

Indicação Cronoestratigráfica, com Base em Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), das Formações Andirá (Bacia do Amazonas) e Cruzeiro do Sul (Bacia do Acre)

RENÊ RODRIGUES¹, ENIO SOLIANI JR.², TIKAE TAKAKI¹,
KEI SATO³ e KOJI KAWASHITA³

¹CENPES-PETROBRÁS, Cidade Universitária, Quadra 7,
Ilha do Fundão – 21949-900 Rio de Janeiro, RJ

²Instituto de Geociências da UFRGS, Campus do Vale – 91509-900 Porto Alegre, RS

³Instituto de Geociências da USP, Cidade Universitária – 05508-900 São Paulo, SP

*Manuscrito recebido em 24 de setembro de 1996; aceito para publicação em 16 de outubro de 1996;
credenciado por MILTON L. L. FORMOSO*

ABSTRACT

This paper presents some Sr isotope data ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios) from the Andirá Formation (Amazon Basin) and Cruzeiro do Sul Formation (Acre Basin) in northern Brazil. For the first one the analyzed materials were anhydrites found in the median portion of the stratigraphic unit. Limestones sampled in the basal portion were the rocks studied in the second unit. The results suggest, respectively, the Sakmarian and Asselian/Sakmarian stages for their depositions, both in the Lower Permian.

Key words: cronoestratigrafia, estratigrafia química, Bacia do Amazonas, Bacia do Acre, Formação Andirá, Formação Cruzeiro do Sul.

INTRODUÇÃO

A datação das seqüências permo-carboníferas das bacias sedimentares brasileiras sempre constituiu um assunto de freqüentes debates, principalmente quando se procurava estabelecer uma correlação cronoestratigráfica entre as diferentes bacias paleozóicas. Neste tipo de investigação, tornou-se comum a utilização do termo "Permo-Carbonífero" para as seqüências acumuladas neste intervalo de tempo, já que tal uso não era visto como problemático, que justificasse uma prioridade de estudo, considerando outras necessidades mais imediatas.

Com os trabalhos de Takaki & Rodrigues (1989), empregando isótopos de estrôncio, e de Lemos (1990), utilizando conodontes, verificou-se

que nas bacias do Solimões e do Amazonas não só a Formação Itaituba, mas também toda a Formação Nova Olinda pertenciam ao Pensilvaniano. Posteriormente, Altiner & Savini (1995), com base em fusulinídeos, aperfeiçoaram esta datação.

Estes dados levaram, então, ao questionamento das idades atribuídas às formações Andirá (Bacia do Amazonas), Cruzeiro do Sul (Bacia do Acre), Piauí e Pedra de Fogo (Bacia do Parnaíba) e Subgrupo Itararé (Bacia do Paraná).

Com o intuito de contribuir, pelo menos preliminarmente, para a solução destes problemas, selecionaram-se amostras de anidrita da porção média da Formação Andirá e de calcários da Formação Cruzeiro do Sul, nas quais determinaram-se os valores das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Os resultados conseguidos foram plotados na curva das variações isotópicas do estrôncio para os andares do Permian-

Correspondência para: Enio Soliani Júnior

no (Holser & Magaritz, 1987), visando a obtenção de dados cronoestratigráficos para as formações em estudo, que passam a ser apresentados neste artigo.

ISÓTOPOS DE ESTRÔNCIO

As variações, ao longo do tempo, da composição isotópica do estrôncio presente na água do mar constitui uma importante ferramenta de correlação e de datação estratigráfica. Isto se deve ao fato de que minerais formados a partir de precipitações químicas têm a mesma composição isotópica observada no fluido do qual se formou, sendo desprezível o fenômeno do fracionamento isotópico (Veizer *et al.*, 1983).

A concentração do estrôncio na água do mar é relativamente alta e seu tempo de residência oceânica é da ordem de 4×10^6 anos (Holland, 1978), bem mais longo do que o de homogeneização, ao redor de 10^3 anos (Broecker, 1963). Assim, os oceanos apresentam-se homogêneos com respeito ao estrôncio, fazendo com que a relação isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ seja a mesma em qualquer ponto do globo, para um determinado tempo geológico. É, portanto, uma razão que independe das fácies sedimentares consideradas e das latitudes de coleta, não requerendo, em adição, grande volume e quantidade de amostras para análise.

O estrôncio nos oceanos tem duas fontes primárias principais: a crosta continental e o manto superior, sendo a razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ maior na primeira. A crosta continental supre parte do estrôncio dissolvido (enriquecido em ^{87}Sr) nos oceanos, após intemperismo químico e transporte pelos rios, enquanto o manto superior libera este elemento (enriquecido em ^{86}Sr) principalmente por meio da atividade hidrotermal nas cadeias mesoceânicas e do intemperismo submarino de basaltos.

Segundo Koepnick *et al.* (1985), o aumento da razão isotópica do estrôncio na água do mar indica diminuição da contribuição de estrôncio de fontes oceânicas e/ou relativo aumento da influência de fontes continentais. Essa mudança reflete decréscimo de atividades nas cadeias oceânicas e das taxas de espalhamento dos fundos (Pitman, 1978) e pode sugerir também uma intensificação

nas orogenias continentais, resultando em aumento da erosão de fontes terrestres (Palmer & Elderfield, 1985).

Na última década, medidas bastante precisas da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram efetuadas em carapaças bem preservadas de macrofósseis e em calcários do Paleozóico Superior, o que possibilitou a construção de uma curva de flutuação das razões isotópicas do estrôncio para aquele intervalo de tempo (Burke *et al.*, 1982; Popp *et al.*, 1986; Holser & Magaritz, 1987). A utilização desta curva permitiu que realizássemos correlações e datações das unidades estratigráficas estudadas, previamente atribuídas ao Carbonífero Superior (Formação Cruzeiro do Sul) e ao Permiano Superior (Formação Andirá) com base em estudos de palinomorfos.

PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

As amostras de anidritas e calcários foram extraídas de testemunhos de sondagem e pulverizadas. Em laboratório químico do IG/UFRGS, foi dissolvido 0.1 g de rocha em 3 ml de ácido clorídrico 0.1 N, dos quais, após centrifugação, retirou-se uma alíquota de 1 ml. A esta porção adicionaram-se 3 ml de água oxigenada para eliminação de eventual matéria orgânica presente, passando-se à secagem da solução em cápsula de teflon. Novamente diluído o resíduo em HCl (2,5 N), deitou-se 1 ml da solução em coluna de resina catiônica, coletando-se a solução ácida no intervalo de concentração do estrôncio. Após nova secagem, o resíduo resultante foi analisado em espectrômetro de massa modelo VG 354 do Centro de Pesquisas Geocronológicas do IG/USP, utilizando-se como referência o padrão NBS-987.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

FORMAÇÃO ANDIRÁ (BACIA DO AMAZONAS)

A única idade disponível para esta unidade estratigráfica foi conseguida por Daemon & Contreiras (1971), com base em estudos de palinomorfos, que a atribuíram ao Permiano Superior.

Os resultados isotópicos que são apresentados nesta investigação (Tab. I) provêm de três amostras

TABELA I
Razões isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de amostras anidritas da
Formação Andirá, poço 1-AX-1-AM.

Profundidade (m)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
846	0.70804 (± 0.00009)
849	0.70810 (± 0.00006)
864	0.70782 (± 0.00007)

de anidrita da porção média da Formação Andirá, obtidas em testemunhos do poço 1-AX-1-AM, cuja localização é mostrada na figura 1.

Plotando-se estes valores isotópicos na curva de variação das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para o Permiano (Holser & Magaritz, 1987), conclui-se que o intervalo analisado pertence ao Permiano Inferior, Andar Sakmariano (Fig. 2). Esta idade, portanto, não corresponde àquela determinada palinologicamente por Daemon & Contreiras (*op. cit.*).

FORMAÇÃO CRUZEIRO DO SUL (BACIA DO ACRE)

Estudos palinológicos não publicados colocavam a Formação Cruzeiro do Sul no Carbonífero Superior. Estudos posteriores realizados por Savini (1991 – dados inéditos), utilizando fusulinídeos extraídos de um testemunho da porção basal desta unidade (poço 1-SD-1-AM – fig. 3), posicionaram-se no Permiano Inferior, Andar Wolfcampiano.

Para a determinação das razões isotópicas do estrôncio foram selecionadas amostras de calcários provenientes do poço 1-RM-1-AC, situado a aproximadamente 20 km a SW do 1-SD-1-AC (Fig. 3). Os resultados obtidos encontram-se listados na tabela II.

Tais valores isotópicos, quando plotados na curva de oscilação das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para o Permiano (Holser & Magaritz, *op. cit.*), permitem sugerir uma idade Asseliano para a base da Formação Cruzeiro do Sul e Sakmariano para o restante da unidade (Fig. 4). Estas determinações, embora dis-

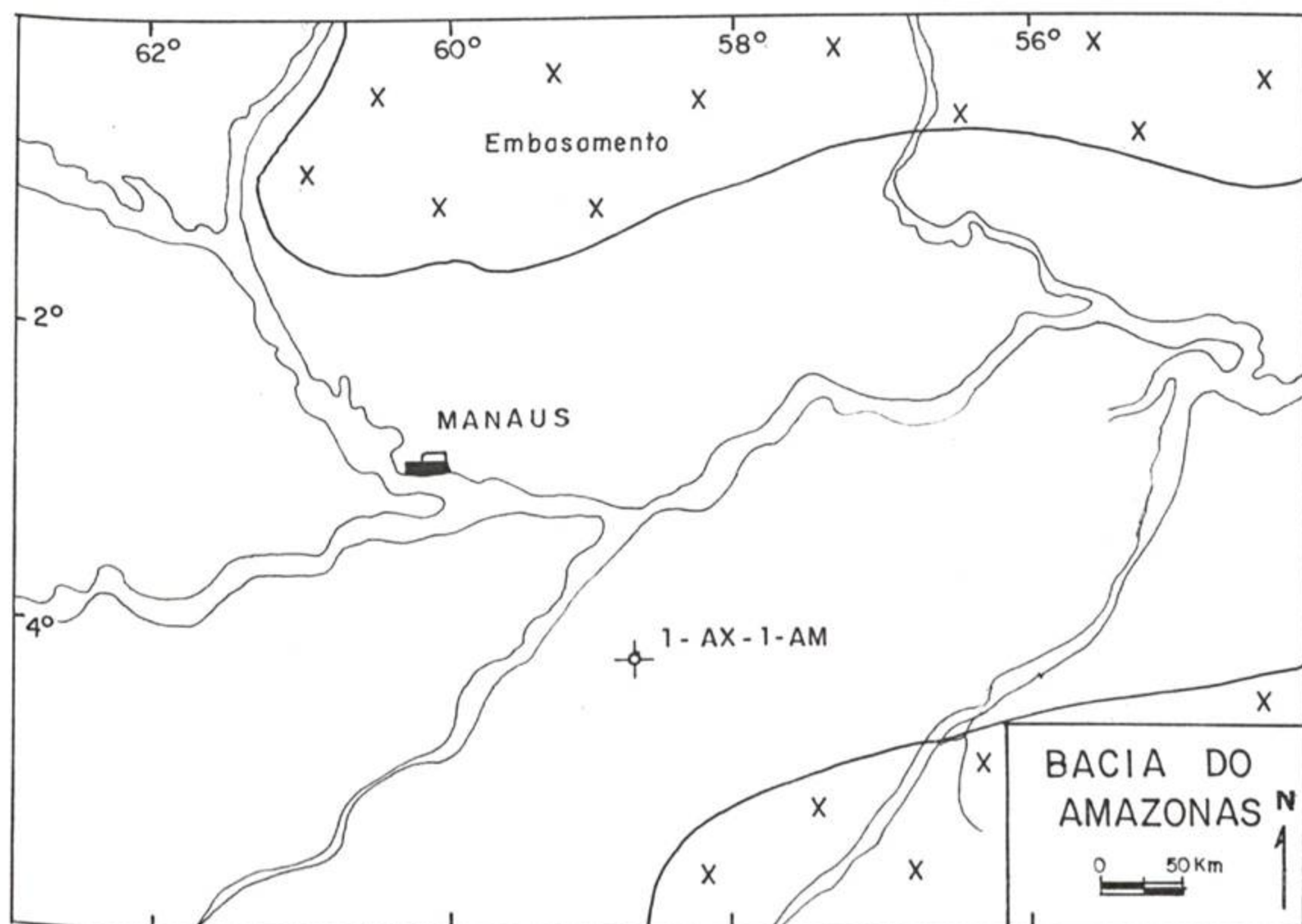


Fig. 1 — Localização do poço 1-AX-1-AM, na Bacia do Amazonas.

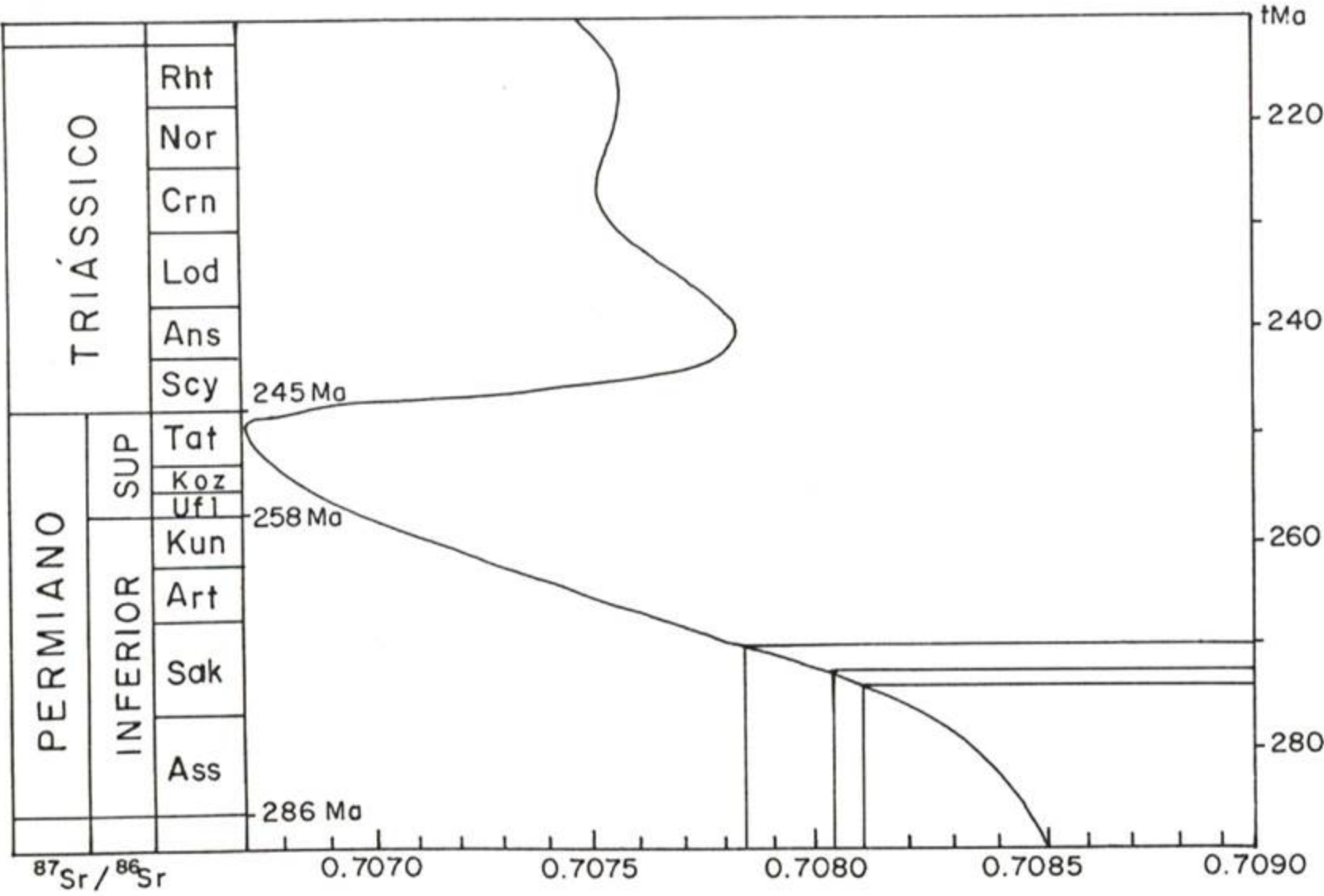


Fig. 2 — Dados isotópicos $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de amostras de anidrita da Formação Andirá, do poço 1-AX-1-AM, plotados na curva de Holser & Magaritz (1987).

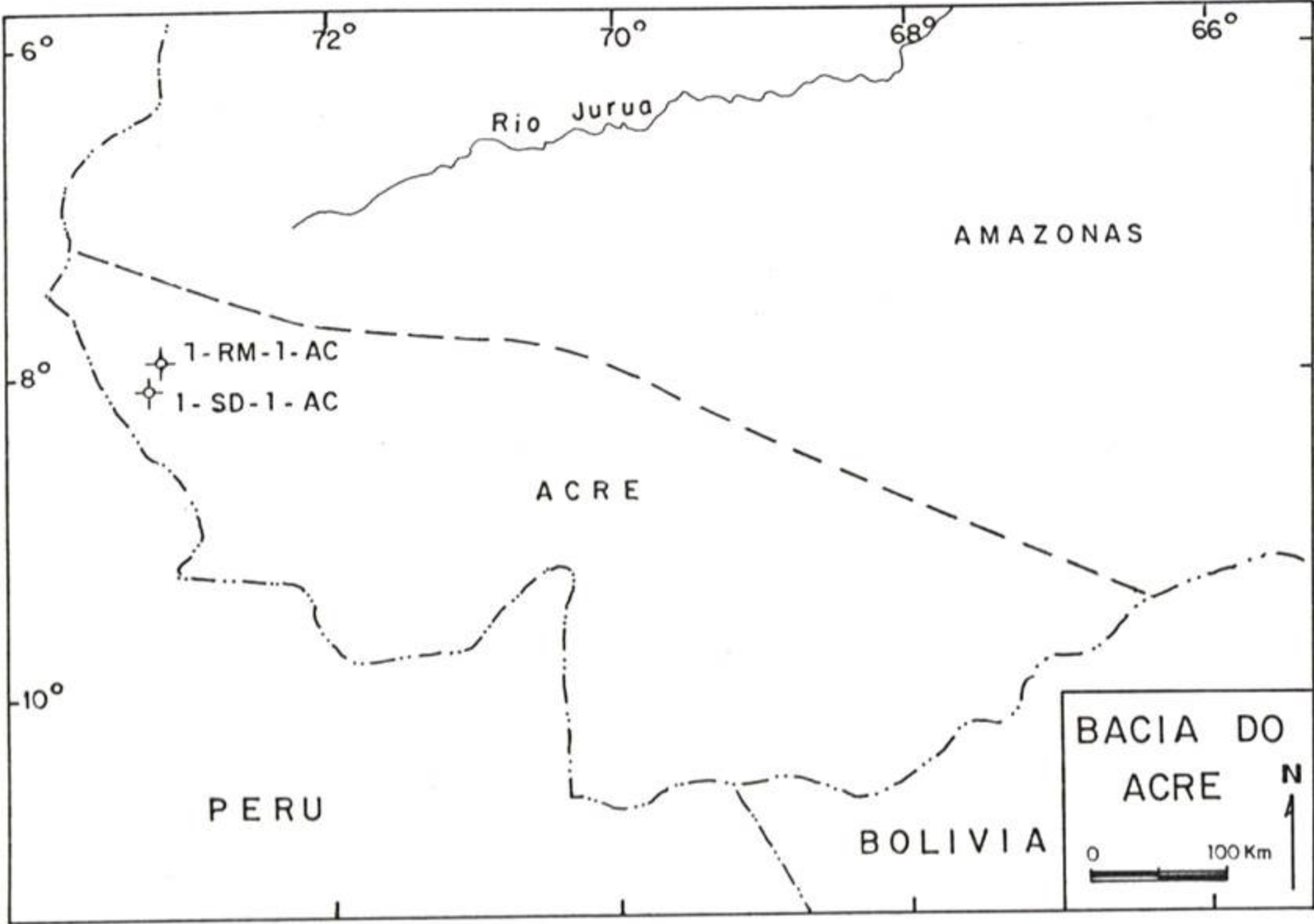


Fig. 3 — Localização dos poços 1-RM-1-AC e 1-SD-1-AC, na Bacia do Acre.

TABELA II
Razões isotópicas ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de amostras de calcários da
Formação Cruzeiro do Sul, poço 1-RM-1-AC.

Profundidade (m)	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr
3855	0.70809 (± 0.00005)
3873	0.70804 (± 0.00008)
3896	0.70812 (± 0.00008)
3915	0.70798 (± 0.00008)
3924	0.70811 (± 0.00006)
3987	0.70843 (± 0.00008)

tintas no que diz respeito aos andares, são coincidentes com a idade atribuída por Savini (*op. cit.*).

CONCLUSÕES

O estudo das relações isotópicas do estrôncio (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) de amostras de anidritas e de calcários, das formações Andirá (Bacia do Amazonas) e Cruzeiro do Sul (Bacia do Acre), respectivamente, per-

mite que se sugira uma idade Permiano Inferior para ambas as unidades.

Na Bacia do Amazonas, a parte média da Formação Andirá situar-se-ia no Andar Sakmariano, o que está em desacordo com os dados palinológicos que a colocam no Permiano Superior.

Na Bacia do Acre, por sua vez, a porção basal da Formação Cruzeiro do Sul pertenceria ao Asse-liano (base do Permiano Inferior), enquanto o restante da unidade poderia ser atribuído ao Sakmariano. Estes resultados corroboram as conclusões baseadas em fusulinídeos, que colocam a base desta formação no Permiano Inferior (Savini, 1991).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTINER, D. & SAVINI, R., (1995), *Pennsylvanian Foraminifera and Biostratigraphy of the Amazonas and Solimões basins (North Brazil)*. *Revue de Paléobiologie*, **14** (2): 417-453.

BROECKER, W. S., (1963), Radioisotopes and large-scale oceanic mixing. In: Hill, M. N. ed. *The Sea*. New York, Interscience, vol. 2, pp. 88-108.

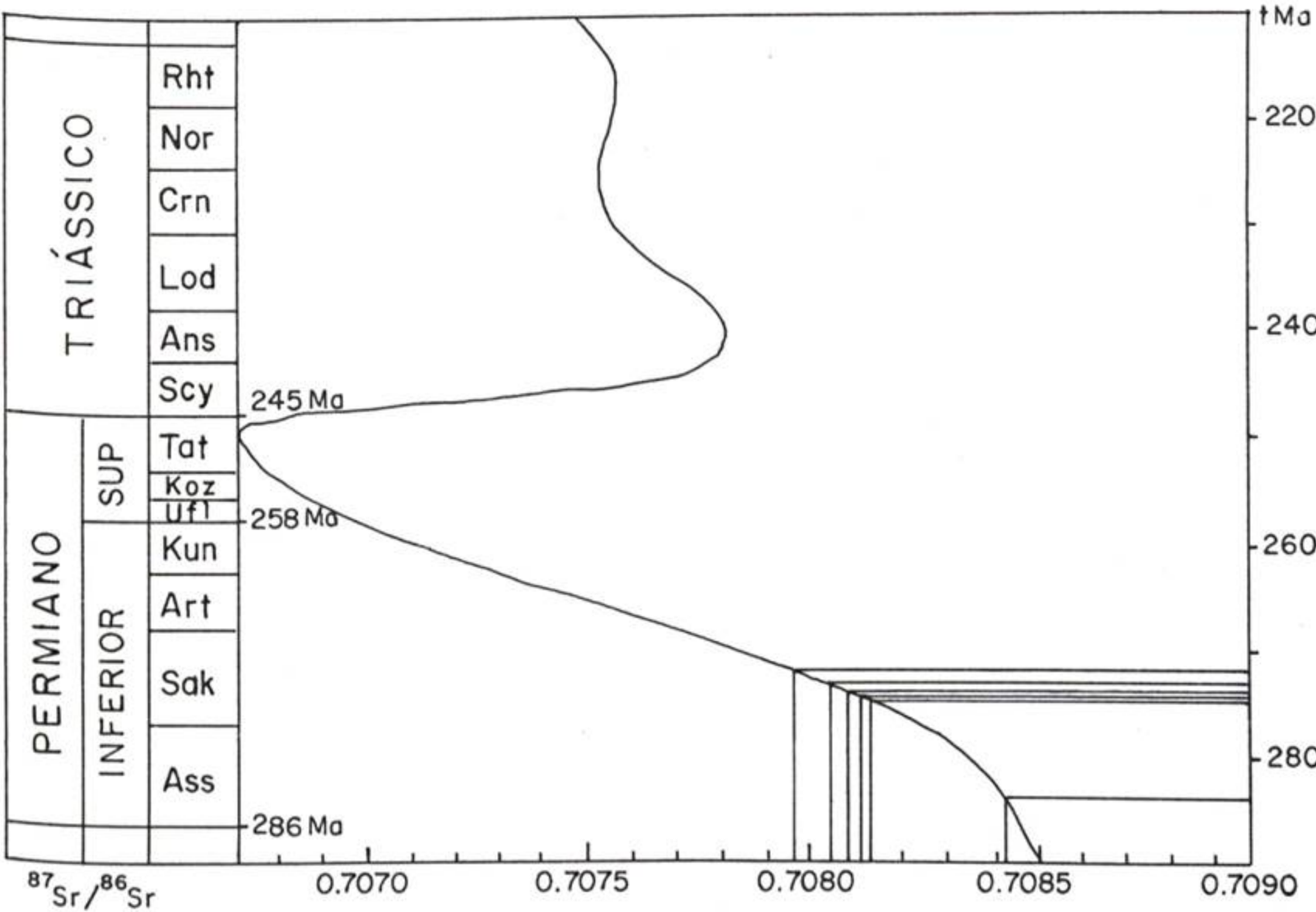


Fig. 4 — Dados isotópicos ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr de amostras de calcário da Formação Cruzeiro do Sul, do poço 1-RM-1-AC, plotados na curva de Holser & Magaritz (1987).

- BURKE, W. H.; DENISON, R. E.; HETHERINGTON, E. A.; KOEPNICK, R. B.; NELSON, H. F. & OTTO, J. B., (1982), Variation of sea water $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. *Geology*, **10**: 516-519.
- DAEMON, R. F. & CONTREIRAS, C. J. A., (1971), *Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas*. CENPES-PETROBRÁS, relatório interno 635A, Belém.
- HOLLAND, H. D., (1978), *The chemistry of the atmosphere and oceans*. John Wiley Ed., 351p., New York.
- HOLSER, W. T. & MAGARITZ, M., (1987), Events near the Permian-Triassic boundary. *Modern Geology*, **11**: 155-180.
- KOEPNICK, R. B.; BURKE, W. H.; DENISON, R. E.; HETHERINGTON, E. A.; NELSON, H. F.; OTTO, J. B. & WAITE, L. E., (1985), Construction of the sea water $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve for the Cenozoic and Cretaceous: supporting data. *Chemical Geology (Isotope Sec.)*, **58**: 55-81.
- LEMONS, V. B., (1990), *Assembléias de conodontes do Carbonífero da Bacia do Amazonas*. Porto Alegre. 259p. (Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências da UFRGS).
- PALMER, M. R. & ELDERFIELD, H., (1985), Sr isotope composition of sea water over the past 75 Myr. *Nature*, **314**: 526-528.
- PITMAN, W. C., (1978), Relationship between eustasy and stratigraphic sequences of passive margins. *Geological Society of America Bulletin*, **89**: 1389-1403.
- POPP, B. N.; PODOSEK, F. A.; BRANNON, J. C.; ANDERSON, T. F. & PIER, J., (1986), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in Permian-Carboniferous sea water from analyses of well-preserved brachiopods shells. *Geochem. Cosmochem. Acta*, **30**: 1321-1328.
- SAVINI, R., (1991), *Estudo preliminar do testemunho nº 2 do poço I-SD-I-AC por fusulinídeos*. Inédito.
- TAKAKI, T. & RODRIGUES, R., (1989), Strontium isotopic chronostratigraphy in Paleozoic section of Solimões Basin. In: *XII Intern. Geochemical Exploration Symposium and II Brazilian Geochemical Congress*, (abstract), Rio de Janeiro, p. 177.
- VEIZER, J.; COMPSTON, N.; CLAUSER, N. & SCHIDLOWSKI, M., (1983), $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Late Proterozoic carbonates: evidence for mantle event at 900 Ma ago. *Geochem. Cosmochem. Acta*, **48**: 1059-1070.