 ppm (amostra 64). As médias variaram de 40 e 34 ppm, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I até 21 ppm na região II. Estes teores são mais altos do que as médias para os calcários, em geral, apresentadas por RUNNELS e SCHLEICHER (1956) e OSTROM (1956) que sugerem 13 e

11 ppm, respectivamente.

#### *f. Zircônio*

O zircônio, juntamente com o bário e o estrôncio, foi o elemento que apresentou os maiores teores. Pelo menos parcialmente o zircônio pode estar ligado ao mineral zircão presente na fração arenosa dos resíduos insolúveis pesados dos calcários.

O teor mínimo observado foi de 30 ppm (amostras 125,130, etc.) e o máximo de 310 ppm (amostra 129). Os teores médios foram de 99 e 103 ppm, respectivamente nas amostras de superfície e de subsuperfície da região I e de 100 ppm na região II.

O intervalo de variação de teores deste elemento, conforme GRAF (1960), para os calcários é de menos de 10 ppm até 200 ppm, que corresponde aproximadamente aos valores extremos encontrados para os calcários da Formação Bauru.

Entretanto, a média de 16 - 3 ppm, sugerida por aquele autor, é muito mais baixa do que as médias encontradas neste trabalho.

#### *g. Bário*

Este foi o mais abundante entre os elementos traços e as amplitudes de variação dos teores foram também as maiores verificadas.

Os teores das amostras variaram desde 20 ppm (amostra 78) até 3.700 ppm (amostra 126). As médias dos teores acusaram variações desde 178 ppm para as amostras da região II até 1554 ppm para as amostras de superfície da região I. As amostras de sondagens da região I indicaram uma média de 1494 ppm.

A variação dos teores de Ba está perfeita-

mente dentro dos intervalos apresentados por OSTROM (1957) e GRAF (1960), que são de 10 a 10.000 ppm e 5 a 8.000 ppm, respectivamente. Porém as médias para os calcários da Formação Bauru são anormalmente mais altas, principalmente na região I, onde atinge um teor de 1554 ppm para as amostras de superfície, como foi acima visto.

#### *h. Estrôncio*

Entre os elementos traços o estrôncio segue o bário em ordem decrescente de abundância e as variações extremas de teores entre as amostras são também grandes.

O teor mínimo constatado foi de 200 ppm (amostras 78 e 36B: 37,2m) e o máximo de 2060 ppm (amostra 181 A). Os teores médios variaram de 329 ppm (amostras de subsuperfície da região I) até 938 ppm (amostras da região II).

Tal como no caso do Ba o intervalo de variação dos teores de Sr situou-se dentro dos limites dos calcários normais, porém a média de 938 ppm, acima referida, está mais alta do que os dados da literatura.

#### *i. Gálio*

O gálio, tal como no caso do rubídio, foi um dos elementos traços menos abundantes nas amostras analisadas. Os padrões de distribuição de ambos são também similares. O valor máximo de 16 ppm foi verificado nas amostras 129 e 181B. As médias dos teores indicaram 9 e 6 ppm, respectivamente para as amostras de superfície e de subsuperfície da região I e 7 ppm para a região II.

As médias dos teores de Ga para os calcários da Formação Bauru situaram-se no intervalo de menos de 3 até 10 ppm, citado por

GRAF (1960) para os calcários normais.

#### *j. Rubídio*

O rubídio, apesar de ser um dos elementos traços extremamente pouco abundantes, apresenta-se em variações grandes de teores.

O valor mínimo constatado foi de menos de 2 ppm (amostras 127,132, etc.) e o máximo de 41 ppm (amostra de 22,2m de profundidade do furo 36B.) As médias dos teores indicaram desde 2 ppm (região II) até 17 ppm (amostras de subsuperfície da região I). Estas cifras coadunam perfeitamente com os dados da literatura, citados por GRAF (1960) para a média dos calcários.

#### *Discussão dos resultados*

##### *1. Elementos maiores e menores*

Confrontando-se os resultados encontrados neste trabalho com os dados médios de calcários de diferentes idades, segundo CLARKE (1924), entre os elementos maiores e menores evidenciam-se os seguintes fatos principais:

a. O teor de  $Fe_2O_3$  nas amostras de calcários da Formação Bauru é pouco superior à média dos calcários.

b. O  $MgO$  apresenta-se com teor mais alto na média dos calcários do que em calcários desta formação.

c. A composição em  $CaO$  dos calcários aqui estudados é menor do que a da média dos calcários.

d. A participação de  $K_2O$  é, em geral da mesma ordem de grandeza nos dois casos.

e. Os teores de  $Al_2O_3$  e  $SiO_2$  são bem

mais altos nos calcários da Formação Bauru do que na média dos calcários.

Os fatos acima apontados estão ligados à natureza mais arenosa e argilosa dos calcários da Formação Bauru, definindo-se assim maiores teores de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$  em detrimento do teor de  $\text{CaO}$ .

Por outro lado, o teor relativamente baixo de  $\text{K}_2\text{O}$  deve-se, talvez, à pequena frequência de minerais de argila ricos em  $\text{K}^+$ , do tipo de illita e montmorillonita entre os resíduos insolúveis, fato constatado por SUGUIO (1973).

O teor mais baixo de  $\text{MgO}$  em relação à média dos calcários também está de acordo com a idade relativamente nova da Formação Bauru (Cretáceo Superior: Senoniano?), considerando-se a idéia defendida por GARRELS e MACKENZIE (1971:237) e outros autores, de que haveria um enriquecimento em  $\text{MgO}$  nos calcários mais antigos.

A composição em  $\text{MnO}$ , que é também muito baixa nos calcários aqui estudados, pode ter implicações paleoclimáticas; pois RONOV e ERMISHKINA (1959); in WOLF e outros, 1967) encontraram teores mais baixos (menor que 0,04%) para os calcários formados em zonas áridas, enquanto que os de zonas úmidas apresentavam teor mais alto.

Além disso, os teores de  $\text{MnO}$  estão, de certa maneira, relacionados aos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Segundo os estudos de KRAUSKOPF (1957), nas zonas de formação de carbonatos, alguns processos geoquímicos atuantes levam à separação diferencial de  $\text{Mn}$  e  $\text{Fe}$ . Para os calcários da Formação Bauru a relação  $\text{Mn}/\text{Fe}$  resulta em dados pouco variáveis para os conjuntos de amostras analisadas, sendo a média em torno de 0,025, fato que pode indicar condições de  $\text{pH}$  e  $\text{Eh}$  relativamente uniformes nos meios de transporte e deposição em áreas de ocorrência

de calcários da Formação Bauru.

## 2. Elementos traços

Os elementos traços analisados apareceram na seguinte seqüência decrescente de abundância:  $\text{Ba} - \text{Sr} - \text{Zn} - \text{Cr} - \text{Ni} - \text{Cu} - \text{Zr} - \text{Pb} - \text{Rb}$  e  $\text{Ga}$ , considerando-se a média para todas as amostras analisadas.

Segundo STRAKHOV e outros (1956), elementos traços comuns em sedimentos, tais como,  $\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ga}$  e outros permanecem principalmente em suspensão durante o transporte fluvial e solubilizam-se só parcialmente. Mesmo nas suspensões, uns fazem parte das porções mais grosseiras, enquanto que outros integram os componentes mais finos. Estas diferenças no modo de migração dos elementos é, em parte, responsável pela diferenciação dos elementos durante a sedimentação. Quando em soluções tendem a ser transportados até as regiões pelágicas das bacias oceânicas, enquanto que, quando a suspensão é predominante os elementos associam-se a fases mais grosseiras, sendo precipitados nos continentes. Além disso, a participação da matéria orgânica dos sedimentos é muito grande de na concentração de muitos dos elementos acima enumerados, fato reconhecido pelos estudos de folhelhos orgânicos.

Apelando-se para os mecanismos de fracionamento, acima apresentados, talvez possam ser explicados os teores diferentes de alguns dos elementos traços dos calcários da Formação Bauru.

As rochas do embasamento da Formação Bauru, que poderiam ter maiores possibilidades de funcionar como a fonte de  $\text{CaO}$  para originar os calcários, são os basaltos da Formação Serra Geral, principalmente em virtude do intemperismo de feldspatos cálcicos e ou piroxê-

nios.

Além disso, segundo RUEGG (informações verbais), o basalto da região do Triângulo Mineiro distingue-se daquele encontrado no Estado de São Paulo, pelas concentrações mais altas de Ba, sendo de 700 ppm e 400 ppm, respectivamente.

O teor médio de Ba, bem mais alto nos calcários da região do Triângulo, principalmente na região de Uberaba, do que no Estado de São Paulo, poderia ser indicativo da origem do CaO a partir dos basaltos. Os teores médios na região I (Uberaba), bem mais altos nos calcários do que nos basaltos, poderiam ser explicados pelo mecanismo de mobilização do Ba (em suspensão) e pela segregação do CaO para formar os calcários.

Muitas vezes os elementos traços são usados para definição de sedimentos formados em ambientes de água doce ou água salgada, e neste aspecto são usados elementos como B, Li, Ga, etc. (KEITH e DEGENS, 1959; LERMAN, 1966 e outros). Em geral considera-se que os elementos B, Ga, Rb, Ni e Cr sejam decisivos nesses estudos, e B, Rb e Ni seriam mais abundantes nos sedimentos marinhos, enquanto que Ga e Cr seriam mais altos nos sedimentos de água doce. Para o caso dos calcários da Formação Bauru os elementos traços não apresentaram nas amostras analisadas um padrão típico de distribuição de sedimentos de água doce. Infelizmente, a maior parte dos estudos de distribuição de elementos traços, para definição de ambientes de sedimentação, foi realizada em rochas argilosas. É possível que mecanismos de concentração ou dispersão de elementos traços nas rochas argilosas sejam diferentes daqueles que atuam nos calcários.

A concentração aparentemente anômala de Ni e Cr entre os elementos traços, principalmente do Ni na área de Uberaba, poderia estar

relacionada aos sedimentos vulcanoclásticos da Formação Uberaba, que se situa entre a Formação Bauru e os basaltos da Formação Serra Geral em uma grande parte da área.

#### COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE CARBONO E OXIGÊNIO

Composição isotópica de oxigênio e carbono em carbonatos têm sido usados para distinção de calcários depositados em ambiente marinho e em água doce.

CLAYTON e DEGENS (1959), estudando 30 amostras de sedimentos carboníferos dos Estados Unidos, encontraram uma diferença média de 6 o/oo no  $\delta C^{13}$  dos dois ambientes KEITH e WEBER (1964) efetuaram um estudo mais detalhado, analisando 504 amostras de idades variando desde o Precambriano até o Cenozóico e estabeleceram um limite arbitrário de - 2,00 o/oo para diferenciar calcários depositados em ambiente marinho e em água doce. Quando os valores de  $\delta C^{13}$  estiverem situados entre -2,00 o/oo a + 6,00 o/oo indicariam ambiente marinho, entre -2,00 o/oo a - 8,00 o/oo seriam sugestivos de ambiente continental.

A natureza continental dos calcários da Formação Bauru é indiscutível. Não somente a evolução paleogeográfica da Bacia do Paraná, até atingir o estágio de deposição dessa formação, mas também o seu conteúdo paleontológico e as características sedimentológicas dos depósitos indicam ambiente de água doce. A aplicação deste conceito, no caso, teve a finalidade principal de testar o método em sedimentos de origem continental conhecida por outros critérios e para se ter uma idéia do tipo de variação na composição desses isótopos em sedimentos dessa natureza. Outra finalidade foi a de testar a hipótese do clima ter sido mais seco (semi-árido) durante a deposição destes calcários, pois sabe-se que águas que sofrem



intensa evaporação tendem a ser isotopicamente enriquecidas, isto é, mostram um incremento em  $\delta^{18}$ . A grande semelhança desses calcários com os depósitos de caliche, típicos de clima seco, conduziu a formulação desta hipótese, que foi testada em confronto com amostras do deserto da África.

#### Método de análise

As amostras de calcários foram, de início britadas até atingir dimensões de fragmentos com 0,50 cm e, em seguida, moídas e passadas pela peneira de 100 meshes (0,149 mm).

A decomposição química dessas amostras, com a finalidade de se extrair o dióxido de carbono, para análise isotópica do oxigênio e carbono, foi efetuada pelo método comumente adotado, por intermédio do ácido fosfórico a 100% a temperatura de 250 C (Mc-CREA, 1950).

O dióxido de carbono liberado pelas amostras foi analisado para massas 44, 45 e 46 em um espectrômetro de massa, Varian Mat, modelo CH-4, pertencente ao CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP).

Para a maioria das amostras foram feitas duas medidas e as composições isotópicas foram expressas em termos de  $\delta$ , tomando-se como padrão o PDB Chicago, segundo a fórmula:

$$\delta = \frac{R(\text{amostra}) - R(\text{padrão})}{R(\text{padrão})} \times 1.000$$

$$\text{onde } R = C^{13}/C^{12} \text{ ou } O^{18}/O^{16}$$

Sobre as médias encontradas, como resultado de duas medidas, foram aplicadas as correções para influência de  $O^{17}$  sobre  $\delta^{13}$  e para a influência do  $C^{13}$  sobre  $\delta^{18}$ . Nessas

correções foram adotadas as equações do CRAIG (1957):

$$\delta^{13} = 1,0676 \delta m - 0,0338 \delta^{18}$$

$$\delta^{18} = 1,0014 \delta m - 0,009 \delta^{13}$$

#### Material analisado e discussão dos resultados

Os materiais aqui analisados compreendem: 13 amostras de superfície e 9 amostras de subsuperfície da região I, 6 amostras de superfície da região II (Figura 1) e 5 amostras de caliche.

##### a. Valores numéricos

A região de Uberaba, representada por 22 amostras, apresenta os valores médios baixos (resultados mais negativos) de  $\delta^{13}$  e  $\delta^{18}$ , e os resultados das amostras de superfície são praticamente iguais a aqueles correspondentes a testemunhos de sondagem. Este fato indica que as análises efetuadas em materiais coletados em afloramentos, quando as amostras forem suficientemente pouco alteradas, fornecem resultados válidos (Tabela VI).

Quanto aos valores mínimos ( - 10,32 para  $\delta^{13}$  na amostra 124 e - 6,69 para  $\delta^{18}$  na amostra 127) acham-se pouco afastados das médias, mas os valores máximos ( - 5,69 para  $\delta^{13}$  na amostra 64 e - 4,01 para  $\delta^{18}$  na mesma amostra) estão muito distantes das médias em amostras de superfície da região de Uberaba.

Considerando-se as amostras de testemunhos de sondagens, os resultados mínimos ( - 10,02 para  $\delta^{13}$  na amostra de 46,8 m de profundidade da sondagem 38B e - 6,83 para  $\delta^{18}$  na amostra de 28,7 m de profundidade do furo 34B) indicaram valores muito próximas das respectivas médias que são de - 9,74 o/oo, para  $\delta^{13}$  e  $\delta^{18}$ , respectivamente. Os valores máximos ( - 9,33 para

TABELA VI - COMPOSIÇÃO ISOTÓPICA DE  $C^{13}$  E  $O^{18}$  EM ‰ DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU E ALGUMAS AMOSTRAS DE OUTRAS PROCEDÊNCIAS ANALISADAS PARA COMPARAÇÃO

**Região I - Uberaba :**

Amostra	Tipo de rocha	Localidade	$\delta C^{13}$ (‰)	$\delta O^{18}$ (‰)
2	Calcário brechóide nodular	SC-1 (Rod. BR-262)	-9,51	-6,42
64	Calcário impuro recristalizado	SC-4 (Rod. BR-050)	-5,69	-4,01
78	Calcário conglomerático	SC-7 (Rod. BR-050)	-9,27	-6,10
124	Granular silicificado	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-10,32	-6,62
125	Calcário globóide recristalizado	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-8,89	-5,91
127	Microcristalino impuro	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-9,93	-6,69
128	Cripto a microcristalino impuro	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-9,39	-6,52
129	Impuro, parte recristalizado	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-9,15	-6,23
130	Heterogêneo, impuro e recristalizado	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-9,48	-6,61
131	Bem recristalizado	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-9,87	-6,66
133	Cristalino uniforme	Pedreira nº 2 (CCPPA)	-9,89	-6,61
181A	Maciço microcristalino	Faz. São José (CCPPA)	-9,51	5,96
181B	Globóide silicificado	Faz. São José (CCPPA)	-9,27	-6,15
32B(17)	-	Buracão (CCPPA)	-9,33	-6,52
32B(18,5)	-	Buracão (CCPPA)	-9,67	-6,08
32B(23)	-	Buracão (CCPPA)	-9,47	-6,13
34B(24,8)	-	Buracão (CCPPA)	-9,61	-6,26
34B(28,7)	-	Buracão (CCPPA)	-9,86	-6,83
36B(22,2)	-	Buracão (CCPPA)	-9,58	-6,26
36B(37,2)	-	Buracão (CCPPA)	-9,73	-6,19
38B(46,8)	-	Buracão (CCPPA)	-10,02	-6,66
38B(51,1)	-	Buracão (CCPPA)	-10,00	-6,65

**Região II - Agudos:**

Amostra	Tipo de rocha	Localidade	$\delta C^{13}$ (‰)	$\delta O^{18}$ (‰)
228	Arenoso, parte recristalizado	Piratininga (SP)	-7,88	-5,29
231	Recristalizado nodular	Morro Serraria-Agudos (SP)	-7,63	-5,18
235	Nodular e arenoso	Morro São João-Agudos (SP)	-7,73	-5,73
239	Cristalino, arenoso	Faz. São José - Borebi (SP)	-7,34	-4,90
240	Nodular, arenoso e recristalizado	Faz. São José - Borebi (SP)	-8,49	-6,32
245	Muito arenoso e recristalizado	Faz. Sta. Rita - Agudos (SP)	-7,87	-5,46

**Caliche da África:**

Amostra	Tipo de rocha	Localidade	$\delta C^{13}$ (‰)	$\delta O^{18}$ (‰)
417/3	Caliche	Deserto de Moçâmedes (Angola)	-0,13	-0,59
416/235	Caliche	Deserto de Moçâmedes (Angola)	-4,16	-1,06
440/3A	Caliche	Deserto de Moçâmedes (Angola)	-4,29	-2,01
416/235	Caliche	Deserto de Moçâmedes (Angola)	-7,08	-7,47
416/241	Caliche	Deserto de Moçâmedes (Angola)	-5,68	-5,80

**Valores médios:**

	Região I (superfície)	Região I (subsuperfície)	Região II (superfície)	Caliche
$\delta C^{13}$ (‰)	- 9,24	- 9,70	- 7,82	- 4,27
$\delta O^{18}$ (‰)	- 6,19	- 6,40	- 5,48	- 3,39

$\delta C^{13}$  na amostra de 17,00 m de profundidade do furo 32B e - 6,08 para  $\delta O^{18}$  na amostra de 18,5 m de profundidade do furo 32B) também estão muito próximos das respectivas médias.

máximos e mínimos que se afastam muito das respectivas médias, tanto para o caso de  $\delta C^{13}$  como para  $\delta O^{18}$ .

b. Significado paleoambiental

As amostras da região II, embora com valores que se afastam um pouco das respectivas médias, apresentam máximos e mínimos mais próximos entre si do que as amostras da região de Uberaba.

KEITH e WEBER (1964) desenvolveram um processo gráfico de identificação de ambientes e estabeleceram áreas neste gráfico cujas composições isotópicas sejam típicas de registros geológicos carbonáticos de água doce ou de ambiente marinho, e o limite arbitrário entre

As amostras de caliche indicam valores

os dois ambientes situa-se no valor  $\delta C^{13} = -2,00$  o/oo.

Na figura 3 tem-se a representação gráfica de distribuição dos valores de  $\delta C^{13}$  em função de  $\delta O^{18}$  para as amostras analisadas de calcários da Formação Bauru e de caliche.

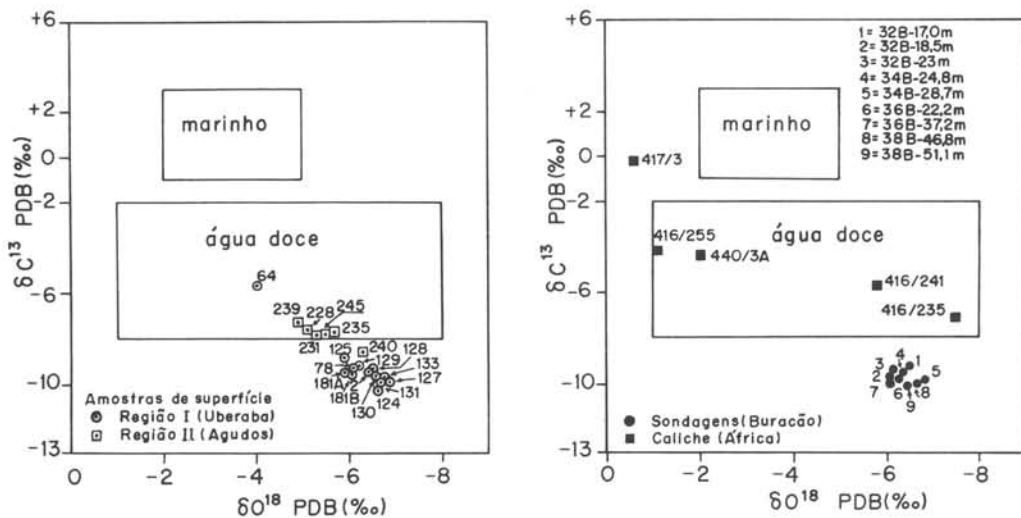


FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DE VALORES DE  $\delta C^{13}$  x  $\delta O^{18}$  PARA AMOSTRAS DE CALCÁRIOS DA FORMAÇÃO BAURU E DE CALICHE

Verifica-se na figura 3, que as amostras de superfície definem duas áreas de concentração maior. Uma destas áreas localiza-se exatamente dentro do retângulo que delimita os carbonatos de água doce, possuindo valores de  $\delta C^{13}$  entre  $-7,00$  e  $-8,00$  o/oo e  $\delta O^{18}$  entre  $-5,00$  e  $-6,00$  o/oo. A outra área situa-se fora do retângulo apresentando valores de  $\delta C^{13}$  entre  $-9,00$  e  $-10,00$  o/oo e  $\delta O^{18}$  entre  $-6,00$  e  $-7,00$  o/oo. Fato interessante que deve ser observado é que os pontos do segundo grupo representam, na sua maioria, amostras da região I, enquanto que os pontos localizados dentro da área de valores típicos de carbonatos de água doce são predominantemente correspondentes a amostras oriundas da região II.

As amostras de sondagens superpuseram-

se na mesma área das amostras de superfície da mesma região, enquanto que os pontos ligados a caliche se apresentaram muito dispersos.

As amostras de caliche estão perfeitamente de acordo com o ambiente pela razão  $C^{13}/C^{12}$ , pois o  $\delta C^{13}$  médio sendo  $-3,91$

(menor que o intervalo  $\pm 2,00$  o/oo), que define o limite dos sedimentos marinhos, está em perfeita concordância com o seu ambiente genético continental. Além disso, caracterizam-se pelo alto valor de  $\delta O^{18}$ , que pode ser atribuído à intensa evaporação, que é conhecida como sendo efetiva durante a formação desses depósitos (KNETSCH, 1937 e RUTTE, 1958).

O exame da figura 3 mostra que as amostras da região de Uberaba, tanto de superfície como de subsuperfície, apresentam valores muito baixos de  $\delta C^{13}$ , em torno de  $-10,00$  o/oo, fato que poderia ser explicado somente pela alteração de composição isotópica inicial do calcário, durante os processos diagenéticos. As amostras da região de Agudos não apresentaram valores superiores a  $-8,00$  o/oo. Este fato pode ser explicado, talvez, pela menor

intensidade de atuação dos processos diagenéticos nos sedimentos. Esses processos diagenéticos podem ter-se manifestado na alteração petrográfica dos calcários, não somente por processos de recristalização, mas também por fenômenos de silicificação, que em parte podem ser penecontemporâneos à sedimentação e posterior diagênese. Essas feições, por sinal, foram observadas mais conspicuamente nas amostras da região I.

### c. Conclusões

Embora os aspectos petrográficos microscópicos e macroscópicos (cor, textura nodular e/ou brechóide, composição arenosa e/ou conglomerática, silicificação parcial pela calcedônia, etc.) além da situação de campo, inclusive a forma do litossoma, sejam bastante sugestivas de uma deposição *tipo caliche* para os calcários da Formação Bauru, as análises de composição isotópicas não indicaram ambiente de evapora-

ção bastante intensa, que caracteriza normalmente a formação de caliche. As amostras de caliche apresentaram valores em torno de  $-2,00$  o/oo para  $\delta O^{18}$ , enquanto que a maior parte dos calcários da Formação Bauru situou-se entre  $\delta O^{18} = -5,00$  a  $-7,00$  o/oo.

Por outro lado, as composições isotópicas indicaram indiscutível origem ligada à água doce para os calcários da Formação Bauru, fato sobejamente conhecido por outras evidências geológicas, vindo a corroborar idéias anteriores. Além disso, ficaram definidos dois grupos de amostras: o primeiro grupo formado pelas amostras da região de Uberaba, que talvez em virtude de processos diagenéticos, apresentam  $\delta C^{13}$  PDB ligeiramente mais alto que o normal em relação aos calcários com essa origem e no outro grupo as amostras do Estado de São Paulo, que indicaram relações isotópicas de calcários de água doce segundo o gráfico de KEITH e WEBER (1964).

---

## BIBLIOGRAFIA

- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C. e CUNHA, C.A.R. — 1970 — *Geologia da região do Triângulo Mineiro* — DNPM/DFPM, Bol. 136: 149 pp., Rio de Janeiro.
- CLAYTON, R.N. e DEGENS, E.T. — 1959 — *Use of carbon isotope analysis of carbonates for differentiating fresh-water and marine sediments* — Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull, 43:890-897.
- CRAIG, H. — 1957 — *Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass spectrometric analysis of carbon dioxide* — Geochim. et Cosmoch. Acta 12: 133-149.
- FAIRBAIRN, H.W. e HURLEY, P.M. — 1970 — *Evaluation of X-ray fluorescence and mass spectrometric analyses of Rb and Sr in some silicate standards* — 18th. Ann. Rept. U.S.A.E.C. AT (30-1) 183 L, M.I.T. : 135-143.
- GARRELS, R.M. e MACKENZIE, F.T. — 1971 — *Evolution of Sedimentary Rocks* — W.W. Norton and Co. Inc., New York, 397 pp.
- GRAF, P.L. — 1960 — *Geochemistry of carbonate sediments and sedimentary carbonate rocks*. — I-IV; Illinois State Geol. Surv. Circular 297, 298, 301, 308:

KEITH, M.L. e DEGENS, E.T. — 1959 — *Geochemical indicators of marine and fresh — water sediments* — in *Researches in Geochemistry* : 38-61, John Wiley and Sons Inc.

KEITH, M.L. e WEBER, J.N. — 1964 — *Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils* — *Geochim. et Cosmoch. Acta* 28 : 1787-1816.

KNETSCH, G. — 1937 — *Beitrage zur Kenntnis von Krustenbildungen.* — *Ztschr. Deutsch. Geol. Ges.* 89 : 177-192.

KRAUSKOPF, K.B. — 1955 — *Sedimentary deposits of rare metals* — *Economic Geology*, 50th. Anniv. vol. 1905-1955: 411-463.

KRAUSKOPF, K.B. — 1957 — *Separation of manganese from iron in sedimentary processes* — *Geochim. et Cosmoch. Acta* 12:61-84.

LERMAN, A. — 1966 — *Boron in clays and estimation of paleosalinities* — *Sedimentology* 6 : 267-286.

McCREA, J.M. — 1950 — *On the isotope chemistry of carbonates and a paleotemperature scale* — *Journal of Chem. Phys.* 18:849-857.

OSTROM, M.E. — 1957 — *Trace elements of Illinois Pennsylvanian limestones* — *Illinois State Geol. Surv. Circular* 243:1-

REYNOLDS, R.C. — 1963 — *Matrix corrections in trace element analysis by X-ray fluorescence : estimation of the mass absorption coefficient by Compton scattering* — *The Amer. Mineral.*, 48 (9-10) : 1133-1143.

RUNNELS, R.T. e SCHLEICHER, J.A. — 1956 — *Chemical composition of eastern Kansas limestones* — *Geol. Surv. of Kansas Bull.* 119 (3) : 83-103.

RUTTE, E. — 1958 — *Kalkkrusten in Spanien* — *N. Jb. Geol. Pal. Abh.* 106 : 52-138.

STRAKHOV, N.M.; ZALMANZON, E.S. e GLAGOLEVA, M.A. — 1956 — *Types of distribution of dispersed amounts of elements in sediments of the humid zones* — *Geochemistry (USSR)*; English translation, 1956(6) : 560-569.

SUGUIO, K. — 1973 — *Formação Bauru: Calcários e Sedimentos Detríticos Associados* — Tese de Livre Docência (Instituto de Geociências/USP) — II vol. : 236 pp, 59 fig. e 44 fotos (inérita).

WOLF, K.H.; CHILINGAR, G.V. e BEALES, F.W. — 1967 — *Elemental composition of sedimentary carbonates* — in *Carbonate Rocks (Physical and Chemical Aspects)*; Editors: G.V. Chilingar e outros; Elsevier Publ. Co.; *Developments in Sedimentology* 9B, Netherlands.