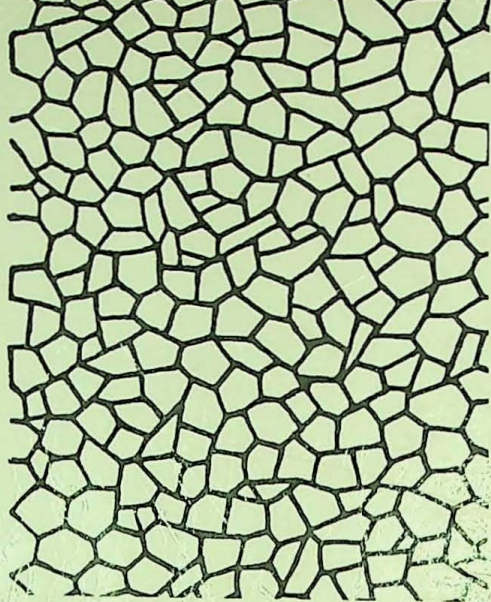




CADERNOS

I.G.

unicamp



UNICAMP

I X Y Z

VOLUME 3

N.º 1

As estações gráficas mais modernas disponíveis no mercado apresentam recursos de hardware e software bastante sofisticados. Alguns dos problemas aqui citados certamente serão facilmente superados com essas estações. Entretanto, por um bom tempo ainda se terá estações gráficas como as em uso na UnB com SITIM/SGI em vários laboratórios ou centros de sensoramento remoto (atualmente, mais de 50).

Além disso, mesmo com o avanço tecnológico, o esforço de digitalização e/ou edição de mapas em Planos de Informação e o seu casamento com imagens correspondentes sempre justificará uma organização semelhante à aqui proposta por módulos cartográficos para pronto manuseio.

O desenvolvimento de software de edição dos sistemas SGI/SITIM, principalmente visando a colagem de módulos contíguos e um aperfeiçoamento nas facilidades de "clipping", é uma necessidade premente que extrapola, inclusive, a proposta de modularização aqui apresentada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ENGESPAÇO Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM. Manual do Usuário. Engespaço Indústria e Comércio. São José dos Campos, SP, 1990.
- ENGESPAÇO Sistema de Informações Geográficas - SGI. Manual do Usuário. Engespaço Indústria e Comércio. São José dos Campos, SP, 1990(b)
- FELGUEIRAS, C.A. et al Um sistema digital de terreno para microcomputadores. São José dos Campos, SP, (INPE-4170-PRE/1967), 1987.
- OLIVEIRA, M.O.B. Aquisição de tratamento de dados para um sistema geográfico de informações. (Tese de Mestrado em Computação Aplicada). INPE, São José dos Campos, (INPE-4172-TDL/272), 1986, 77p.

Recebido em: junho/1992

Aprovado para publicação em: julho/1992

UM ESTUDO QUÍMICO-ANALÍTICO DE MAGNESITAS DO TIPO VEITSCH DA SERRAS DAS ÉGUAS, BAHIA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA PESQUISAS GENÉTICAS

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹

Henrique Bergamin Filho²

Palavras-chave: magnesitas, geoquímica, metalogênese-metodologia

RESUMO

A área de pesquisa situa-se na Serra das Éguas, Brumado, Bahia, na Mina de Campo de Dentro e arredores. A jazida de morfologia lenticular, encaixa-se em rochas dolomíticas e estas em calciossilicáticas. A metodologia da pesquisa baseou-se no quimismo da fração carbonática das rochas. A amostragem procurou abranger o espectro de variações químicas dos dolomitos e magnesititos do local, tendo sido feita prioritariamente em testemunhos de sondagens rotativas anteriormente descritos e analisados para elementos maiores. Foi feito ataque ácido controlado, solubilizando-se apenas a fração carbonática das rochas e dosados em ICP-AES: Al, B, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Ga, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sr, Ti, V e Zn; em AAS foram dosados Na e K, e, por eletrodo de íon seletivo, F. Os dados obtidos, agrupados em classes de razão Mg/Ca, foram analisados em diagramas binários, permitindo a visualização de tendências para a maior parte dos elementos e sua interpretação paleoambiental, sugerindo precipitação de magnesita em salmouras diluídas por água doce continental.

ABSTRACT

The study area comprises the Campo de Dentro magnesite mine and its surroundings, located at Serra das Éguas ridge, near the town of Brumado, Bahia. The deposit has a lens-shaped morphology hosted by dolomitic and calc-silicate rocks. These sequences were interpreted as chemical and pelitic meta-sediments of shallow waters, deformed and metamorphosed under amphibolite facies. The methodology of this research was based on the chemical characteristics of the carbonate fraction of the rocks. Sampling was carried out on drill cores (295 samples) for chemical and physical variations of dolomite and magnesite rocks after description and analysis for major elements and outcrops (11 samples). A controlled acidic attack was done, to dissolve only the carbonate fraction of the samples. Chemical contaminations due to pelites were therefore avoided. The elements Al, B, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Ga, Mg, Mn, Ni, P, Pb, Sr, Ti, V and Zn were analyzed by ICP-AES, K and Na by AAS and F by selective ion electrode. Co, Pb and Ti could not be analysed due to amounts below the detection limit and Ga, Na and U due to technical problems. This data set was compared with the ratio Mg/Ca, using binary diagrams, with no correlation in most of the cases. Using samples clustered according to ranges of the Mg/Ca ratio, trends for all elements were established, except for B and Cu. The interpretation of these trends allowed the proposition of a generic model for the studied magnesite. The model envisages an early phase of precipitation and enrichment in Mg^{2+} in the sedimentary environment due to maturation of the precipitate.

¹ Professor do IG /USP

² Professor do CENA/USP

INTRODUÇÃO

A origem dos depósitos de magnesita encaixados em sedimentos (tipo Veitsch) vem suscitando discussões que persistem desde o século XIX. A causa para uma polêmica tão longa é a originalidade genética destes depósitos, formados em ambientes marinhos restritivos, possivelmente sob influência de água doce, necessitando de concentração pós-precipitação em magnésio. A polêmica dá-se tanto no processo de introdução de Mg^{2+} como na ocasião em que ocorre.

Segundo um ponto de vista, a magnesita é formada diretamente pela ação de fluidos hidrotermais, atuando sobre rochas carbonáticas litificadas (MORTEANI et al. 1983) (AHARON, 1988) (KIESL et al. 1990) e (MORTEANI & NEUGENBAUER 1990). No ponto de vista oposto, as magnesitas são formadas no ambiente sedimentar, numa fase diagenética precoce (SIEGL 1984) (POHL e SIEGL 1986) (VELASCO et al. 1987) (SCHULZ & VAVTAR 1989) (POHL 1990) e (ALMEIDA 1991).

A associação de paleo-ambientes específicos com depósitos de magnesita do tipo Veitsch é um argumento favorável a esta última linha de pensamento. A dificuldade de se formar magnesita em ambientes sedimentares é favorável à linha epigeneticista, que argumenta com a necessidade de altas temperaturas, inexistentes em condições ambientais. Ocorre, entretanto, que sob elevados pH, pCO_2 e razão Mg/Ca, e baixa salinidade total, a precipitação de $MgCO_3$ em condições ambientais é facilitada.

Na literatura sobre magnesita são referidas evidências de menores salinidades nos ambientes magnesíticos do que nos formadores dos dolomitos encaixantes (BONE 1983) e (ZHANG 1988). No sistema lagunar-lacustre do Coorong, Austrália e em Balkash, ex-URSS, são encontrados altos pHs associados à precipitação de magnesita e outros carbonatos hipermagnesianos (LLARENA 1962) e (VON DER BORCH 1965).

Considerando-se a capacidade dos carbonatos de manterem registro parcial dos ambientes em que foram formados através de seu quimismo (KINSMAN 1969) (LAND & HOOPS 1973) (VEIZER & DEMOVIC 1974) (RENARD 1975) e (VEIZER et al. 1978), propõe-se neste estudo a possibilidade de, através da composição química dos carbonatos, identificar aspectos dos ambientes formadores dos magnesititos e de suas encaixantes dolomíticas, bem como de processos de enriquecimento precoce em magnésio.

Neste trabalho estuda-se a fração carbonática das rochas, de forma a excluir a contribuição da fração pelítica, de presença habitual em bacias de águas rasas, o que impediria a análise da composição dos elementos-traços nos carbonatos. Propõe-se ainda o agrupamento das análises segundo faixas da razão Mg/Ca, cátions majoritários nas rochas, e sua comparação em diagramas binários com os demais elementos dosados, bem como com resíduo insolúvel (R.I.) e granulação. A interpretação dos gráficos assim obtidos baseia-se em princípios da química de precipitação, dependentes da salinidade total e de outras características físico-químicas da solução, tais como aquelas acima mencionadas.

A área de estudo situa-se na Serra das Éguas, sudoeste do Estado da Bahia, Brasil, que contém um dos maiores depósitos conhecidos de magnesita do tipo Veitsch. Os magnesititos estão encaixados em metassedimentos - dolomitos e siliciclásticas - de águas rasas, de idade proterozóica, deformados tectonicamente e metamorfisados no fácies anfibolito. A amostragem foi feita em testemunhos de sondagem rotativa, priorizando-se amostras especialmente próximas.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A Serra das Éguas localiza-se nas proximidades da Cidade de Brumado, no Estado da Bahia, no nordeste do Brasil. A área estudada, a Mina de Campo de Dentro, localiza-se por sua vez na borda nordeste da serra em questão (Figura 1)

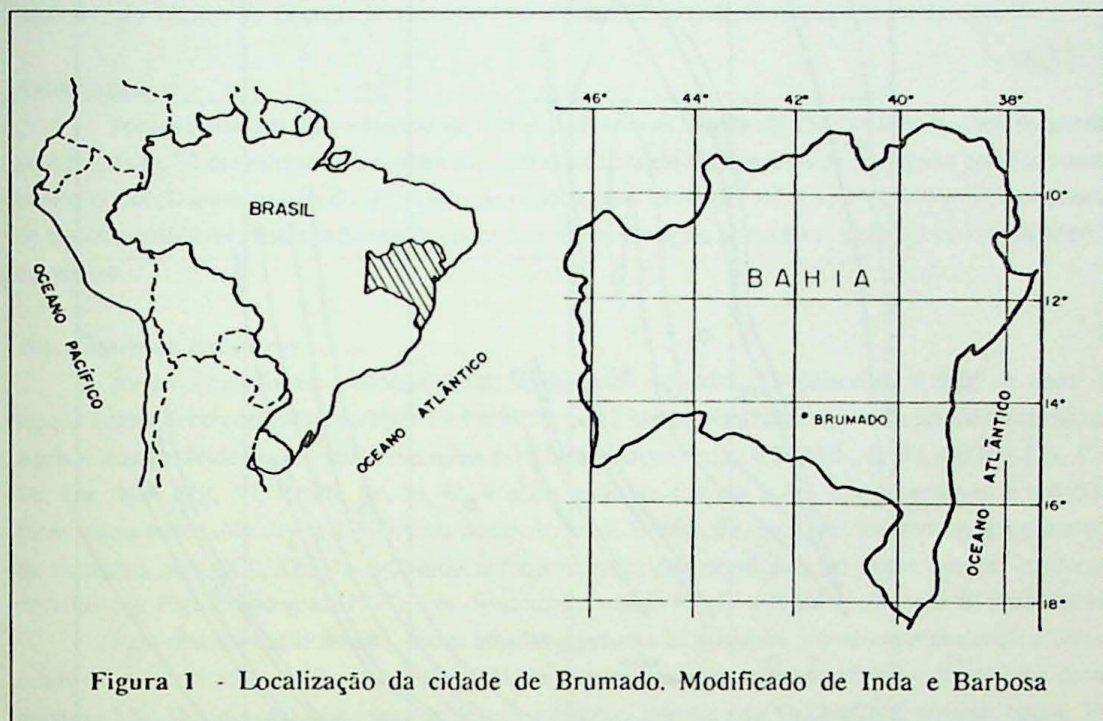


Figura 1 - Localização da cidade de Brumado. Modificado de Inda e Barbosa

A sequência que contém os magnesititos pertence ao Grupo Serra das Éguas, unidade superior do Complexo de Brumado (PEDREIRA, et al. 1975) e (MASCARENHAS et al. 1984), tida como do Proterozóico Inferior. O complexo de Brumado compreende quartzitos, xistos, filitos, calcários, dolomitos, magnesititos, itabiritos, anfíbolitos e gnaisses, tendo sido estudado apenas a nível de reconhecimento. Seu embasamento, de idade arqueana, compreende diversas litologias da fácies anfíbolito e granulito. O Grupo Serra das Éguas, apesar da importância econômica dos depósitos de magnesita e do pólo industrial aí instalado (indústrias de refratários) é praticamente ausente da literatura, sendo o único trabalho de importância o de Bodenlos (1954). Este Grupo compreende uma sequência metassedimentar com calciossilicáticas, quartzitos, dolomitos, magnesititos e delgada formação ferrífera. Ocorrem ainda numerosas intercalações de rochas anfíbolíticas, prováveis metavulcânicas básicas. Esta sequência foi metamorfisada na fácies anfíbolito e apresenta-se verticalizada e deformada, localmente com presença de transposição.

Os depósitos de magnesita ocorrem sob forma lenticular, com dezenas a poucas centenas de metros de largura e comprimentos de centenas a poucos milhares de metros. No depósito estudado, a Mina de Campo de Dentro (Figura 2), os magnesita-mármoreos são brancos a cinza-claro, maciços, com raras intercalações dolomíticas. As encaixantes são rochas dolomíticas no geral bandadas a laminadas,

com presença de chert, que passam a siliciclásticas. Há presença de escapolita, que foi interpretada como resultado de metamorfismo sobre argilas halíticas (HIETANEN, 1963), indicando fácies evaporíticas. Há, finalmente, diversas intercalações de anfibolitos, prováveis metavulcânicas básicas.

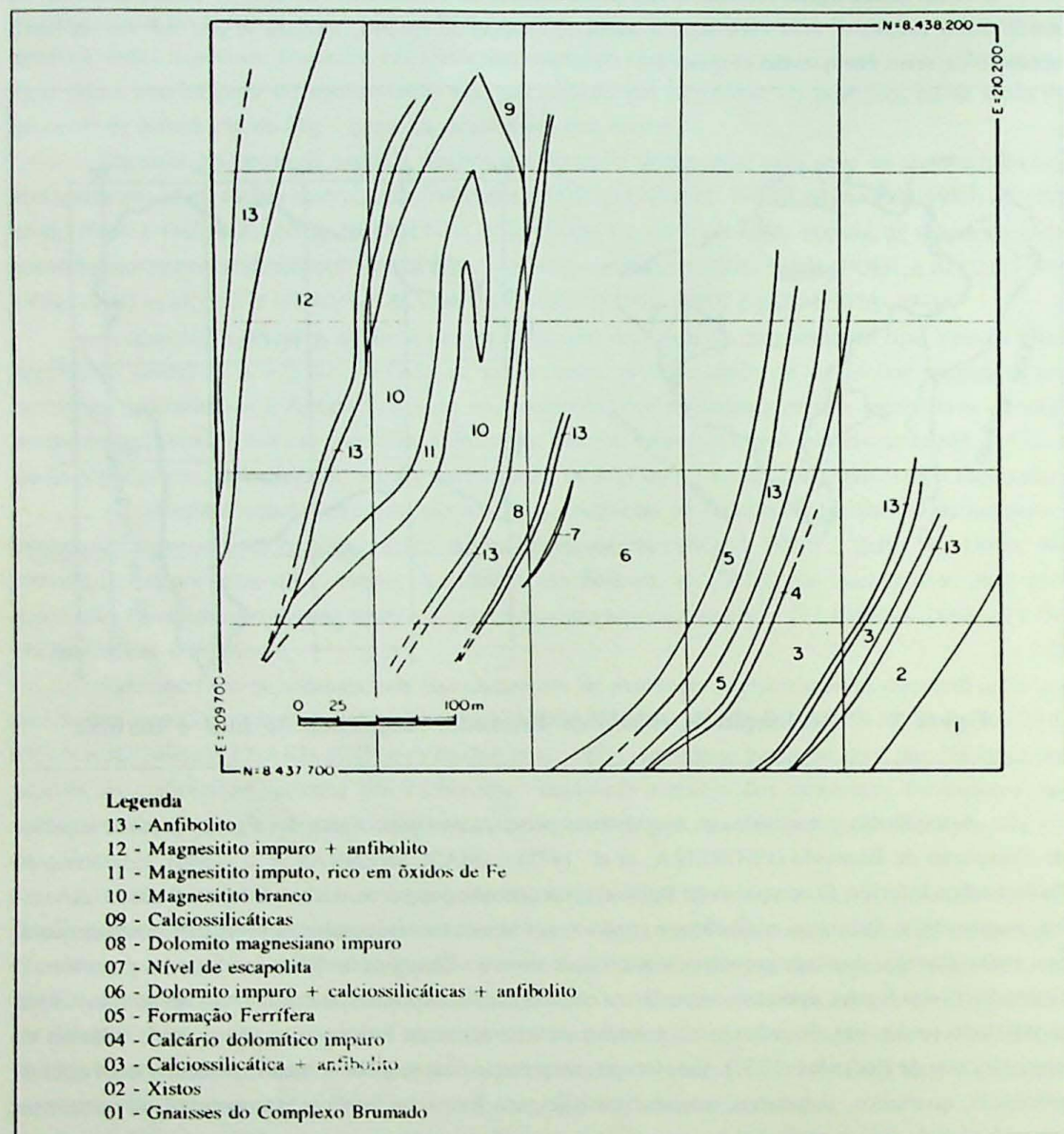


Figura 2 - Esboço Geológico da Mina de Campo de Dentro

METODOLOGIA

Os equipamentos utilizados foram espectrômetro de emissão atômica de plasma induzido (ICP-AES) JARREL-ASH 975 ICAP, equipado com computador PC (Microtec) e espectrômetro de absorção atômica (AAS) PERKIN-ELMER 503, equipado com registradores RADIOMETER-COPENHAGEM REC-61, do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) da Universidade de São Paulo.

Amostragem

Foram coletadas 306 amostras de rochas carbonáticas, das quais 294 em testemunhos de sondagem rotativa e 11 em afloramentos. Para a amostragem feita em testemunhos de sondagem pode-se contar com o conhecimento prévio do quimismo do depósito nos teores em Al, Ca, Mg, Mn e Si, bem como do resíduo insolúvel. Estas informações permitiram à amostragem abranger o espectro de razões Mg/Ca existentes.

Procedimentos Analíticos

As amostras foram moídas a 150#, sendo então extraídas 2 alíquotas de 0,500g de cada. O ataque ácido, feito com 50ml de HCl 1+1 a 70°C, por 2 horas, visou abrir apenas a fração carbonática. Após o ataque ácido foram feitas diluições a 1:100 e dosagem, por ICP-AES, de Al, B, Ba, Co, Cu, Fe, Ga, Mn, Mg, Ni, P, Pb, Sr, Ti, U, V e Zn, e de Na e K por AAS. Posteriormente as soluções foram novamente diluídas, a 1:500, para dosagem, em ICP-AES, de Ca e Mg. Em todo o procedimento de dosagem pelo ICP-AES foi utilizado um corretor de background do tipo dupla leitura, conforme definido por Figueiredo et al (1985). Foi, finalmente, dosado F pelo método de eletrodo de íon seletivo.

Para determinação do R.I. foram secadas e pesadas 20 amostras previamente atacadas. Comparando-se os resultados obtidos com os calculados estequiometricamente, verificaram-se desvios de no máximo 5%. Decidiu-se assim, para as demais amostras, calcular esta variável por estequiometria. Foi estabelecida uma escala arbitrária para a granulação, variando de 0,5 (afanítica) a 4,5 (muito grossa).

Princípios do Método

Tendo em vista a contribuição diferenciada de metapelitos nas rochas estudadas e a pobreza em elementos-traço característica dos magnésitos, considerou-se a abertura parcial das amostras como caminho indicado para evitar a obliteração dos teores em microcomponentes devidos aos carbonatos.

A necessidade de um número relativamente grande de amostras deve-se às características do ambiente esperado para estas rochas. Águas rasas implicam em variações, sazonais ou não, das características físico-químicas da solução precipitadora e, por consequência, do precipitado. A inevitável dispersão dos resultados, que dificultaria qualquer análise de tendências, sugeriu o agrupamento em classes de intervalos da razão Mg/Ca, uma vez que estes cátions, majoritários nos carbonatos estudados, refletem necessariamente os ambientes/processos formadores das rochas. Assim, a cada classe de razão Mg/Ca devem-se associar ambientes/processos predominantes. Para a definição das classes deu-se prioridade a uma distribuição equilibrada do número de análises por classe (em torno de 50, o que fornece representatividade estatística para cada classe), em detrimento a uma definição baseada em intervalos sistemáticos da razão Mg/Ca. O fato das populações não serem estritamente iguais deve-se à existência de grupos de

amostras de igual razão Mg/Ca.

Foram então definidas onze classes, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes e respectivos intervalos da razão Mg/Ca e n° de análises

Classe	Intervalo Mg/Ca	N° de Análises
1	< 0,5	48
2	0,50 - 0,56	51
3	0,57 - 0,99	53
4	1,0 - 10	51
5	10 - 30	56
6	30 - 45	47
7	45 - 55	52
8	55 - 70	56
9	70 - 90	55
10	90 - 115	51
11	> 115	57

Para análise dos resultados, foram considerados dois processos bem conhecidos na química analítica e de importância na precipitação de carbonatos: a **co-precipitação** e a **maturação de precipitados**. Estes processos ocorrem de forma notavelmente diferenciada em soluções hiper e hipossaturadas e compõem a base da interpretação dos resultados.

A coprecipitação de impurezas é mais intensa em precipitações rápidas a partir de soluções hipersaturadas, dando-se preferencialmente quando o íon adsorvido à superfície do cristal forma um composto insolúvel ou pouco solúvel com íon de carga oposta e pertencente à rede (KOLTHOFF et al., 1989).

A maturação do precipitado implica na purificação do cristal em crescimento, através da substituição de íons estranhos à rede, adsorvidos na superfície do sólido, pelo íon dominante na solução. Este processo é tão mais eficiente quanto mais lenta for a precipitação, formando cristais maiores, mais puros e bem formados.

Pode-se assim concluir que soluções de maior salinidade formam cristais menores e com maior teor em impurezas coprecipitadas, enquanto soluções diluídas implicam maior eficiência da maturação de precipitado e menor coprecipitação de microcomponentes, formando cristais maiores.

RESULTADOS

Por problemas de contaminação durante os procedimentos analíticos foram abandonadas 35 soluções, restando 577 análises para os elementos escolhidos. Destes, Ga, K e U apresentaram problemas técnicos em sua dosagem, enquanto Co, Pb e Ti estiveram sistematicamente abaixo dos limites de detecção.

Os resultados apresentaram grande dispersão e a comparação com a razão Mg/Ca não evidenciou correlações nítidas para a maior parte dos casos. Após o agrupamento das análises segundo os intervalos de razão Mg/Ca anteriormente definidos (Tabela 2), verificou-se haver tendências para quase todas as

variáveis estudadas, conforme exemplificado nos diagramas apresentados na Figura 3.

Tabela 2 - Média dos teores dos 15 elementos analisados, da razão Mg/Ca, do resíduo insolúvel (R.I.) e da granulação (GRAN.) segundo os intervalos de razão Mg/Ca definidos na Tabela 1. N° se refere ao número de análises em cada classe. Ca, Mg e Fe tem teores expressos em % e os demais elementos em ppm.

POP.	N°	Mg/Ca	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Cu	Ni	Zn	V	Ba	B	Sr	P	K	F	R.I.	GRAN.
1	48	.38	14.00	5.49	1.09	2192	371	1.65	11.30	12.90	18.50	5.67	3.81	8.10	5.21	297	650	43.20	1.23
2	51	.54	17.40	9.50	1.58	2986	104	3.02	5.57	6.10	18.10	1.75	1.96	10.50	3.53	28	157	19.90	1.21
3	53	.65	16.10	10.20	1.58	2547	407	23	10.50	11.30	14.60	3.68	3.06	14.40	5.57	281	661	20.40	1.32
4	51	4.04	7.38	18.10	2.30	2205	621	5.80	25.80	9.94	18.90	1.55	6.27	13.90	65.90	92	108	13.40	1.57
5	56	19.60	1.29	22.90	1.95	1708	474	4.95	23.80	7.63	17.30	1.50	6.77	2.82	112.00	37	181	13.10	1.41
6	47	38.20	62	23.40	1.30	1127	445	4.53	21.10	7.23	13.30	1.13	4.43	1.40	106.00	67	157	14.30	1.72
7	52	51.40	48	24.70	93	817	366	7.31	18.20	7.52	2.60	88	5.81	1.54	99.00	36	120	11.10	1.77
8	56	62.10	41	25.30	68	609	229	3.82	11.50	3.82	0.00	52	3.16	1.07	109.00	40	62	9.91	1.89
9	55	80.40	31	24.90	79	741	292	2.29	10.70	6.13	0.00	82	3.33	87	104.00	61	127	11.10	1.57
10	51	103.00	25	25.30	87	756	223	1.29	10.40	5.16	0.00	65	2.92	43	94.50	32	42	9.52	1.90
11	57	145.00	18	25.20	78	720	175	3.05	10.90	5.39	35	53	3.19	30	118.00	29	48	10.30	1.69

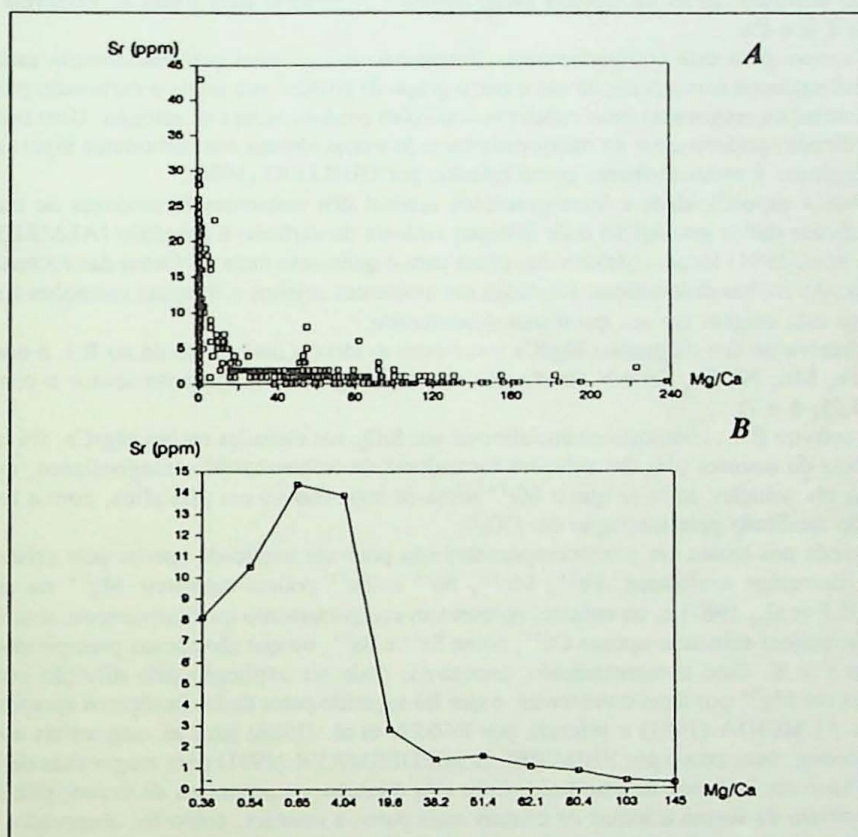


Figura 3 - Diagrama Mg/Ca x Sr com os dados brutos (A) e agrupados em classes (B)

DISCUSSÃO

A grande dispersão dos resultados pode ser explicada pela presença de diferentes carbonatos (magnesita, dolomita, siderita, calcita) coexistentes, porém não estritamente cogenéticos. Assim, cada fase mineral teria se formado em diferentes condições físico-químicas, resultantes, por exemplo, da

alternância de fases mais úmidas e mais secas (alterando a salinidade total), da atividade algal (refletindo-se no pH), etc. Este aspecto foi discutido por NORTHROP & CLAYTON (1966), O'NEIL & EPSTEIN (1966), BOTZ & VON DER BORCH (1984) e ALMEIDA (1991) no tocante à composição isotópica do carbono e oxigênio, mas pode ser transposto para o quimismo da fração carbonática de rochas.

A presença de importantes trocas iônicas pós-sedimentares em minerais carbonáticos, aventada por autores como POTTER et al. (1963), seria particularmente efetiva em seqüências metamorfisadas, mas encontra evidências contrárias na literatura, como em PERRY & TAN (1972), GUILLOU (1980) e ALMEIDA (1991). Nesta pesquisa a presença de amostras contíguas e com composições químicas contrastantes, tanto em elementos maiores e menores como em traços, também sugere haver um registro, ao menos parcial, das condições físico-químicas reinantes na precipitação.

Os resultados da Tabela 2 evidenciam dois grupos de classes de características bem definidas. As rochas de baixa razão Mg/Ca caracterizam-se, em sua maior parte, por um comportamento irregular e sem padrão definido. Já as de elevada razão mostram tendências para todas as variáveis estudadas, exceção feita a B e Cu.

As causas para este comportamento diferenciado devem estar prioritariamente associadas aos ambientes sedimentares formadores de um e outro grupo de rochas, nos quais o carbonato predominante (calcita, dolomita, ou magnesita) deve refletir as condições predominantes na solução. Uma outra possível causa, subordinada, poderia estar na maior resistência às trocas iônicas dos carbonatos hipermagnesianos durante a diagênese e metamorfismo, como referido por GUILLOU (1980).

A maior especificidade e homogeneidade sazonal dos ambientes formadores de magnesititos, conforme indicam dados geológicos e de isótopos estáveis de carbono e oxigênio (ALMEIDA 1991) e (ALMEIDA et al. 1991) foram considerados causa para o quimismo mais uniforme das rochas de elevada razão Mg/Ca. As rochas dolomíticas, formadas em ambientes sujeitos a intensas variações físico-químicas, registram esta origem em seu quimismo desordenado.

A observação dos diagramas Mg/Ca x variáveis evidencia notável queda no R.I. e nos teores em Al, Ba, F, Fe, Mn, Ni, Sr, Zn e V em direção ao polo magnesiano, enquanto ocorre o contrário para P (Figuras 4, 5, 6 e 7).

A queda no R.I., composto essencialmente por SiO₂, nas elevadas razões Mg/Ca, foi interpretada como evidência de maiores pHs das soluções formadoras de carbonatos hipermagnesianos, onde a sílica permaneceria em solução. Sabe-se que o Mg²⁺ torna-se mais reativo em pHs altos, com a formação de MgCO₃ sendo facilitada pela saturação em CO₃²⁻.

A queda nos teores em microcomponentes não pode ser explicada apenas pela cristaloquímica. Assim, dos elementos analisados, Fe²⁺, Mn²⁺, Ni²⁺ e Zn²⁺ podem substituir Mg²⁺ na estrutura de MgCO₃ (WOLF et al., 1967) e, no entanto, apresentam comportamento qualitativamente semelhante com elementos que podem substituir apenas Ca²⁺, como Sr²⁺ e Ba²⁺, ou que são apenas precipitados conjuntamente, como F e K. Este comportamento, entretanto, pode ser explicado pela diluição crescente das soluções ricas em Mg²⁺ por água continental, o que foi sugerido pelos dados isotópicos apresentados para esta área em ALMEIDA (1991) e referido por ROSEN et al. (1988) para as magnesitas atuais e sub-atuais do Coorong, bem como por FRIMMEL & NIEDERMAYER (1991) para magnesitas de Paleozóico Alpino com base em isótopos de estrôncio. Com esta diluição, os processos de coprecipitação e maturação interfeririam de forma a tornar os cristais mais puros e maiores, como foi observado.

O comportamento semelhante de elementos com afinidades químicas (Fe-Mn-Ni e Ba-Ca-Sr) sugere uma origem comum, por precipitação química, com ausência de importantes trocas iônicas posteriores à formação do precipitado e sua maturação. Estes elementos ocorrem em faixas de teores muito diferentes, implicando diferentes susceptibilidades frente a alterações tardias de quimismo das rochas, uma vez que tais processos, ao não refletirem as condições da precipitação, tenderiam a afetar mais fortemente os fons menos presentes.

Pode-se prever, a partir de modelos de literatura, uma precipitação fracionada que torna a solução remanescente mais magnesianiana em direção ao fundo do sistema deposicional. Da mesma forma, pode-se também inferir uma queda nos teores dos diversos elementos nas soluções, uma vez que estes seriam coprecipitados ou precipitados conjuntamente com os carbonatos mais ricos em Ca²⁺, enquanto

que o Mg^{2+} , menos reativo, ficaria em solução.

O comportamento do P, anômalo em relação aos demais, é passível de explicação por duas hipóteses não excludentes, baseadas em aspectos paleoambientais particularmente bem documentados na literatura para o sistema Coorong, no Sul da Austrália, onde há precipitação atual de magnesita:

- a associação aos magnesititos de intensa atividade algal (ALDERMAN 1965) e (VALDYIA 1969) e bacteriana (aventado por ROSEN et al. 1988);
- a alta alcalinidade das bacias formadoras de magnesititos (ALDERMAN 1965) faria precipitar os compostos ácidos de fósforos, comuns em águas marinhas, sob a forma fosfato de magnésio. Nos ambientes sedimentares formadores das rochas dolomíticas estes compostos permaneceriam em solução por serem muito mais solúveis que $MgCa(CO_3)_2$. A relativa estabilidade dos teores de P nas elevadas razões Mg/Ca pode ser explicada pela limitação da disponibilidade deste elemento na solução, que já teria sido integralmente precipitado (Figura 7).

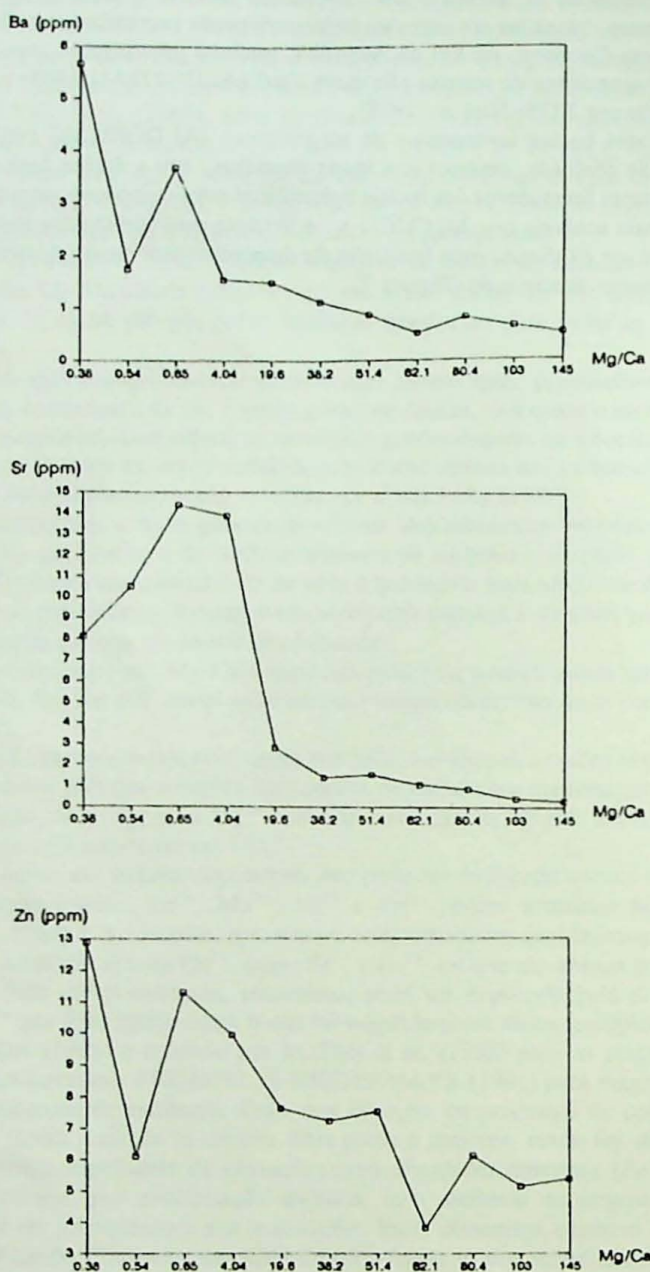


Figura 4 - Diagramas Mg/Ca x Ba, Sr, Zn.

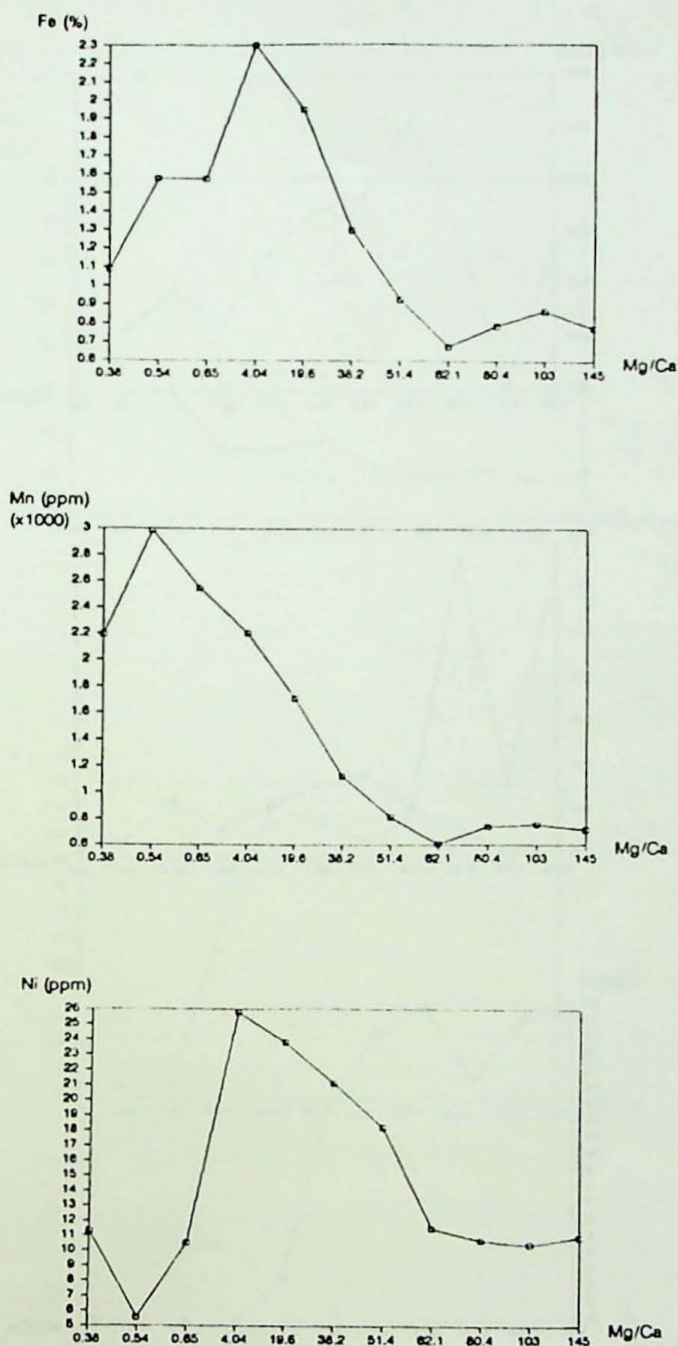


Figura 5 - Diagramas Mg/Ca x Fe, Mn, Ni.

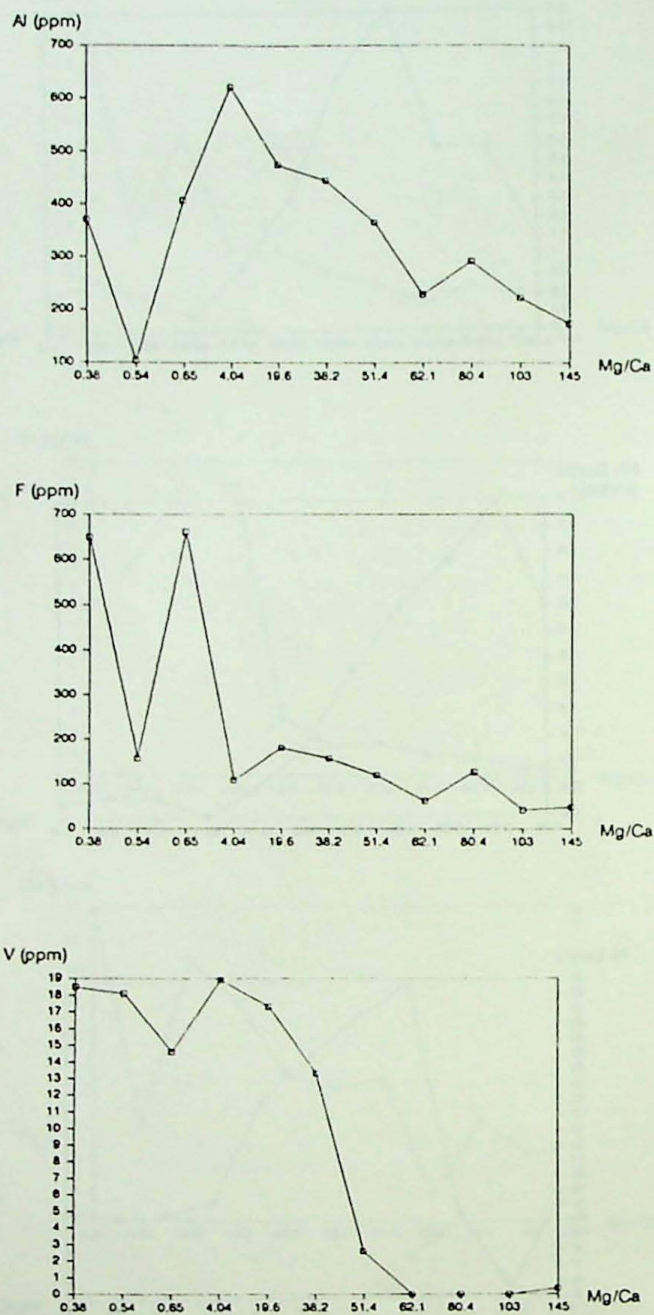


Figura 6 - Diagramas Mg/Ca X Al, F, V.

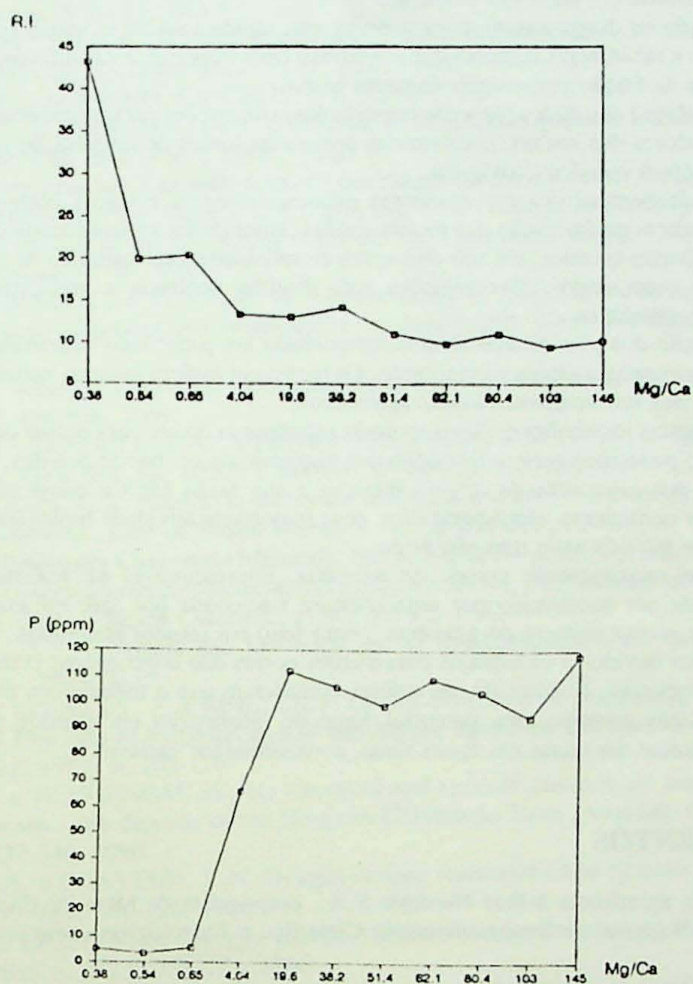


Figura 7 - Diagramas Mg/Ca x Resíduo Insolúvel (R.I.) e P. Observar comportamentos do P. e R.I., inversos aos dos demais cátions relacionados nas figuras anteriores.

CONCLUSÕES

Os dados indicam haver registro dos ambientes sedimentares no quimismo da fração carbonática das rochas estudadas, apesar do metamorfismo. Indicam ainda a necessidade de se utilizar aberturas parciais e de agrupar amostras, segundo classes de razão Mg/Ca, para a visualização de tendências, tendo em vista a variabilidade em cada sub ambiente.

A utilização de diagramas binários permite uma rápida associação visual do comportamento de vários cátions com a razão Mg/Ca, razão que é o reflexo mais importante das diferenças de ambiente/processo na formação da fração carbonática daquelas rochas.

A interpretação dos dados forneceu importantes informações para o conhecimento dos ambientes e processos formadores das rochas, confirmadas por outras fontes de informação independentes, como a composição isotópica e dados geológicos.

A partir da composição em elementos maiores, menores e traços pode-se inferir diferentes ambientes sedimentares na formação das rochas citadas. Estes dados indicam ainda compatibilidade com origem por precipitação química, em sub-ambientes de salinidade total variando de forma dependente da razão Mg/Ca dos precipitados. Nas soluções mais diluídas ocorreria a precipitação preferencial de carbonatos hipermagnesianos.

A maturação dos precipitados teria desempenhado um papel mais importante nos magnesititos, inferido pela maior pureza química e granulação. Os teores em fósforo indicam maior atividade biológica e/ou maiores pHs nos sub-ambientes hipermagnesianos.

A partir destas indicações e com o apoio da literatura existente para outros depósitos de magnesita do tipo Veitsch, pode-se sugerir a formação dos magnesititos em bacias perenes, tidais e supratidais, alimentadas tanto por salmouras de origem marinha e alta razão Mg/Ca como por água continental, formando soluções certamente não hipersalinas, com importante atividade biológica e elevados pHs. O clima à época deve ter sido seco mas não árido.

O número relativamente grande de amostras, imprescindível na realização deste trabalho, provavelmente pode ser substituído por uma abertura fracionada por fase mineral (calcita-dolomita-magnesita) em um menor número de amostras, como feito em estudos isotópicos. Desta forma seriam eliminados os teores devidos a carbonatos coexistentes porém não cogenéticos, criando um conjunto de dados de menor dispersão. Finalmente, os autores consideram que o método ora proposto necessita de desenvolvimento, mas compõe uma potencial fonte de informação em estudos paleo-ambientais de seqüências carbonáticas formadas em águas rasas, com salinidade variável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Ibar Nordeste S.A., proprietária da Mina de Campo de Dentro e ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALDERMAN, A.R. Dolomitic sediments and their environment in the South-East of South Australia. *Geoch. Cosmoch. Acta*, v. 29, p. 1355-1365, 1965.
- ALMEIDA, T.I.R. Magnesita do depósito de Campo de Dentro, Serra das Éguas, Bahia: geoquímica e gênese. São Paulo: USP/IG, 1991 (Tese de Doutorado). 153p. anexos, inédito.
- ALMEIDA, T.I.R.; BERGAMIM, H e MOREIRA, M.Z. The genesis of the Campo de Dentro magnesite deposit: stable isotopes and major, minor and trace elements. In: Pagel, M. e Leroy, J.L. (Eds.). *Source, transport and deposition of metals*. Rotterdam, Ed. A.A. Balkema, 1991, p. 297-300.

- AHARON, P. A stable-isotope study of magnesites from the Rum Jungle uranium field, Australia: implications for the origin of strata-bound massive magnesites. **Chemical Geol.**, v. 69, p. 127-145, 1988.
- BODENLOS, A.J. Magnesite deposits in the Serra das Éguas, Brumado, Bahia, Brazil. **U.S. Geol. Survey Bull.**, v. 975, p. 87-170, 1954.
- BONE, Y. Interpretation of magnesites of Rum Jungle, N.T., using fluid inclusions. **Journ. Geol. of Australia**, v. 30, p. 375-381, 1983.
- BOTZ, R.W. e VON DER BORCH, C.C. Stable isotope study of carbonate sediments from the Coorong Area, South Australia. **Sedimentology**, v. 31, p. 837-849, 1984.
- FIGUEIREDO, B.R.; JACINTHO, A.O.; REIS, B.F.; ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J.; GINÉ, M.F.R. ARAÚJO, M. C. U.; PEREIRA, N.M. e BRUNS, R.E. **Análise química de rochas por ICP-AES**. Campinas, Editora da UNICAMP, 1985. 135 p.
- GUILLOU, J.J. **Contribution à la métallogénie des magnesites. Exemple du Cambrien espagnol**. Paris: Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), 1980 (Tese de Doutorado), 155p. inédito.
- HIETANEN, A. Scapolite in the Belt Series in the St. Joe-Clearwater Region, Idaho. **Geol. Surv. of Am., Special Paper**, v. 86, 1963.
- KIESL, W.; KOEBERL, C. e KORNER, W. Geochemistry of magnesites and dolomites at the Oberdorf/Laming (Austria) deposit and implications for their origin. **Geol. Rundschau**, v. 79, n. 2, p. 327-335, 1990.
- KINSMAN, D.J.J. Interpretation of Sr concentrations in Carbonate Minerals and Rocks. **Jour. Sed. Petrol.**, v. 39, p. 486-508, 1969.
- KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; MEEHAN, E.J. e BRUCKENSTEIN, S. **Quantitative Chemical Analysis**. New York, Ed. Mc Millan Company, 4ª Edição, 1989. 1199 p.
- LAND, L.S. e HOOPS, G.K. Sodium in carbonate sediments and rocks: a possible index to the salinity of diagenetic solutions. **Jour of Sedim Petrol.**, v. 43, p. 614-617, 1973.
- LIPPMAN, F. **Sedimentary Carbonate Minerals**. Berlin-Heidelberg, Ed. Springer-Verlag, 1973. 215p.
- LLARENA, J.G. Observaciones complementarias y experimentales sobre la magnesita sedimentaria. **Inst. Geol. Min. de Espana, Notas Comuns.**, v. 66, p. 5-35, 1962.
- MASCARENHAS, J.F. Província São Francisco. In: **O Pré-Cambriano no Brasil**. São Paulo, Ed. Edgar Blucher, 1984, 318p.
- MORTEANI, G.; SCHELEY, F. e MOLLER, P. On the formation of magnesite. In: Schneider, H.J., (Ed.) **Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe**. Berlin Heidelberg, Ed. Springer-Verlag, 1983, p. 105-116.
- MORTEANI, G. e NEUGENBAUER, H. Chemical and tectonic controls on the formation of sparry magnesite deposits - the deposits of the Northern Greywacke Zone (Austria). **Geol. Rundschau**, v. 79, n. 2, p. 337-344, 1990.
- NORTHROP, D.A. e CLAYTON, R.N. Oxygen-isotope fractionation in systems containing dolomite. **Jour. Geol.**, v. 74, p. 174-196, 1966.
- O'NEIL, J. R. e EPSTEIN, S. Oxygen isotope fractionation in the system dolomite-calcite-carbon dioxide, **Science**, v. 152, p. 198-201, 1966.
- PEDREIRA, A.J.; OLIVEIRA, J.E. de; SILVA, B.C.E. e PEDROSA C.J. **Geologia da bacia do Rio de Contas, Projeto Bahia**. Companhia Bahiana de Pesquisa Mineral. Secretaria das Minas e Energia. Salvador. 1975.
- PERRY, E.C. e TAN, F.C. Significance of oxygen and carbon isotope variations in Early Precambrian cherts and carbonate rocks of Southern Africa. **Geol. Soc. of Am. Bull.**, v. 83, p. 647-664, 1972.
- POHL, W. Genesis of magnesite deposits; models and Trends. **Geol. Rundschau**, v. 79, n. 2, p. 291-299, 1990.
- POHL, W. e SIEGL, W. Sediment-hosted magnesite deposits. In: K.H. Wolf (ed.). **Handbook of Stratiform and Stratabound Ore Deposits**. Amsterdam, Ed. Elsevier, 1986, p. 223-310.
- POTTER, P.E.; SHAMP, N.F. e WITTERS, J. Trace elements in marine and fresh water argillaceous sediments. **Geoch. Cosmoch. Acta**, v. 27, p. 669-674, 1963.

- RENARD, M. Etude Geochimique de la fraction carbonatée d'un facies de bordure de dépôt gypseux (Exemple du gypse Ludien du Bassin de Paris). *Sedim. Geol.*, v.13, p.191-231, 1975.
- ROSEN, M.R.; MISER, D.E. e WARREN, J.K. Sedimentology, mineralogy and isotopic analysis of Pellet Lake, Coorong region, South Australia. *Sedimentology*, v.35, p.105-122, 1988.
- SCHULZ, O. e VAVTAR, F. Genetic fabric interpretation of the magnesite deposit of Weissenstein (Hochfilzen, Tyrol). *Monograph Series on Mineral Deposits*, v. 28, p.115-134, 1989.
- VALDIYA, K.S. Origin of the magnesite deposits of Southern Pithoragarh, Kumaun Himalaya. *India Econ. Geol.*, v.63, p.924-934, 1968.
- VEIZER, J. e DEMOVIC, R. Strontium as a tool in Facies Analysis. *Jour. of Sedim Petrol.*, v.44, p.93-115, 1974.
- VEIZER, J.; LEMIEUX, J.; JONES, B.; GIBLING, M.R. e SAVELLE, J. Paleosalinity and dolomitization of a Lower Paleozoic carbonate sequence, Somerset and Prince of Wales Islands, Arctic Canada. *Canadian Jour. of. Earth Sc.*, v.15, p.1448-1461, 1978.
- VELASCO, F.; PESQUERA, A.; ARCE, R. e OLMEDO, F.A. Contribution to the ore genesis of the magnesite deposit of Eugui, Navarra (Spain). *Mineralium Deposita*, v.22, p.33-41, 1987.
- VON DER BORCH C.C. The distribution and preliminary geochemistry of modern carbonate sediments of the Coorong area, South Australia. *Geoch. Cosmoch. Acta*, v.29, p.781-799, 1965.
- WOLF, K.H.; CHILINGAR, G.V. e BEALES, F.W. Elemental composition of carbonate skeletons, minerals and rocks. In: CHILINGAR, G.V.. (Ed.). *Carbonate rocks: physical and chemical aspects*. Amsterdam, Elsevier Publishing Company, 1967. 413p.
- ZHANG, Q. Early Proterozoic tectonic styles and associated mineral deposits of the North China platform. *Precambrian Research*, v. 39, p. 1-29. 1988.

Recebido em: junho/1992

Aprovado para publicação em: agosto/1992