

Caracterização das águas da região de Marajó através de concentrações de O-18 e D

Carlos Moura dos Reis (*)
Antonio Carlos F. N. S. Tancredi (*)
Eiichi Matsui (**)
Enéas Salati (**)

Resumo

As pesquisas hidrológicas convencionais executadas pelo IDESP na região do arquipélago de Marajó, foi associado o estudo das variações naturais dos isótopos de hidrogênio e oxigênio das águas. Foram realizadas medidas das concentrações de Deutério e Oxigênio-18 em águas de precipitação, de rios, de lagos do interior da ilha de Marajó e das águas superficiais circundantes da mesma. Os dados obtidos são discutidos no que concerne à aplicabilidade dessas técnicas aos estudos hidrológicos da região de Marajó. A diferença de composição isotópica entre as águas do rio Amazonas na orla norte e as águas da baía de Marajó na orla sul aparece nitidamente, não obstante o aporte de águas do rio Amazonas para a baía de Marajó detectado através das análises isotópicas das águas no "Furo" de Breves. As águas superficiais internas da ilha apresentam composições isotópicas ligeiramente diferentes das águas pluviais, sendo as primeiras mais enriquecidas em isótopos pesados.

INTRODUÇÃO

Localizada na foz do rio Amazonas, a região em estudo situa-se entre os meridianos 48°20' e 51° de longitude W e entre os paralelos 0° e 2° de latitude Sul, sendo a ilha de Marajó, com seus 49.606 km² a mais importante porção do arquipélago de Marajó, que constitui a região. Com uma população de 173.405 habitantes distribuída entre seus 12 (doze) municípios, conforme Censo de 1970, o arquipélago apresenta uma densidade demográfica variando de 1,5 a 13 hab/km².

O mapeamento efetuado pelo Projeto RADAM mostra que a ilha de Marajó apresenta três feições geomorfológicas distintas: a leste, planícies colmatadas; no Centro, um Pediplano Pleistocênico; e a Oeste, uma região ainda em processo de colmatagem.

Fisiograficamente, duas regiões naturais bem distintas constituem Marajó: a parte leste da grande ilha, com 23.046 km², constituindo extensa planície coberta com vegetação tipo Savana e Gramíneas e, por isso mesmo, chamada região de "campos"; e a parte Oeste, coberta por densa floresta, constituindo a chamada região de "matas".

A paupérrima topografia da ilha tem como primeira consequência uma limitada aptidão natural ao escoamento das águas pluviais: a drenagem natural caracteriza-se pela presença de rios muito sinuosos com diminuta velocidade de escoamento. Dessa forma, torna-se característico da região o fato de a mesma inundar-se todos os anos em cerca de 70% da região de campos, durante a época chuvosa — de janeiro a maio (localmente designado por "inverno"). Ao pouco desenvolvido sistema natural de drenagem combinam-se, para agravar o problema, as abundantes chuvas e a grande impermeabilidade dos solos. Durante o chamado "verão" (setembro a dezembro), isto é, na época de estiagem, devido à elevada taxa de evaporação e ao reduzidíssimo índice pluviométrico, ocorre o fenômeno oposto, verificando-se assim uma alternância entre inundações e secas, induzindo ambos os casos grandes prejuízos à economia regional, principalmente à pecuária que é a principal atividade econômica da ilha, contribuindo com 46% da renda bruta da mesma, não obstante a alta taxa de mortalidade e a baixa produtividade provocadas pelos fenômenos descritos.

Considerando prioritário o desafio que o arquipélago tem oferecido por tanto tempo, o Governo do Estado do Pará elaborou e vem executando desde 1968 um programa de investiga-

(*) — IDESP — Instituto do Desenvolvimento Econômico-Social do Pará.
(**) — CENA — Centro de Energia Nuclear na Agricultura — CNEN - USP.

ção sistemática e ordenada dos vários aspectos do problema em termos pragmáticos nos campos da Hidrologia, da Edafologia e da Economia Florestal. A magnitude do problema, porém, tem exigido a conjugação de esforços de quantos possam contribuir para solucioná-lo. Daí por que ter sido estabelecido a partir de 1973, um programa de ação conjunta entre o CENA e o IDESP visando em princípio, avaliar a aplicabilidade das técnicas isotópicas às pesquisas dos recursos hídricos da região de Marajó, que de um modo objetivo deverão fornecer parâmetros caracterizadores dos lençóis subterrâneos — zonas de recarga, interconexões entre aquíferos, interrelações com águas superficiais, velocidade de escoamento e direção do fluxo, etc. — e outros que permitam estimar com boa precisão a taxa de evaporação real da região bem como estudar a movimentação (mistura) das águas da orla da ilha e, ainda servir de subsídios a estudos mais amplos a respeito da reciclagem das águas na bacia Amazônica.

No presente trabalho são abordados os estudos feitos com base nas análises isotópicas das precipitações e das águas de superfície da região.

MATERIAL E MÉTODO

Foi projetada e implantada uma rede de pontos para amostragens mensais destinadas às análises isotópicas e físico-químicas das principais massas de água em torno e no interior da ilha (Fig. 1). Os números indicados na Fig. 1 identificam os locais de coletas e estão caracterizados nas Tabelas I a IV.

Para a coleta das águas de precipitação foram utilizados pluviômetros de onde diariamente era procedida a coleta de água, a qual era armazenada em garrafas hermeticamente fechadas. As determinações foram feitas em amostras representativas de médias ponderadas mensais.

As medidas de concentrações isotópicas foram feitas por espectrometria de massa, segundo o método desenvolvido por McKinney *et al.*, (1950). As medidas de ^{18}O seguiram a técnica de Epstein & Mayeda (1953) e, para as medidas de D utilizou-se a técnica desenvolvida por Friedman (1953), Matsui *et al.*, (1971).

As concentrações de deutério e oxigênio-18 são apresentadas como desvios relativos aos SMOW (Standard Mean Ocean Water) (Craig, 1961a) definidos pela expressão :

$$s = \frac{R_{\text{amostra}} - R_{\text{SMOW}}}{R_{\text{SMOW}}} \times 10^3$$

onde :

R_{amostra} — representa as relações de D/H ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ para a amostra;

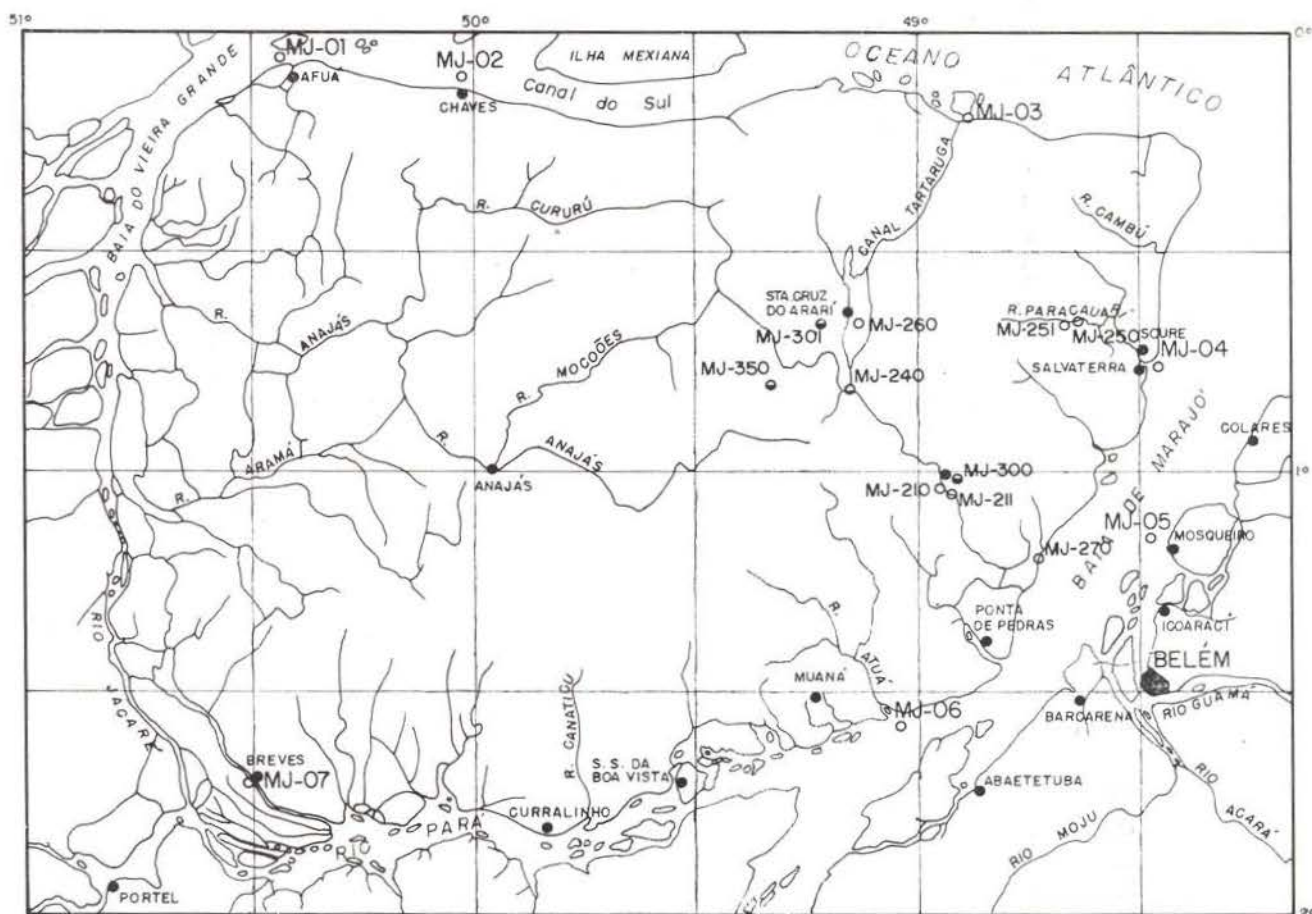
R_{SMOW} — representa as relações D/H ou $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ para o SMOW.

ANÁLISES DOS DADOS OBTIDOS

ÁGUAS PLUVIAIS

Na região em estudo a precipitação é distribuída de maneira desigual, apresentando na região de campos uma média de 2700mm/ano e na região de matas u'a média de 2960mm/ano (Pará, IDESP-1974). Na zona de campos, onde a distribuição das chuvas é mais irregular ao longo do ano, mais de 50% ocorre nos meses de fevereiro a abril enquanto apenas 10% são distribuídos entre os meses de agosto a dezembro. Provavelmente essas precipitações que caracterizam os meses mais secos estejam relacionados com a cobertura vegetal da ilha ou com micro-correntes aéreas geradas na região por diferentes balanços de energia induzidos pelas diferentes características das superfícies da região (águas, florestas, pastagens).

Como a concentração isotópica da água da chuva é função da origem e da história do vapor d'água, desde sua formação geralmente no oceano, até a precipitação, e considerando que esta composição isotópica sofrerá ainda ação combinada de fatores como distância do oceano, temperatura intercâmbio com o vapor atmosférico e evaporação, (Matsui *et al.*, 1972) foram efetuadas amostragens das águas de chuvas nas localidades de Cachoeira do Arari, Santa Cruz do Arari e Fazenda São Sebastião.



— LEGENDA —



- Pontos de coleta de águas pluviais
- Pontos de coleta de águas superficiais

Fig. 1 — Localização dos pontos de amostragem para as análises isotópicas de águas.

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises isotópicas das águas de chuva desses pontos de coleta com a respectiva precipitação mensal. Tais dados são representados na Fig. 2, relativa a Cachoeira do Arari, já que os postos de Santa Cruz e da Fazenda São Sebastião, dão resultados semelhantes com mínima composição isotópica no período de maior pluviosidade.

A variação da composição isotópica no período de estudo situou-se entre $+10\text{‰}$ a -72‰ , para δ_D e de $+0,9\text{‰}$ a $-10,1\text{‰}$, para δ_{18} .

A média ponderada da composição isotópica das chuvas foi efetuada perante o período de agosto de 1973 a julho de 1974, pois esse período apresenta uma seqüência homogênea de dados. Os valores obtidos foram $\delta_D = -36\text{‰}$ e $\delta_{18} = -6,0\text{‰}$ para Cachoeira do Arari; e, $\delta_D = -33\text{‰}$ e $\delta_{18} = -5,6\text{‰}$ para Santa Cruz do Arari.

A média geral ponderada para a região de campos naturais é de $-29,8\text{‰}$ para δ_D e de $-5,0\text{‰}$ para δ_{18} .

TABELA I

Valores das precipitações mensais e suas concentrações isotópicas de deutério e oxigênio-18 em Cachoeira do Arari (MJ-300), Santa Cruz do Arari (MJ-301) e Fazenda São Sebastião (MJ-350) — ilha de Marajó-PA. P em mm δ_D e δ_{18} em ‰

		1 9 7 3												1 9 7 4												1 9 7 5		
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
Cachoeira do Arari	δ_D	-22	-24	-18	-45	-22	—	0	+6	+2	-16	-9	-15	-72	-48	-41	-30	-59	-21	-14	—	-1	+2	+1	-9,0	-19	-35	-35
	δ_{18}	-3,1	-4,1	-1,1	-7,0	-4,0	—	-1,3	-1,1	-1,0	-3,2	-2,9	-3,2	-10,1	-7,0	-6,9	-5,4	-8,8	-4,2	-3,3	—	-2,2	-1,1	-1,4	-3,0	-3,7	-5,8	-5,8
	P	223	456	426	593	436	157	147	112	64	27	69	193	314	409	373	624	447	331	169	25	27	13	6	394	374	431	317
Sta. Cruz do Arari	δ_D			-40	-31	—	—	+1	-2	-2	-9	-14	-50	-41	-50	-22	-49	-24	-10	+3	+2	-5	—	-11	-27	-36		
	δ_{18}			-5,1	-4,6	—	—	-1,3	-1,7	-1,8	-2,4	-2,9	-7,4	-6,7	-7,5	-4,2	-7,6	-4,6	-2,8	-1,1	-0,9	-1,4	—	-2,5	-4,6	-5,6		
	P			558	571	137	155	73	134	95	60	208	331	427	563	237	466	419	190	57	45	75	102	131	287	531		
Fazenda S. Sebastião	δ_D			-39	-32	—	—	+1	+3	+1	-3	-11	-56	-54	-38	-25	-48	—	-11	-2	—	-5	—	-6	-15	-20		
	δ_{18}			-6,2	-5,4	—	—	-1,5	-0,9	-1,5	-1,8	-2,6	-8,5	-7,5	-6,1	-4,6	-7,0	—	-2,9	-2,1	—	-1,5	—	-1,4	-3,7	-4,4		
	P			435	358	177	179	207	155	149	59	397	367	349	397	302	402	414	226	92	—	136	46	126	270	577		

A correlação entre as concentrações isotópicas de deutério e oxigênio-18 é apresentada em diagrama de $\delta_D \times \delta_{18}$, onde os diferentes valores agrupam-se em torno da chamada "linha de água meteórica" (Craig, 1961b). As precipitações de todas as regiões do globo terrestres estudadas até o momento, apresentam valores de δ_D e δ_{18} que se distribuem em torno de uma linha reta com coeficiente angular igual a 8; assim, $\delta_D = 8 \delta_{18} + d$, onde d é chamado "parâmetro de excesso de deutério" e tem o valor aproximado de 10‰ .

Os valores das concentrações isotópicas das precipitações na ilha de Marajó, coletadas nas três estações, são apresentados na fig. 3 e estão agrupados em torno da equação $\delta_D = 8,1\delta_{18} + 11$, com um coeficiente de regressão $r = 99,3\%$. Esta reta concorda com a obtida por Salati *et al.*, (1973).

ÁGUAS SUPERFICIAIS DA ORLA DA ILHA DE MARAJÓ

As massas de águas superficiais que circundam a ilha de Marajó, têm procedências diversas, destacando-se as do rio Amazonas, do rio Pará, do rio Tocantins (baía de Marajó) e

do Oceano Atlântico. Além do problema da convergência dos rios tem-se a considerar a influência das marés, que provoca uma inversão das correntes não só no estuário como também até bem a montante nos rios do interior da ilha.

A Tabela II apresenta os diversos valores das análises isotópicas para deutério e oxigênio-18 nos pontos de coleta, durante o período de amostragem, bem como o estágio da maré. A variação da composição isotópica situou-se entre -17‰ a -15‰ para δ_D e de $-3,4\text{‰}$ para δ_{18} .

A Fig. 4 mostra a relação $\delta_D \times \delta_{18}$ para esses mesmos pontos e a linha meteórica encontrada para a região do Marajó. Por este gráfico pode-se ver que estas águas não apresentam alto grau de evaporação.

As causas que atuam de forma conjunta produzindo variações nas concentrações isotópicas das águas superficiais são as oscilações sazonais das concentrações de deutério e oxigênio-18 nas precipitações, a distribuição irregular das precipitações e as mudanças de aportes relativos a distintas fontes de alimentação.

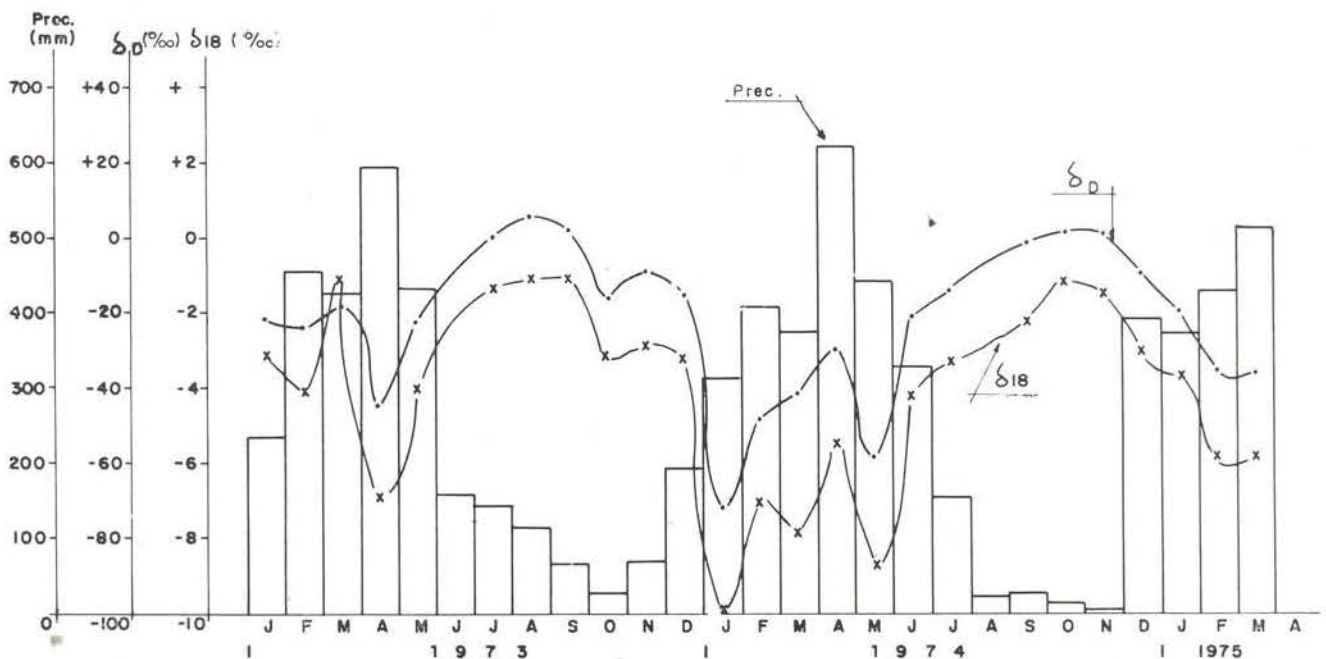


Fig. 2 — Variação sazonal de δ_D e δ_{18} para as águas pluviais em Cachoeira do Arari.

T A B E L A II

Análises isotópicas de águas superficiais e estágios das marés da orla da ilha de Marajó

REF.	LOCAL	DATA	δ_D (‰)	δ_{18} (‰)	ESTAGIO DA MARÉ
MJ-01	Rio Amazonas na baía do Vieira Grande em frente a Ponta Negra	27.02.73	-32	-4,6	enchendo
		26.06.73	-43	-6,3	enchendo
		23.08.73	-38	-5,9	enchendo
		03.11.73	-29	-5,1	vazando
		19.01.74	-35	-5,3	baixa-mar
		16.06.74	-51	-7,4	enchendo
		14.09.74	-38	-6,4	vazando
		03.12.74	-35	-3,5	enchendo
		11.02.75	-31	-5,4	enchendo
		23.04.75	-38	-6,4	vazando
MJ-02	Rio Amazonas em frente a cidade de Chaves (Canal Sul)	21.05.73	-39	-6,0	vazando
		27.06.73	-43	-6,3	vazando
		22.08.73	-38	-5,9	enchendo
		14.11.73	-26	-4,8	enchendo
		19.01.74	-36	-5,6	vazando
		17.06.74	-47	-7,0	enchendo
		04.12.74	-32	-5,1	vazando
		10.02.75	-29	-5,5	enchendo
		23.04.75	-37	-6,1	enchendo
MJ-03	Rio Amazonas com a Foz do rio Tartarugas	28.05.73	-36	-5,6	vazando
		01.07.73	-31	-4,8	vazando
		27.09.73	-32	-5,3	enchendo
		23.10.73	-28	-4,8	enchendo
		07.02.74	-41	-6,1	vazando
		21.02.75	-25	-4,4	vazando
08.05.75	-34	-5,6	vazando		
MJ-04	Baía de Marajó em frente a foz do rio Paracauari	02.03.73	-25	-4,2	vazando
		22.05.73	-31	-4,8	vazando
		28.06.73	-30	-4,6	enchendo
		11.11.73	-20	-3,5	vazando
		20.01.74	-20	-3,4	enchendo
		06.04.74	-40	-5,7	vazando
		21.06.74	-42	-6,1	vazando
		08.09.74	-27	-4,6	vazando
		05.12.74	-24	-3,8	enchendo
		17.02.75	-21	-3,8	enchendo
25.06.75	-26	-4,9	enchendo		
MJ-05	Baía de Marajó em frente a vila de Mosqueiro	27.05.73	-28	-4,6	vazando
		28.08.73	-26	-4,0	preamar
		24.01.74	-23	-3,9	vazando
		31.03.74	-34	-5,6	enchendo
		25.06.74	-33	-5,6	enchendo
		16.09.74	-29	-4,4	preamar
		29.11.74	-24	-3,8	vazando
		10.02.75	-17	-3,5	enchendo
		23.04.75	-28	-4,6	vazando
		25.05.73	-33	-5,4	enchendo
MJ-06	Baía de Marajó em frente foz do rio Atuaá	03.07.73	-30	-5,0	enchendo
		27.08.73	-33	-5,1	vazando
		17.01.74	-23	-4,0	enchendo

(Continua)

TABELA II — (continuação)

REF.	LOCAL	DATA	δ_D (‰)	δ_{18} (‰)	ESTÁGIO DA MARÉ
		26.04.74	-48	-6,9	enchendo
		18.06.74	-35	-5,9	enchendo
		01.07.74	-44	-6,6	enchendo
		14.09.74	-36	-5,4	vazando
		30.11.74	-26	-4,0	vazando
		19.04.75	-25	-4,7	enchendo
MJ-07	"Furo" de Breves em frente à cidade de Breves	18.05.73	-38	-6,1	enchendo
		25.06.73	-38	-5,9	enchendo
		03.11.73	-28	-4,8	enchendo
		19.01.74	-34	-5,4	vazando
		02.04.74	-45	-6,7	enchendo
		17.06.74	-35	-5,9	enchendo
		11.09.74	-37	-6,0	vazando
		29.11.74	-30	-5,2	vazando
		13.02.75	-28	-4,8	preamar
		22.04.75	-33	-5,9	enchendo

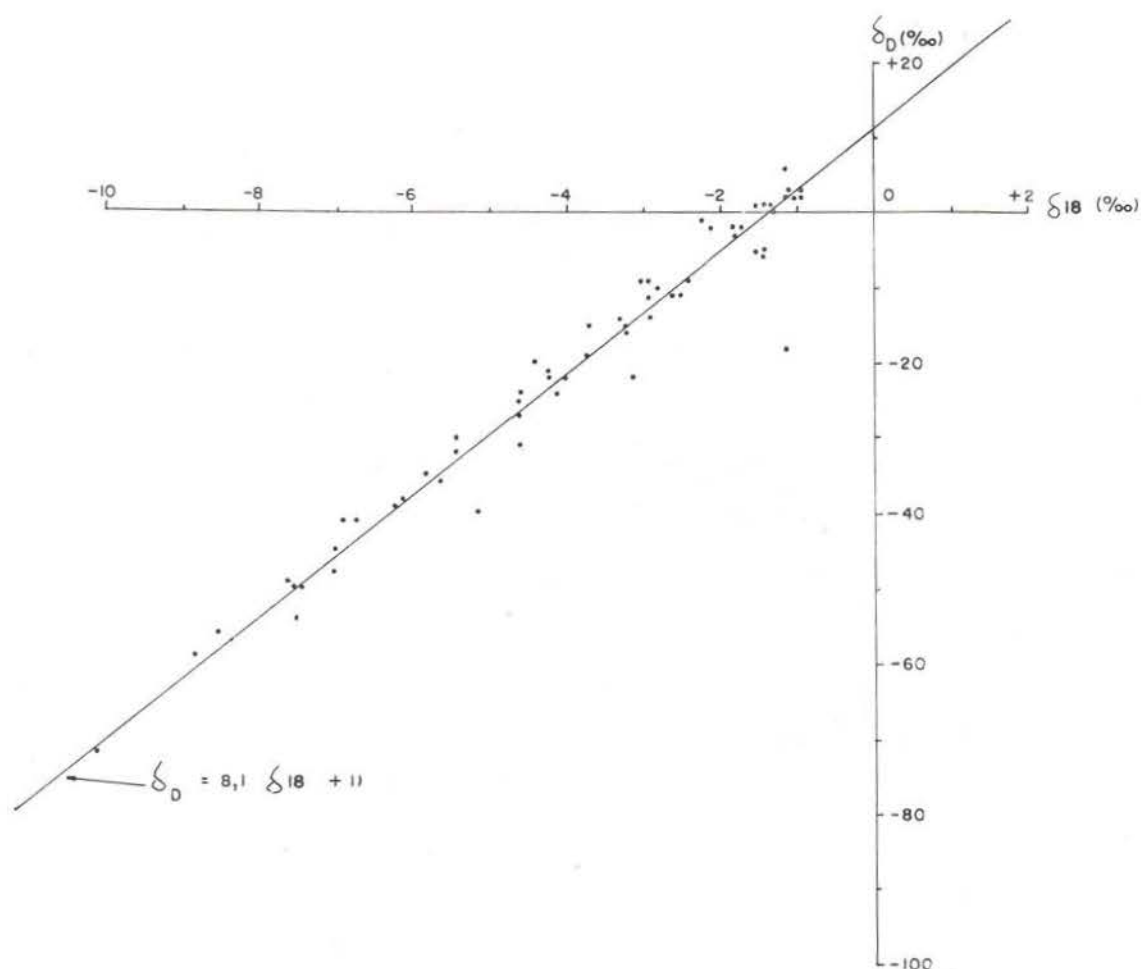


Fig. 3 — Relação δ_D x δ_{18} para águas pluviais em Cachoeira do Arari, Santa Cruz do Arari e Fazenda São Sebastião e a equação de regressão linear resultante.

As Fig. 5 e 6 apresentam a variação sazonal determinada pelas oscilações nos valores de δ_{18} e a relação de $\delta_D \times \delta_{18}$ da composição isotópica no período amostrado respectivamente em pontos representativos em torno da ilha de Marajó, localizados na Fig. 1.

A composição isotópica da água do rio Amazonas que chega ao Marajó, na orla norte da ilha (MJ 01, MJ 02, e MJ 03) possui um padrão típico sendo relativamente mais leve ou mais pobre em deutério e oxigênio-18.

A composição isotópica no furo de Breves (MJ 07) é muito semelhante a do Amazonas evidenciando o aporte de águas do rio Amazonas através da chamada região dos "Furos" para a orla sul da ilha de Marajó (rio Pará e baía de Marajó). O pequeno enriquecimento em isótopos pesados certamente é devido a contribuição de águas superficiais interiores

da ilha na região dos "Furos", já que o "furo" de Breves é o mais interno nessa região e recebe contribuições da bacia do rio dos Macacos.

Na Fig. 6 é evidenciada a região de variação da relação $\delta_D \times \delta_{18}$ para as águas do rio Amazonas, "Furo" de Breves e baía de Marajó. Nota-se que a variação no "Furo" de Breves está dentro do intervalo de variação do rio Amazonas.

Na baía de Marajó, em frente a ilha de Mosqueiro (MJ 05) a composição isotópica apresenta um padrão de variação semelhante, porém, com maiores teores de D e ^{18}O . Essa diferença na composição isotópica entre as águas da baía de Marajó e do rio Amazonas pode ser interpretada como devida a contribuição importante do rio Tocantins para a baía de Marajó e a uma certa influência da água mari-

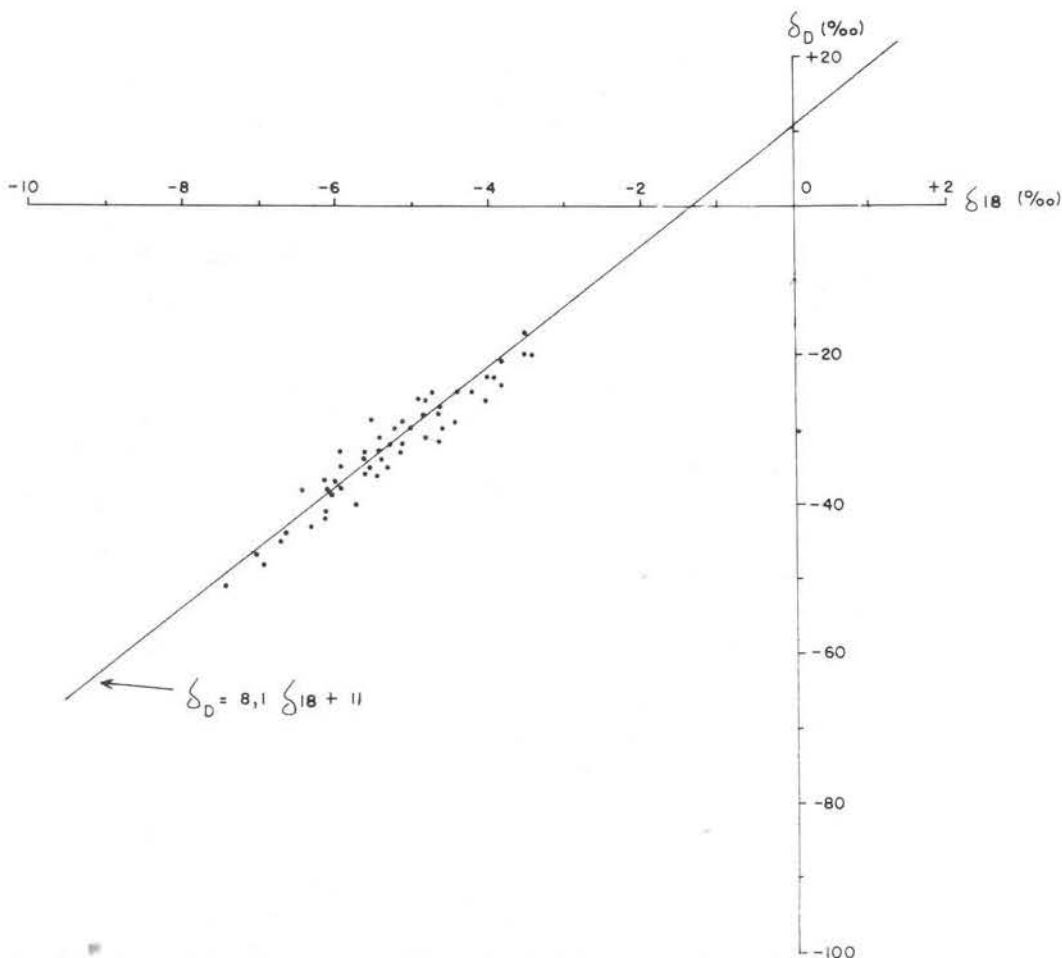


Fig. 4 — Relação $\delta_D \times \delta_{18}$ para as águas superficiais da orla da ilha de Marajó.

TABELA III

Análises isotópicas de águas superficiais da bacia do rio Arari.

REF.	LOCAL	DATA	δ_{18} (‰)	δ_D (‰)
MJ-270	Rio Arari na foz em Santana	30.03.73	-14	+0,1
		30.04.73	-19	-2,9
		28.06.73	-27	-4,2
		27.08.73	-28	-4,9
		18.11.73	-22	-3,8
		03.04.74	-41	-6,4
		21.06.74	-39	-5,5
		26.09.74	-32	-4,9
		12.12.74	-25	-3,8
		27.02.75	-25	-4,1
MJ-210	Rio Arari no Posto Fluviométrico de Cachoeira do Arari.	15.02.73	-12	-2,1
		01.04.73	-13	-2,5
		19.05.73	-27	-4,1
		24.08.73	-4	-1,2
		30.11.73	+15	+2,6
		08.02.74	-47	-6,6
		07.04.74	-38	-5,6
		22.06.74	-35	-5,2
		13.11.74	+6	+0,7
		13.12.74	+6	+0,6
MJ-211	Rio Arari em frente à ponte do DNPVN em Cachoeira do Arari	23.01.73	-15	-3,4
		23.03.73	-15	-1,7
		23.04.73	-29	-4,4
		23.05.73	-27	-4,2
		23.06.73	-20	-2,7
		23.07.73	-6	-1,5
		23.08.73	-5	-1,4
		23.09.73	-6	-1,6
		23.10.73	+3	+0,1
		23.11.73	+9	+1,7
		23.12.73	-1	0,0
		23.01.74	-64	-8,7
		23.02.74	-45	-6,6
		23.03.74	-30	-4,3
		23.04.74	-29	-4,4
		23.05.74	-24	-3,9
		23.06.74	-34	-5,1
		23.07.74	-19	-2,8
		23.09.74	-7	-1,0
		23.11.74	+13	+1,4
23.12.74	+4	+0,1		
23.01.75	-3	-1,4		
28.02.75	-28	-5,2		
31.03.75	-23	-4,5		
MJ-230	Rio Arari no Posto Fluviométrico de Tucunaré	16.02.73	-16	-3,1
		19.05.73	-22	-3,8
		31.08.73	-4	-1,2

(Continua)

TABELA III — (continuação)

REF.	LOCAL	DATA	δ_D (‰)	δ_{18} (‰)
		15.11.73	+12	+1,7
		06.04.74	-30	-3,3
		20.06.74	-35	-5,0
MJ-240	Rio Arari em frente à Fazenda Tuyuiu	31.03.73	-13	-4,1
		21.05.73	-25	-5,7
		05.04.74	-40	-5,7
		19.06.74	-34	-4,8
		20.02.75	-34	-5,8
MJ-220	Igarapé da Cachoeira, em Cachoeira do Arari	15.02.73	-9	-0,6
		01.04.73	-13	-2,8
		09.05.73	-28	-4,4
		26.08.73	+4	+0,9
		11.11.73	+9	+2,4
		21.06.74	-40	-5,7
MJ-260	Lago Arari próximo à Santa Cruz do Arari	17.02.73	-11	-2,2
		15.04.73	-20	-3,3
		21.05.73	-28	-4,3
		15.06.73	-22	-3,7
		15.07.73	+4	+0,8
		30.08.73	-6	-1,2
		07.02.74	-47	-6,6
		15.04.74	-39	-5,8
		15.06.74	-32	-4,8
		19.06.74	-34	-4,9
		15.07.74	-43	-6,3
		05.12.74	+14	+2,0
		21.02.75	-21	-3,5
		08.05.75	-25	-4,4
		27.09.75	-2	-0,1

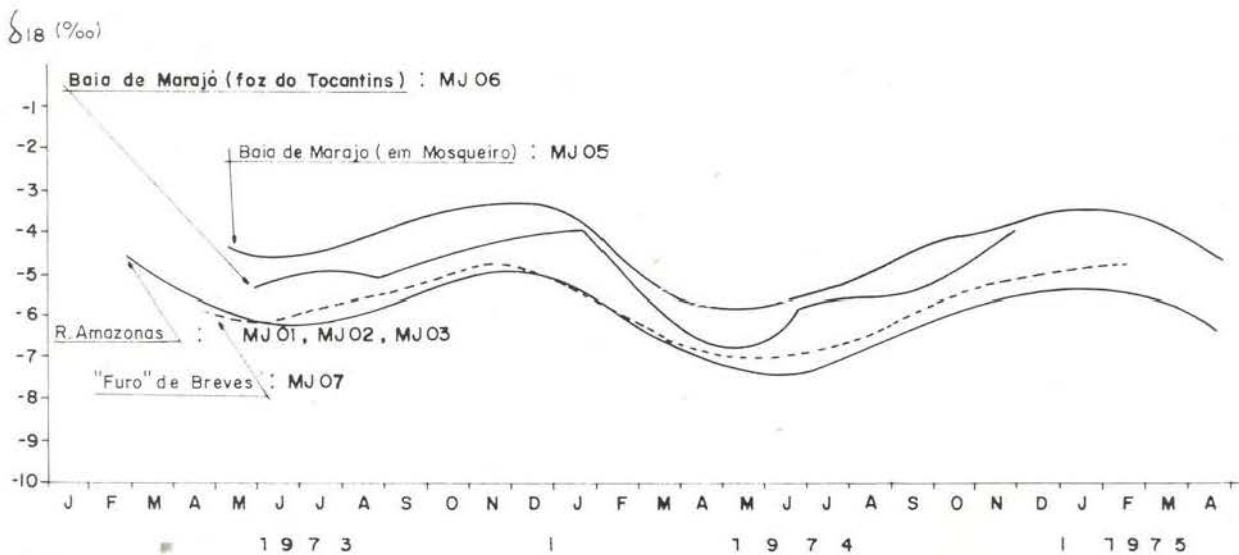


Fig. 5 — Variação da composição isotópica de ^{18}O em 4 pontos da orla da ilha de Marajó.

nha trazida pela maré. Este problema deverá ser estudado com mais detalhes, para o que já estão sendo feitas coletas de águas do rio Tocantins e também serão feitas determinações sistemáticas de salinidade da baía de Marajó, o que permitirá a quantificação das massas de água convergentes para a referida baía.

Mais a montante na baía de Marajó em frente a foz do rio Atua e próximo a foz do rio Tocantins (MJ 06) a composição isotópica apresenta um padrão mais irregular, que pode ser causado por mudanças bruscas de aporte de águas, principalmente do rio Pará e rio To-

cantins, devido a influência da maré que inverte a corrente e mistura irregularmente águas de procedências diferentes.

De maneira geral na orla da ilha as análises isotópicas da água dos pontos amostrados não evidenciam grande influência de água marinha pois que as relações $\delta_D \times \delta_{18}$ dessas águas se distribuem ao longo da linha meteórica e não ao longo da linha de mistura com água marinha a qual deveria passar pela origem do gráfico $\delta_D \times \delta_{18}$. Não obstante, observa-se em algumas regiões do estuário, mangues, que indicam a presença de água salina em algumas

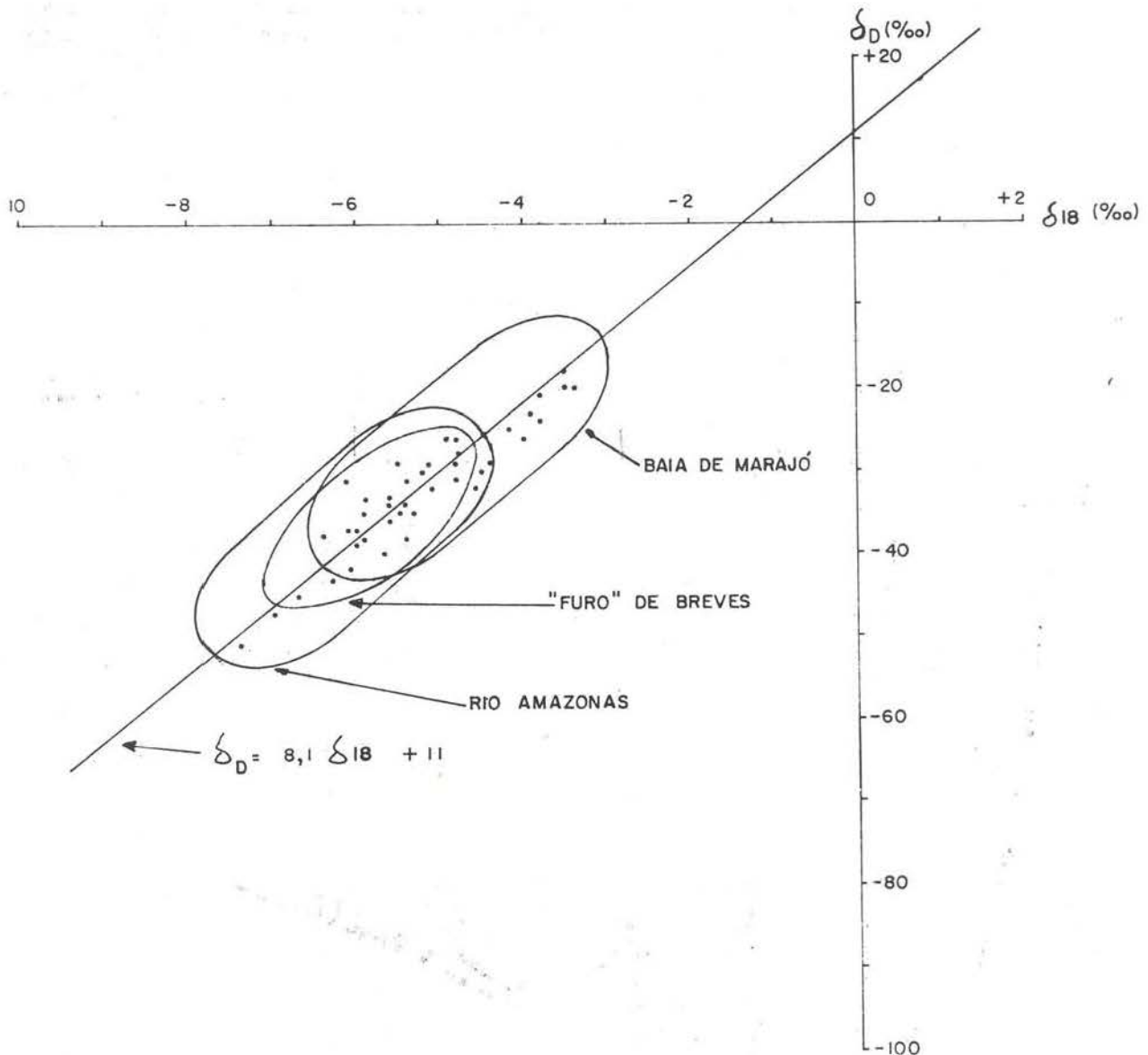


Fig. 6 — Relação $\delta_D \times \delta_{18}$ para 5 pontos de amostragem da orla da ilha de Marajó.

épocas do ano. As análises sistemáticas da salinidade da orla sul estão sendo realizadas a fim de se detalhar esses estudos. Na orla norte da ilha desde Chaves até a foz do canal Tartarugas predominam sempre as águas de composição isotópica idêntica a do rio Amazonas, e também evidenciam menor influência das massas de água marinha do que da própria baía de Marajó.

Na orla norte da ilha, as águas do rio Amazonas misturam-se relativamente pouco com a água marinha, pelo menos em superfície, devido certamente ao grande volume de água que o rio Amazonas lança ao mar nessa parte de seu estuário.

TABELA IV

Análises isotópicas de águas do rio Paracauari

DATA	MONTANTE DA CORREDEIRA (MJ - 250)		JUSANTE DA CORREDEIRA (MJ - 251)	
	δ_D (‰)	δ_{18} (‰)	δ_D (‰)	δ_{18} (‰)
02.03.73	-31	-5,4	—	—
22.05.73	-23	-4,7	—	—
28.06.73	-27	-4,1	-25	-4,2
31.08.73	-15	-2,5	-15	-2,8
10.11.74	-15	-2,2	-14	-4,0
20.01.74	-19	-2,8	-19	-3,1
06.04.74	-45	-6,7	-46	-7,2
21.06.74	-31	-5,3	-32	-4,9
09.09.74	—	—	-21	-3,6
25.04.75	-38	-5,7	-39	-6,3

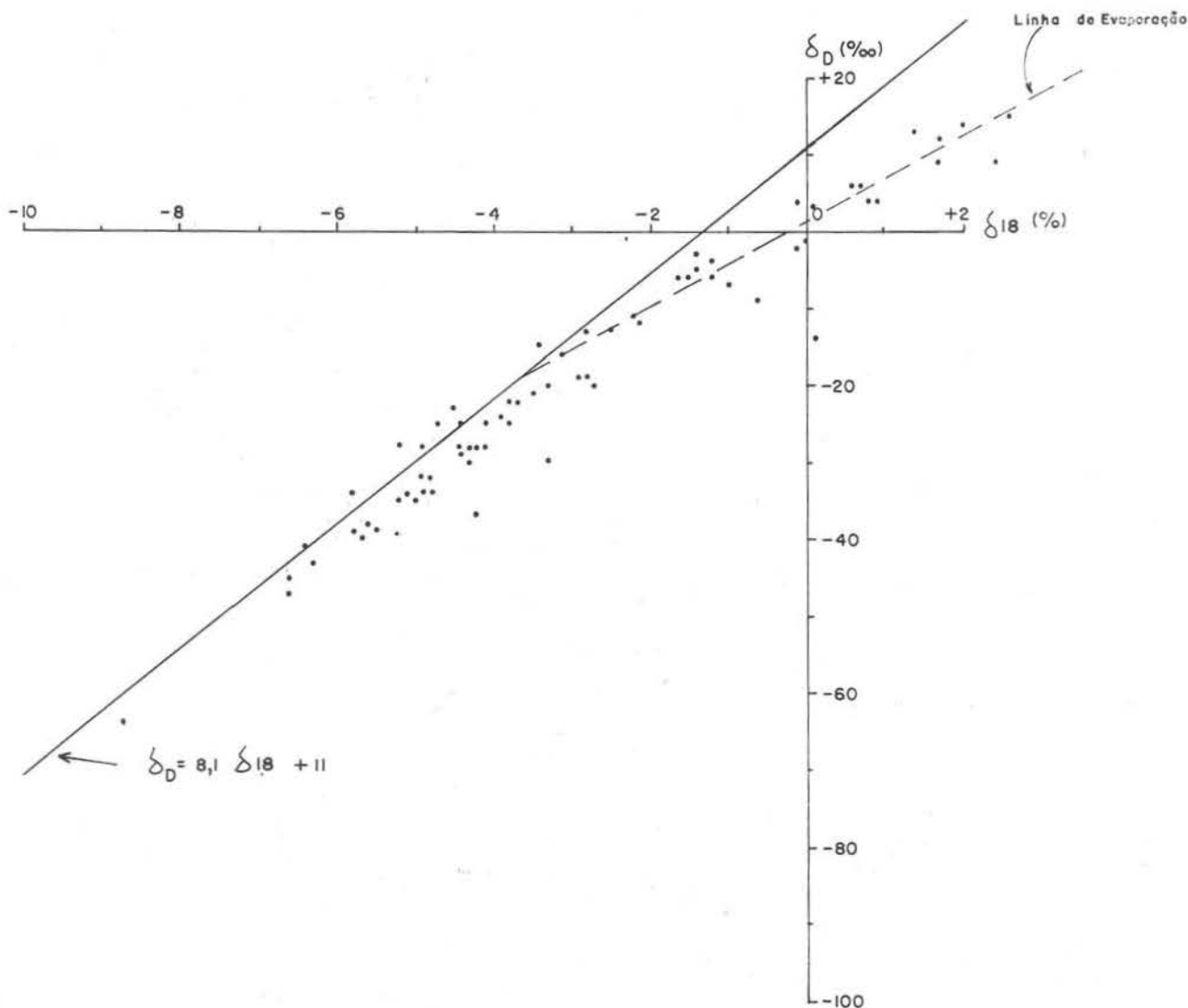


Fig. 7 — Relação δ_D x δ_{18} para as águas superficiais da bacia do rio Arari.

ÁGUAS SUPERFICIAIS INTERIORES
DA ILHA DE MARAJÓ

As bacias hidrográficas da ilha de Marajó são formadas de depressões de pequenos desníveis, com altitudes que não atingem duas dezenas de metros.

Na bacia do rio Arari, onde o IDESP concentra a maior parte dos estudos hidrológicos, foram localizados pontos de coleta d'água para análises isotópicas destacando-se as do lago Arari, de seções do rio Arari e do igarapé da Cachoeira.

Foi também efetuada amostragem no rio Paracauarí situado mais a leste e sob maior influência da maré.

As Tabelas III e IV apresentam os valores das concentrações de deutério e oxigênio-18 no período de amostragem para a bacia do rio Arari e para o rio Paracauarí, respectivamente. A amplitude de variação nas concentrações isotópicas foi de + 15‰ a - 64‰ para δ_D e de + 2,6‰ a - 8,7‰ para δ_{18} na bacia do rio Ara-

ri. Para o rio Paracauarí, esses valores situaram-se entre - 14‰ a - 46‰ para δ_D e entre - 2,2‰ a - 7,2‰ para δ_{18} .

Os valores altos de δ_D e δ_{18} na bacia do Arari evidenciam a influência da evaporação do Lago Arari. Os deslocamentos dos pontos no gráfico $\delta_D \times \delta_{18}$ (Fig. 7) para a direita da linha meteórica permite que se estime a linha de evaporação para esta região, cujo coeficiente angular é da ordem de +5,8.

As águas superficiais da bacia do Arari apresentam geralmente maiores concentrações de isótopos pesados que as precipitações da região (Fig. 8). Estes dados demonstram que a evaporação das águas superficiais são relevantes no balanço de águas nesta bacia. Salati *et al.*, (1973) demonstrou que para a bacia Amazônica como um todo as perdas de águas superficiais por evaporação são desprezíveis. Assim, do ponto de vista de balanço hídrico, esta região de Marajó apresenta características distintas da bacia Amazônica como um todo.

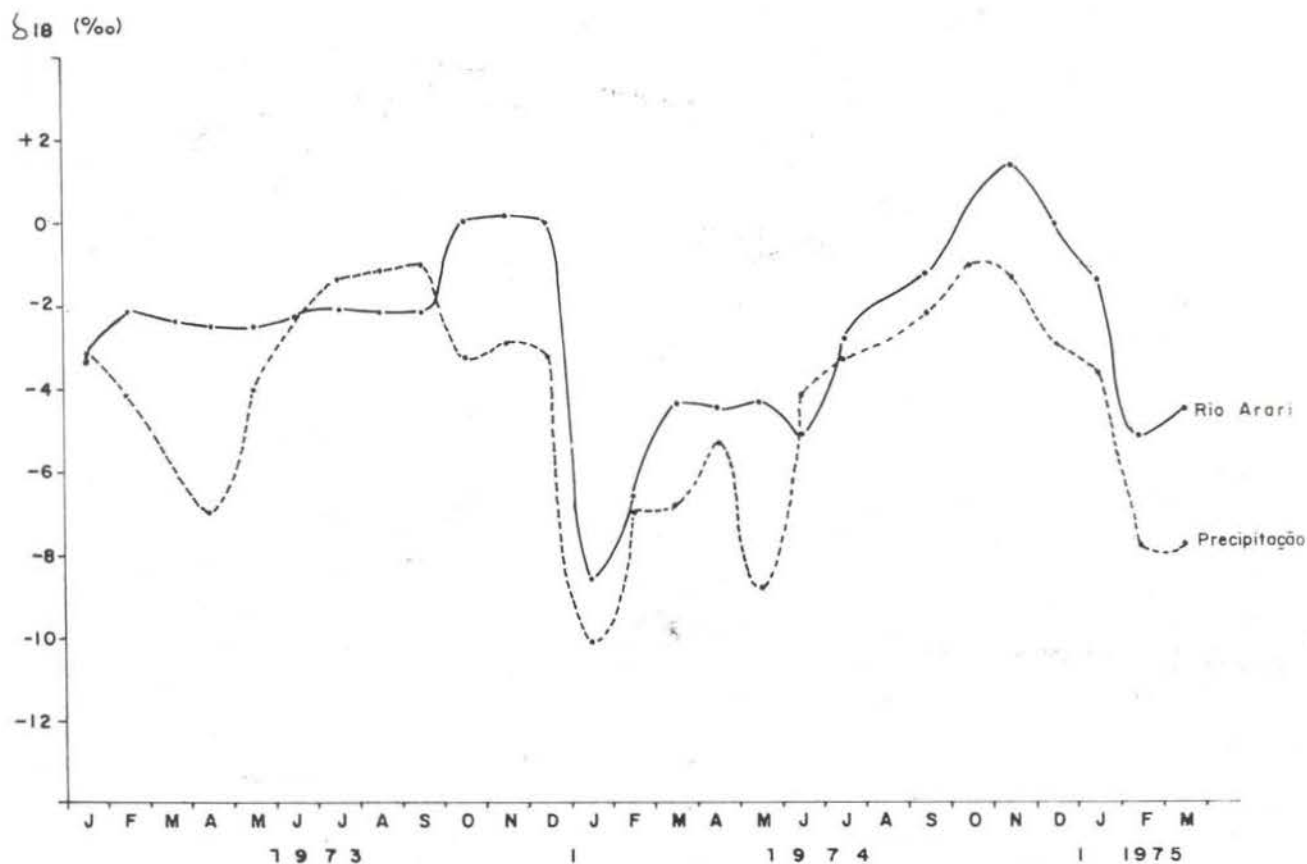


Fig. 8 — Variação sazonal de δ_{18} para as águas pluviais e as do rio Arari, em Cachoeira do Arari.

CONCLUSÕES

As análises isotópicas das águas pluviais permitiram obter-se o padrão da variação sazonal destas e determinar a equação da "linha meteórica" da região, expressa por $\delta_D = 8,1 \delta_{18} + 11\text{‰}$.

Particularmente, a metodologia mostrou-se aplicável e importante no estudo da dinâmica das massas de água da orla. A fim de se obter um balanço da influência das águas marinhas na baía de Marajó, será necessário um estudo da salinidade de algumas secções transversais ao longo do estuário.

Observou-se uma semelhança entre a composição isotópica da água do "Furo" de Breves e a do rio Amazonas, evidenciando uma circulação das águas do Amazonas através da chamada região de "Furos" para a orla sul do Marajó (rio Pará e baía de Marajó). No entanto, a caracterização isotópica das massas de água circundantes à ilha de Marajó mostrou uma distinção entre as águas do rio Amazonas e as da baía de Marajó. Isso indica que a influência do rio Amazonas é menos relevante para a baía de Marajó do que o rio Tocantins, revelando uma certa independência entre as bacias daqueles rios.

Os dados demonstram que na orla norte da ilha até a foz do canal Tartarugas as águas são provenientes do rio Amazonas, havendo praticamente pouca influência tanto das águas da baía do Marajó como do oceano.

No interior da ilha as composições isotópicas das águas superficiais são enriquecidas em isótopos pesados, diferindo ligeiramente das águas pluviais, acentuando-se, porém, essas diferenças, na bacia do rio Arari, o que torna essa bacia singular em comparação com a bacia Amazônica como um todo.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao auxílio financeiro da CNEN e da FAPESP.

Summary

In addition to the conventional hydrological research carried out by IDESP in the region of the Marajó Islands, a study has been undertaken of the natural variations of hydrogen and oxygen isotopes in water.

(1) — "Furo": natural channel linking two rivers.

Measurements have been taken of D and ^{18}O concentrations in water from precipitation, rivers lakes inland of Marajó Island and surface waters around it.

The data obtained are discussed as to the applicability of these techniques to hydrological studies in the Marajó region.

The difference in the isotopic composition between the waters from the Amazon River near its north edge and those from the Marajó bay to the south appears distinctly, in spite of the big volume of water from the Amazon discharged into the Marajó bay, as detected through isotopic analyses of waters from the "Furo" of Breves (1).

The internal surface waters in the Island present isotopic composition that is slightly different from that of rain waters the former ones being more enriched in heavy isotopes.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- CRAIG, H.
1961a — Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters. *Science*, New York, 133 : 1833-1834.
1961b — Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science* New York, 133 : 1702-1703.
- EPSTEIN, S. & MAYEDA, T.
1953 — Variation of Oxygen-18 Content of Water from Natural Sources. *Geochim. et Cosmochim. Acta* London, 4:213-224.
- FRIEDMAN, I.
1953 — Deuterium Content of Natural Waters and Other Substances. *Geochim. et Cosmochim. Acta* London, 4 : 80-103.
- MCKINNEY, C.R.; MCCREA, J.M.; EPSTEIN, S.; ALLEN, H.A. & UREY, H.C.
1950 — Improvements in Mass-Spectrometers for the Measurement of Small differences in isotopic abundance ratios. *Rev. Scient. Instrum.*, New York, 21:724-730.
- MATSUI, E.; SALATI, E. & FERAZ, E.S.
1971 — Medida de variação natural da Relação D/H em amostras d'água. *Bol. Cient. CENA*, Piracicaba, 001, 1-31.
- MATSUI, E.; SALATI, E.; BRINKMANN, W.L.F. & FRIEDMAN, I.
1972 — Vazões relativas dos rios Negro e Solimões através das concentrações de ^{18}O . *Acta Amazonica*, 2(3) : 31-46.
- PARÁ. IDESP.
1974 — Estudos integrados da Ilha de Marajó. *IDESP*, Belém, 333 p.
- SALATI, E.; MATSUI, E.; CERVellini, A. & FRIEDMAN, I.
1973 — "Hidrologia isotópica da Amazônia (concentração de ^{18}O e D em águas fluviais)" — *Relatório CENA*, 9.