

**SOBRE O QUIMISMO PREDOMINANTE NAS ÁGUAS DO  
SISTEMA FLÚVIO-ESTUARINO DE BARCARENA, PA\***

W.N. Lima, C.N. Kobayashi

Centro de Ciências Exatas e Naturais e Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Caixa Postal 1611, Campus Universitário. 66000 Belém, PA

\* Trabalho apresentado no V Encontro de Pesquisadores da Amazônia (Manaus, junho 1986).

## ABSTRACT

The works of building and establishment of an industrial complex plant in the Barcarena, PA, region obliged the government, the enterprise and the community to study the environmental ecosystem characteristics *before* the industrial activities.

The present paper discusses a study of hydrogeochemical characteristics of the groundwater and the estuarine and river waters of that region. This is a work of evaluation of properties, parameters and chemical components such as color, temperature, turbidity, electrical conductivity, pH, alkalinity, hardness, cations Ca, Mg, Na, K and total Fe, anions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  and silica; in some cases, were also determined Eh,  $\text{NO}_3^-$ , dissolved oxygen, COD, Fe (II) and some metals such as Al, Mn, Co, Pb, Cu, Zn, and Cd. The interpretation of the analytical results indicates some similarities with some others areas.

## RESUMO

A implantação de um complexo industrial na região de Barcarena, PA, levou as autoridades, a empresa e a comunidade em geral a procederem estudos sobre as características do ecossistema *antes* do início das atividades industriais.

O presente trabalho diz respeito ao estudo sobre o quimismo predominante nas águas subterrâneas e do sistema flúvio-estuarino dessa região. Para tanto, procedeu-se trabalho de avaliação das seguintes propriedades, parâmetros e constituintes químicos: cor, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, pH, alcalinidade, dureza, cátions Ca, Mg, Na, K e Fe total, ânions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  e sílica; em alguns casos, foram também determinados Eh,  $\text{NO}_3^-$ , oxigênio dissolvido, DQO, Fe (II) e certos metais como Al, Mn, Co, Pb, Cu, Zn e Cd. A interpretação dos resultados analíticos permitiu o estabelecimento de comparações com outras áreas semelhantes.

## INTRODUÇÃO

A implantação de um complexo industrial destinado ao processamento de bauxita visando à produção de alumina e, a partir desta, a obtenção de alumínio metálico, levou as autoridades, os pesquisadores, a comunidade em geral e a própria empresa a procederem estudos objetivando o conhecimento das características do ecossistema *antes* do início das atividades industriais.

A região de Barcarena, PA, é bem representativa da típica paisagem de planície amazônica, sendo constituída de terrenos sedimentares, vegetação tipo *hiléia*, abundância de rios, *furos* e *igarapés*, que se interligam e se comunicam com a baía de Marajó, esta situada em área estuarina, onde se faz presente a influência de águas oceânicas em certa época do ano, notadamente de agosto a novembro, e caracterizada por fluxos e refluxos de marés.

As chuvas abundantes na região provocam considerável acúmulo de águas nos lençóis freáticos, acúmulo esse evidenciado pelo aumento do nível hidrostático nos poços abertos e maior volume de água nos igarapés; é o denominado período chuvoso, que se inicia em fins de dezembro e se estende até fins de junho. Em geral, o valor das médias de precipitação anual atinge quase 3000 mm. O clima é tropical úmido, na classificação de Koeppen, tipo Am, com temperatura média anual em torno de 27°C. A umidade relativa do ar mantém-se sempre elevada, em geral acima de 80% (Brasil, MI, 1974). No período menos chuvoso (em geral, de julho até meados de dezembro), observa-se transição mais ou menos acentuada (dependendo das condições de precipitação durante o período anterior) de água doce para água salobra, notadamente na baía de Marajó.

O presente trabalho diz respeito ao estudo sobre o quimismo predominante nas águas (de superfície e subterrâneas) do sistema flúvio-estuarino da região de Barcarena, nas proximidades e no local onde se encontram as instalações do referido complexo industrial. Assim, o quadro aqui observado refere-se à situação anterior ao início do processamento industrial.

## O MEIO AMBIENTE

A região de Barcarena, PA, localiza-se entre os meridianos 48°30'W e 49°00'W e entre os paralelos de 2°00' e 1°30' de latitude sul (Fig. 1).

As principais massas de água nessa região são constituídas pela baía de Marajó, pelo também assim denominado rio Pará e pelos diversos rios, que se comunicam entre si através de canais (os denominados *furos*) e com os *igarapés* (córregos de águas límpidas). Os rios mais caudalosos da área são o Itaporanga, o Barcarena, o Murucupi; outras vias fluviais importantes são o furo do Arrozal, os igarapés Dendê, Tauá, Pramajó, Pramajozinho, Água Verde, Japim, Pau Amarelo, Conde. De um modo geral, tanto na baía de Marajó, como na maioria dos rios e furos aqui citados, a coloração marrom-amarelada, típica, é a predominante, sendo um dos três tipos de diferenciação de águas de rios da Amazônia de acordo com as observações de Sioli (1967, 1975).

A abundante vegetação, tipo *hiléia*, caracteriza-se pela predominância de árvores de grande porte, frondosas, sendo comuns (notadamente, nas proximidades de rios, furos e igarapés, mangues) palmeiras do tipo açázeiro, buritizeiro, etc.

A morfologia típica corresponde à presença de costas baixas com inclinação moderada, aparecendo de vez em quando "falésias" desenvol-

vidas em depósitos silte-argilosos, bem como terrenos baixos, inundáveis, e praias cobertas de areia branca e finamente dividida.

A geologia local faz parte da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas; os terrenos são representantes típicos do Grupo Pará, caracterizados por depósitos de areias, siltes, argilas e concreções lateríticas (Schäller *et al.*, 1971; Resende & Ferradaes, 1971).

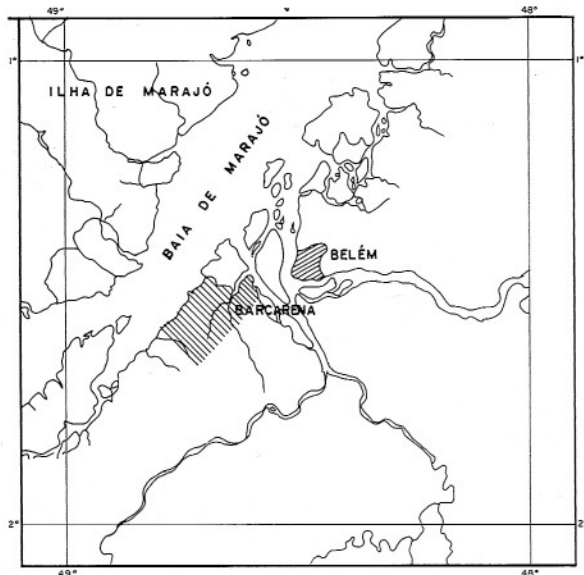


Figura 1 — Mapa de localização da área.

A área em observação é de, aproximadamente, 180 km<sup>2</sup>, situando-se próxima à foz do rio Amazonas. É limitada pela baía de Marajó, furo do Arrozal, rio Itaporanga e ramal da estrada de rodagem PA-151. A topografia é plana, com ondulações muito suaves (não atingem mais de 15 m), apresentando em alguns locais terrenos sujeitos a inundações, às margens de furos e igarapés, notadamente durante a preamar. É densamente drenada, destacando-se os rios já mencionados. Os igarapés mais importantes para observações no momento são o Conde e o Dendê, sendo este último um braço que se junta ao Conde que, por sua vez, se liga ao canal de despejo dos efluentes da fábrica de alumínio.

De um modo geral, os rios, furos e igarapés parecem sofrer a influência das marés, distinguindo-se três trechos principais: a cabeceira (onde, aparentemente, não se notou efeito), qualquer trecho médio (onde se verifica elevação de nível de água pelo efeito de represamento, sem que, ao que parece, ocorra mistura apreciável com outras águas) e, finalmente, um trecho final (onde varia o nível da água, ocorre inversão de corrente, bem como intrusão de águas da baía e de outros rios).

A extensão da intrusão de água da baía de Marajó depende da época do ano e das condições climáticas de toda a região. Assim, por exemplo, em agosto a novembro de 1983 registrou-se intrusão algo mais pronunciada de águas do oceano nos rios dessa área, em virtude da apreciável es-

tiagem ocorrida em grande parte da região amazônica.

A cobertura vegetal existente atualmente é, na maioria, constituída de mata secundária (apenas na Fazenda Caripi foi constatada existência de floresta primária). Nas cabeceiras dos igarapés desenvolvem-se grandes quantidades de macrófitas aquáticas, potencialmente úteis nos processos fotossintéticos (aliás, no igarapé do Conde já não existem macrófitas de forma abundante e, por outro lado, as nascentes desse igarapé estão ligadas ao já mencionado canal de despejo dos afluentes da fábrica de alumínio). O igarapé Dendê (cuja nascente ainda se encontra preservada) se junta ao Conde num ponto no qual se está procedendo estudo durante um ciclo completo de marés.

## MATERIAL E METODOLOGIA

Foram realizadas ao todo oito campanhas para coletar 67 amostras de águas superficiais e 8 amostras de águas subterrâneas. Foram cobertos dois períodos de estiagem e três períodos de chuva, além de períodos intermediários, visando estudar as características segundo as variações sazonais. Em todos os corpos d'água foi coletada uma amostra por ponto, em virtude dos igarapés apresentarem profundidades abaixo de um metro. Nos rios mais profundos foram feitas medidas de condutividade, pH e oxigênio dissolvido, segundo um perfil vertical, mas as diferenças apresentadas não justificaram outras coletas.

Inicialmente, foram estudados vários pontos dos rios Itaporanga, Barcarena, Murucupí, furo do Arrozal e igarapés Dendê, Pramajó, Pramajozinho, Água Verde, Japim e Pau Amarelo para se ter uma idéia das características numa área relativamente ampla.

As águas subterrâneas foram coletadas de poços escavados (rasos) e poços tubulares de profundidade variada (entre 50 m e quase 200 m) existentes nos acampamentos e imóveis das empresas sediadas na área (poços tubulares), bem como nos lugarejos e pequenas propriedades rurais (poços escavados, sem revestimento).

Consultando as fontes disponíveis na empresa (ALBRÁS/ALUNORTE) sobre o processamento industrial, este poderá produzir rejeitos que, ao atingirem os corpos d'água, poderão gerar aumento de íons fluoreto, cloreto, sulfato, bicarbonato, hidroxila, alumínio e, ainda, sólidos em suspensão e sólidos totais dissolvidos. Em consequência, poderá haver alteração de pH, condutividade, turbidez, dureza, bem como temperatura, coloração, odor, sabor... Como resultado do tratamento dos efluentes poderão aumentar os teores de alguns íons metálicos pesados, notadamente, ferro, chumbo...

Deste modo, planejou-se um estudo preliminar de avaliação e interpretação de resultados visando às seguintes propriedades, parâmetros e constituintes químicos: sabor, odor, cor, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, alcalinida-

de, dureza, pH, Ca, Mg, Na, K, Fe total,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SiO}_2$ ; em alguns casos foram avaliados, ainda,  $\text{NO}_3^-$ , Eh,  $\text{O}_2$  dissolvido, Fe (II), DQO e certos metais como Al, Mn, Co, Pb, Cu, Zn e Cd. Aparelhagem, métodos, parâmetros instrumentais e outras condições sobre os procedimentos químico-analíticos utilizados neste estudo são apresentados na Tabela 1.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Águas subterrâneas

As breves informações disponíveis sobre os poços (uns, tubulares, outros, abertos sem revestimento), que serviram ao estudo aqui procedido sobre águas subterrâneas, encontram-se resumidas na Tabela 2. Das informações coletadas sobre o perfil geológico no interior desses poços tubulares predominam as características típicas de terrenos quaternários associados ou não a terrenos e sedimentos mais antigos. Um exemplo típico de perfil geológico da área é representado pela Figura 2.

Conforme se pode observar, a predominância de argila, areia e algumas concreções lateríticas ratificam esperadas situações, bem representativas de terrenos muito comuns às proximidades da região metropolitana de Belém, PA, estudados por diversos pesquisadores e entidades (Ackermann, 1969; Campos *et al.*, 1974; Lima *et al.*, 1983a). É interessante salientar a influência da matéria orgânica (reduzida ou não), capaz de produzir ácidos húmicos, que influenciam em certas propriedades dessas águas subterrâneas. Ainda sobre o perfil geológico nessa área, Araújo & Azevedo (1986), em estudo recente sobre o com-

portamento hidrogeológico do aquífero Barreiras na área do complexo industrial ALBRÁS/ALU-NORTE, com base em trabalhos de perfuração, ratificaram observações sobre a existência de sedimentos aluvionares atuais e subatuais do Quaternário, bem como sedimentos cenozóicos do Mioceno Inferior (correspondentes à Formação Pirabas) e sedimentos de idade miocênica-pliocênica da Formação Barreiras.

A Tabela 2 resume dados sobre parâmetros e constituintes químicos de águas subterrâneas coletadas na região de Barcarena, às proximidades e no local onde se encontra a infraestrutura física do já mencionado complexo industrial. Características organolépticas, tais como, sabor e odor, não mereceram maiores descrições, pois os ensaios realizados "in loco" evidenciaram qualidade aceitável, todas com sabor ácido característico e algumas com fraquíssimo odor de gás sulfídrico, que logo desaparece com a aeração. Apenas a amostra 7, de poço escavado, sem revestimento, apresenta aspecto desagradável, sendo visível a interferência da matéria orgânica vegetal (parecia um poço abandonado). As temperaturas das amostras de águas foram tomadas diretamente à saída das torneiras ou nos baldes de captação, com variações de 27 a 33°C, de acordo com a hora de coleta. As temperaturas observadas durante as medidas de condutividade elétrica (em laboratório) registravam valores nos intervalos de 27 a 30°C.

Um breve exame dessa tabela logo revela águas com características ácidas (pH mínimo de 4,0 e máximo de 5,1), evidenciando presença de íons  $\text{H}^+$  solvatados, livres, capazes de alterar a composição e o balanço de íons comuns, consti-

Tabela 1 — Aparelhagem e métodos utilizados neste trabalho (\*).

Propriedade/parâmetro/constituente	Método	Aparelhagem
cor	colorimétrico	Aqua-tester Hellige
turbidez	nefelométrico	turbidímetro Hellige
condutividade elétrica	condutimétrico	condutivímetro TOA
pH, Eh	potenciométrico	potenciômetro TOA potenciômetro WTW (campo) potenciômetro TOA
alcalinidade	potenciométrico	
dureza (Ca + Mg)	titulométrico	
STD	estequiometria	
Ca, Mg, Na, K, Fe total	somatória de espécies	espectrofotômetro FMD4-Zeiss
Al, Mn, Co, Pb, Cu, Cd (traços)	absorção atômica	espectrofotômetro 400-Zeiss
Fe total, Fe (II)	absorção atômica	espectrofotômetro PM6-Zeiss
$\text{HCO}_3^-$	colorimétrico (o-fen)	
$\text{Cl}^-$	estequiometria	
$\text{SO}_4^{2-}$	titulométrico (**)	
$\text{SiO}_2$	turbidimétrico	espectrofotômetro PM6-Zeiss
$\text{NO}_3^-$	colorimétrico (***)	espectrofotômetro PM6-Zeiss
$\text{O}_2$ dissolvido	colorimétrico (****)	espectrofotômetro PM6-Zeiss
DQO	método de Winkler	
N amoniacal	redução pelo dicromato	
$\text{PO}_4^{3-}$	destilação/nesslerização	
	colorimétrico (*****)	

(\*) De acordo com APHA.AWWA.WPCF (1976) e Brown *et al.* (1974); (\*\*) métodos argentométrico e mercurimétrico; (\*\*\*) redução do complexo molibdo-silfício; (\*\*\*\*) redução com ácido fenoldissulfônico; (\*\*\*\*\* ) redução do complexo molibdo-fosfórico.

Obs.: (1) Tampões espectrais: La (dosagem de Ca e Mg); Cs (dosagem de K e Na); (2) para a dosagem dos traços de metais, utilizou-se a absorção atômica termelétrica, empregando forno de grafite.



PROFUNDIDADE	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO GEOLÓGICA
--------------	------------------	---------------------

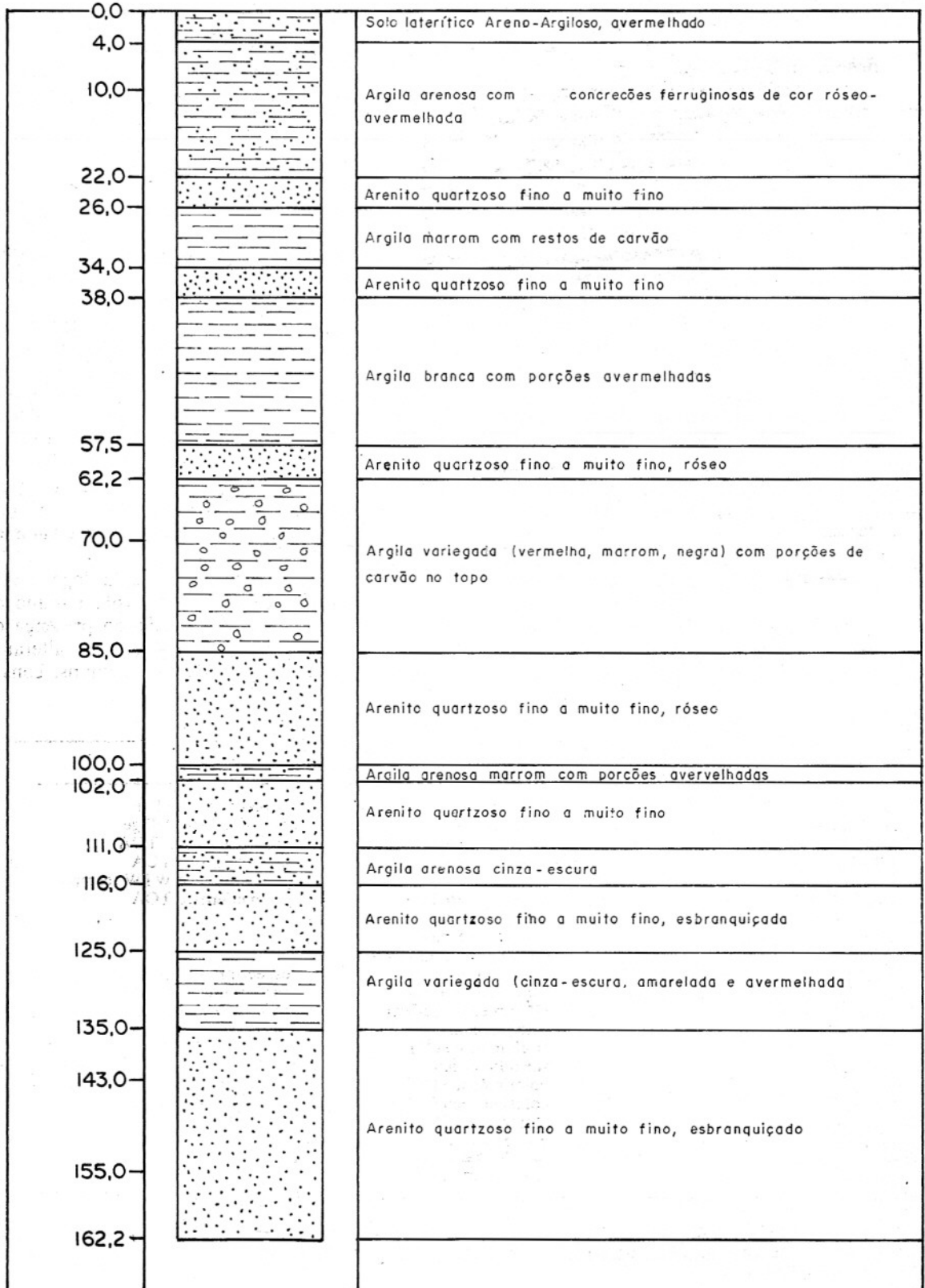


Figura 2 — Perfil geológico típico da região de Barcarena, PA.

Tabela 2 — Parâmetros e constituintes químicos (em ppm; Co e Zn, em ppb) de águas subterrâneas da região de Barcarena, PA.

Pontos	pH	$\rho^*$	Turbidez (N.T.C.)	Cor (U.C.)	Alc. total (CaCO <sub>3</sub> )	Dur. total (CaCO <sub>3</sub> )	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe (total)	Co	Zn	Informações
1	4,0	45	0,9	2,5	14,3	1,1	0,244	0,125	1,6	0,9	17,4	9,3	10,7	0,18	0,76	50	20	poço tubular, 183,51 m de profundidade (COSANPA)
2	4,5	35	0,1	1,0	17,5	0,9	0,187	0,112	2,0	0,24	21,4	5,3	3,2	0,01	0,22	50	140	poço tubular, 80 m de profundidade (ALBRÁS)
3	4,2	35	0,15	1,0	10,6	1,7	0,612	0,05	1,7	0,44	12,9	8,97	5,5	0,12	0,12	100		poço tubular, 50 m de profundidade (BETER)
4	4,6	35	1,0	3,0	10,3	4,3	0,8	0,562	2,0	0,38	12,57	9,5	3,9	0,1	0,3	30	90	poço escavado, sem revestimento (**)
5	4,3	35	0,15	1,0	17,5	1,3	0,237	0,175	1,8	0,71	21,35	6,8	7,0	0,2	0,75	50	70	poço tubular, 150 m de profundidade (ROSCOE)
6	4,7	35	0,30	1,0	13,4	1,6	0,412	0,125	2,2	0,35	16,35	9,2	3,0	0,01	0,12	20	20	poço escavado, sem revestimento (**)
7	5,1	32	1,5	25,0	10,5	4,9	1,03	0,55	2,0	0,7	12,8	6,5	3,2	0,1	0,32	10	20	poço escavado, sem revestimento (***)
8	4,3	35	0,2	1,0	11,8	1,6	0,287	0,2	2,3	0,79	14,4	8,11	4,4	0,01	0,28	20	20	poço tubular, 50 m de profundidade (particular)

(\*) Condutância específica (micromho/cm); (\*\*) com nível d'água a, aproximadamente, 2 a 3 m abaixo da superfície do solo; (\*\*\*) com nível d'água a, aproximadamente, 1,5 a 2 m abaixo da superfície do solo, caracterizado por água contendo restos de vegetais e odor desagradável

Obs.: 1. Medidas de pH e condutância específica efetuadas no campo; 2. ensaios sobre determinação de nitrato e fosfato em algumas dessas amostras revelaram teores abaixo de 0,1 ppm (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e 0,05 ppm (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>); 3. teores de Pb, Cu e Cd abaixo de 100 ppb; 4. COSANPA (Companhia de Saneamento do Pará), ALBRÁS (Alumínio Brasileiro S/A), BETER (Construtora BETER), ROSCOE (Empresa M. Roscoe)

tuintes de águas; revela, também, condutividades elétricas relativamente baixas, demonstrando a pequena contribuição de cátions e ânions totais presentes em solução; mostra, ainda, teores de Fe total, embora algo incômodos, todavia aceitáveis para consumo humano.

Os valores numéricos de condutividade elétrica (aqui expressos em termos de condutância específica, em micromho/cm) variam de 32 a 45 unidades, revelando baixos conteúdos em cátions e ânions em solução. Observe-se que a maior condutividade corresponde ao poço mais profundo, havendo, no entanto, descontinuidades entre os demais.

Considerando os índices de pH aqui registrados, é de se esperar que tal acidez esteja intimamente relacionada com o perfil geológico da área, rico em argilas caulínicas e contendo restos de vegetais e sedimentos carbonosos, provavelmente associados aos ácidos húmicos. Saliente-se o fato de que para as águas aqui estudadas, o pH varia ligeiramente com a profundidade. Assim, a média aritmética entre os poços mais profundos fica em torno de 4,2 (o poço mais profundo apresenta pH em 4,0); nos poços de profundidade média, o pH se encontra em 4,35 (média de 2 poços); e nos poços mais rasos, a média está em torno de 4,8. Tais fatos talvez estejam associados com o confinamento de gás e ácidos húmicos livres em solução, nos níveis mais profundos (poços tubulares).

As águas em estudo apresentam valores numéricos em turbidez (unidades U.N.T.) variando de 0,10 a 1,50, o que confere aceitabilidade segundo os padrões de WHO (1971) e EPA (1976), por exemplo. Suas colorações (em U.C.) variam de 1,0 a 2,5 aparecendo, no entanto, num poço escavado, sem revestimento, um índice de 25 unidades; com exceção desta, todas as demais amostras se encontram nos limites aceitos pelas citadas entidades.

É natural que a turbidez nas águas subterrâneas esteja associada aos sedimentos (argilosos, carbonáticos, carbonosos, por exemplo); considerando que os ensaios aqui procedidos revelaram detecção de matéria orgânica em mínimas quantidades, além de existência de baixos índices de dureza e notável presença de material argiloso no perfil, é intuitivo concluir que os baixos índices de turbidez nessas captações esteja associado a horizontes arenosos, que atuam como efetivos agentes filtrantes.

Muitas águas de superfície apresentam coloração algo pronunciada, ao contrário de águas subterrâneas; no entanto, a influência de matéria orgânica, no meio aerado, produz eficiente concentração de substâncias coloridas, tais como taninos, ácidos húmicos, humatos (Schoeller, 1962; Hem, 1970; Custodio & Llamas, 1976), fatos esses provavelmente relacionados com a ocorrência da intensa coloração no poço 7.

Considerando que o pH das águas amostradas mostra índices abaixo de 8,5, que é o "pon-

to" representativo da curva de neutralização de  $\text{CO}_3^{2-}$  originando  $\text{HCO}_3^-$ , geralmente observado nas titulações com fenolftaleína (Butler, 1964), tem-se que os testes efetuados apresentariam resultados numericamente nulos; apenas a alcalinidade ao metilorange ofereceu valores numéricos adequados a averiguações e estudo. Como seria de se esperar, em muitas situações os maiores valores numéricos de alcalinidade correspondem aos índices de pH mais elevados.

A dureza — causada pela presença de cátions metálicos divalentes, notadamente  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , associados aos principais ânions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (Sawyer & McCarty, 1967) — foi aqui avaliada por cálculo estequiométrico, relacionando-se apenas Ca e Mg, separadamente, com o  $\text{CaCO}_3$ . Observando-se os valores numéricos para a dureza conclui-se logo tratar-se de águas brandas (Sawyer & McCarty, 1967; Custodio & Llamas, 1976).

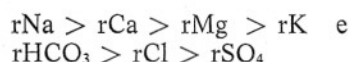
Os conteúdos de cátions e ânions (máximos de 2,3 ppm para o  $\text{Na}^+$  e 21,4 ppm para o  $\text{HCO}_3^-$ ) corroboram os baixos valores numéricos obtidos para as condutividades elétricas. Note-se que os valores detectados para o Fe bem revelam a natureza do perfil laterítico, rico em material ferruginoso; ainda assim, essas águas possuem teores mais baixos (máximo de 0,76 ppm de Fe) do que os índices observados por Lima *et al.* (1983b) em poço artesiano (de 60 m de profundidade) localizado em perfil semelhante no bairro de Sacramento, Belém, cujos valores detectados atingiram 3,0 ppm de Fe. Por sua vez, é lícito aceitar que os poços mais profundos (de 150 a 184 m, por exemplo) possam apresentar não só os maiores teores em  $\text{Fe}^{2+}$  (influência do meio redutor) como em Fe total, sem que isso represente uma regra absolutamente rigorosa.

Os ânions  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  (e, ainda,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ) encontram-se associados aos cátions já mencionados, com maior ou menor tendência de combinações entre si (Hem, 1970; Custodio & Llamas, 1976). Ensaio nos laboratórios evidenciaram baixos teores de  $\text{NO}_3^-$  (abaixo de 0,1 ppm) e  $\text{PO}_4^{3-}$  (abaixo de 0,05 ppm). Não se procedeu o estudo da sílica e de silicatos solúveis por mera opção, diante dos resultados já obtidos para as demais espécies químicas.

Calculando-se a contribuição de cátions e ânions (em miliequivalente) para a maior ou menor condutividade elétrica, observou-se que as maiores influências são de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ , respectivamente. Todavia, apenas a contribuição total de cátions e ânions merece maiores atenções, posto que a literatura científica (Custodio & Llamas, 1976) registra que condutividade elétrica (em micromho/cm)  $\approx 50$  (cátions + ânions, em miliequivalentes). Estudando-se essa relação com os resultados oriundos dos cálculos das somatórias de cátions e ânions (em miliequivalente) obtém-se valores numéricos para a constante muito próximos de 50. Assim, os valores algo mais

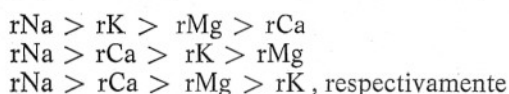
discrepantes foram obtidos para os pontos 4 (47,5), 6 (48,4) e 7 (48,3) com erro relativo máximo da ordem de 5% (creditando-se 50 como valor de referência).

Trabalhando-se com as médias aritméticas dos conteúdos de cátions e ânions (expressos em miliequivalentes por litro), obtém-se a seguinte ordem decrescente:



No entanto, quando se considera tais ordens segundo grupos de amostras em diferentes profundidades, observa-se:

poços mais profundos (acima de 100 m)  
poços de profundidade média (de 50 a 80 m)  
poços menos profundos (máximo de 5 m)



A mesma ordem,  $rHCO_3 > rCl > rSO_4$ , porém, é mantida para os ânions, nas três situações consideradas.

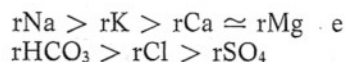
Aparentemente, é nítida a influência das águas de precipitação pluviométrica nesses lençóis freáticos, a julgar pelos teores predominantes de  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$  e  $Cl^-$  (vide, por exemplo, White *et al.*, 1963). Entretanto, considerando-se prováveis interações entre as águas de chuva, a floresta e o perfil geológico da área, rico em restos de vegetais, é intuitivo associá-los a maior concentração de K (seguida pela de Mg) nos horizontes mais profundos. Por sua vez o ânion  $SO_4^{2-}$  mostra-se cerca de duas vezes mais concentrado nas águas mais profundas, como, aliás, poder-se-ia esperar (Schoeller, 1962; White *et al.*, 1963; Hem, 1970; Custodio & Llamas, 1976); as concentrações mais baixas de  $SO_4^{2-}$  parecem estar associadas à redução do ânion, mediante ação de bactérias (alguns poços, aliás, apresentam odor característico de gás sulfídrico, embora pouco pronunciado). Talvez a maior contribuição aos teores de  $HCO_3^-$  seja, no entanto, devida ao gás carbônico, que, por sua vez, está relacionado com a decomposição da matéria orgânica vegetal, que predomina no perfil geológico nos horizontes mais profundos.

Os índices  $rK/rNa$  e  $rMg/rCa$  variam, respectivamente, de 0,11 a 0,28 e 0,3 a 1,1 (médias aritméticas dos valores segundo a profundidade), que são característicos de água doce (Custodio & Llamas, 1976). Já o índice  $rCl/rHCO_3$  varia muito pouco aparentemente (de 0,72 a 0,98), situação essa compatível para águas subterrâneas (Custodio & Llamas, 1976).

As ordens, os índices, o pH e a dureza aqui fornecidas permitem classificar tais amostras segundo águas doces, brandas, do tipo bicarbonatada sódica, ácidas (Custodio & Llamas, 1976).

Trabalhando em área geográfica (microrregião) muito semelhante, Piuci (1978) reuniu in-

formações relativas à composição química de águas subterrâneas da região de Ponta de Pedras (também localizada na baía de Marajó), de onde foram compilados resultados de 18 amostras (de piezômetros), com profundidades variando em torno de 15 m (praticamente em todos os casos), coletadas em período de maior estiagem (outubro), atravessando perfil característico (argila arenosa, areia, intercalações conglomeráticas, ferruginosas, sedimentos carbonosos, notadamente); esses dados permitiram elucidar ordens de predominância dos tipos:



o que ratifica a predominância de  $Na^+$  e  $HCO_3^-$ , bem como confirma certa concentração de  $K^+$ . Os índices  $rK/rNa$  (com média aritmética em torno de 0,13),  $rMg/rCa$  (média em 1,33) e  $rCl/rHCO_3$  (média de 0,81) para tais águas (de pH variando de 3,5 a 4,9), condutividade elétrica de 19 a 42 micromho/cm e dureza máxima de 8 unidades em ppm de  $CaCO_3$  bem se enquadram segundo águas doces, brandas, do tipo bicarbonatada sódica, ácidas.

Já nos resultados analíticos divulgados por Patterson & Robertson (1961), e relativos a águas de lençóis freáticos (seis amostras) circulantes em perfis alterados de basaltos (com pH ácido, variando de 4,6 a 5,6, condutividade de 54 a 90 micromho/cm e dureza máxima de 12 ppm de  $CaCO_3$ ), no Havai, evidencia-se, através de cálculo, ordens do tipo  $rNa > rMg > rCa > rK$  e  $rCl > rSO_4 > rHCO_3$ .

Tais fatos parecem confirmar que águas brandas, de baixas condutividades, geralmente apresentam teores mais elevados de Na, seguidos de alterações de posição entre si, envolvendo Ca, Mg e K (para os cátions) e de  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$  e  $SO_4^{2-}$  (para os ânions), segundo as influências do meio natural (águas de chuva, solo, ocorrência e natureza das argilas no perfil, existência de matéria orgânica, prováveis interferências de águas superficiais, notadamente). Deste modo, pelo que se pode induzir sobre as águas de lençóis freáticos aqui estudadas não se detectou maiores influências nas concentrações de  $Cl^-$  e  $SO_4^{2-}$ , mesmo em período de maior estiagem, como é o caso do mês de dezembro, antes do início das chuvas.

Sobre a contribuição dos elementos traços neste estudo hidrogeoquímico, alguns resultados preliminares foram alcançados (Tabela 2). As condições experimentais empregadas permitiram detectar variações para o Co (de 10 a 100 ppb) e para o Zn (de 20 a 140 ppb). Aparentemente, esses elementos não estão associados diretamente a algum dos elementos maiores ou menores constituintes dessas águas, mas é de se esperar que estejam relacionados com a matéria orgânica e os sedimentos, formando espécies complexas (Levinson, 1974) ou vinculados aos reticulados cristalinos de minerais (Shaw, 1964).



É sugestivo destacar, por exemplo, que Paterson & Robertson (1961) detectaram Mn em teores da ordem de 70 a 540 ppb em águas circulantes em basaltos alterados contra 0,0 ppb nas rochas frescas; não detectaram Cr quer no material alterado, quer no basalto puro; e, por sua vez, observaram que B tanto se apresenta no basalto inalterado (de 10 a 50 ppb), como no manto de intemperismo (variando de 20 a 50 ppb).

Já para águas de lençóis freáticos ocorrentes em região tropical (bacia de Korhogo, Costa do Marfim, África), Tardy (1969) obteve valores de pH em torno de 5, condutividades da ordem de 13 micromho/cm, teores predominantes de bicarbonato, sódio e potássio (embora muito baixos, coerentes com a condutância do eletrólito), bem como concentrações de elementos traços com índices máximos detectados de até 81 ppm para Fe, de 28 ppb para Mn, 19 ppb para Sr, 7 ppb para Al e 5 ppb para Pb.

### Águas superficiais

Os pontos amostrados para as águas superficiais acham-se indicados na Figura 3, que contém também um quadro representativo das suas características e vulnerabilidade.

Considerando que a primeira etapa do trabalho desenvolvido correspondeu a um levantamento preliminar, tal fato provocou aparecimento de inevitáveis repetições, razão pela qual muitos outros pontos de coleta foram, posteriormente, abandonados. Assim, na Figura 3, selecionou-se apenas alguns pontos tidos talvez como mais representativos da situação na área em estudo. O

ponto 26, localizado na própria baía de Marajó, às proximidades da embocadura do igarapé do Conde, é representativo de toda influência de águas da baía, bem como de despejos oriundos da fábrica de produção de alumínio; o ponto 6, no igarapé Dendê (praticamente na confluência com o igarapé do Conde), constitui local de observação mais cuidadosa, visto que, conforme já se salientou, se junta ao Conde, cuja nascente se comunica com o canal de despejo da mencionada fábrica; também os pontos 24 (no igarapé do Conde) e 25 (no Dendê), devido à extrema proximidade, merecem atenção semelhante; os pontos 2, 3 e 4 representam locais às proximidades ou nas próprias cabeceiras dos igarapés Água Verde, Pramajozinho e Pramajó; também os pontos 13, 14 e 15 (situados em três diferentes igarapés) estariam bem preservados, mas merecem observações constantes pelo fato de serem atravessados por uma estrada de rodagem. Enquanto o ponto 19 (embora localizado em rio) esteja sujeito a influências de águas de igarapé, o ponto 20 (no rio Barcarena) é bem característico de águas de rio. Mereceram também atenção, em virtude de suas vulnerabilidades às águas da baía de Marajó, os pontos 18 (no rio Murucupi, às proximidades da confluência com o rio Itaporanga), 17 (no próprio rio Itaporanga, a pouco mais de 1 km da foz, na baía), 8 (praticamente em frente à cidade de Barcarena, no rio de mesma denominação), 1 (no rio Itaporanga, um pouco mais rio-acima) e 9 (no rio Barcarena, nas imediações do porto de São Francisco, praticamente na confluência com o rio Itaporanga).

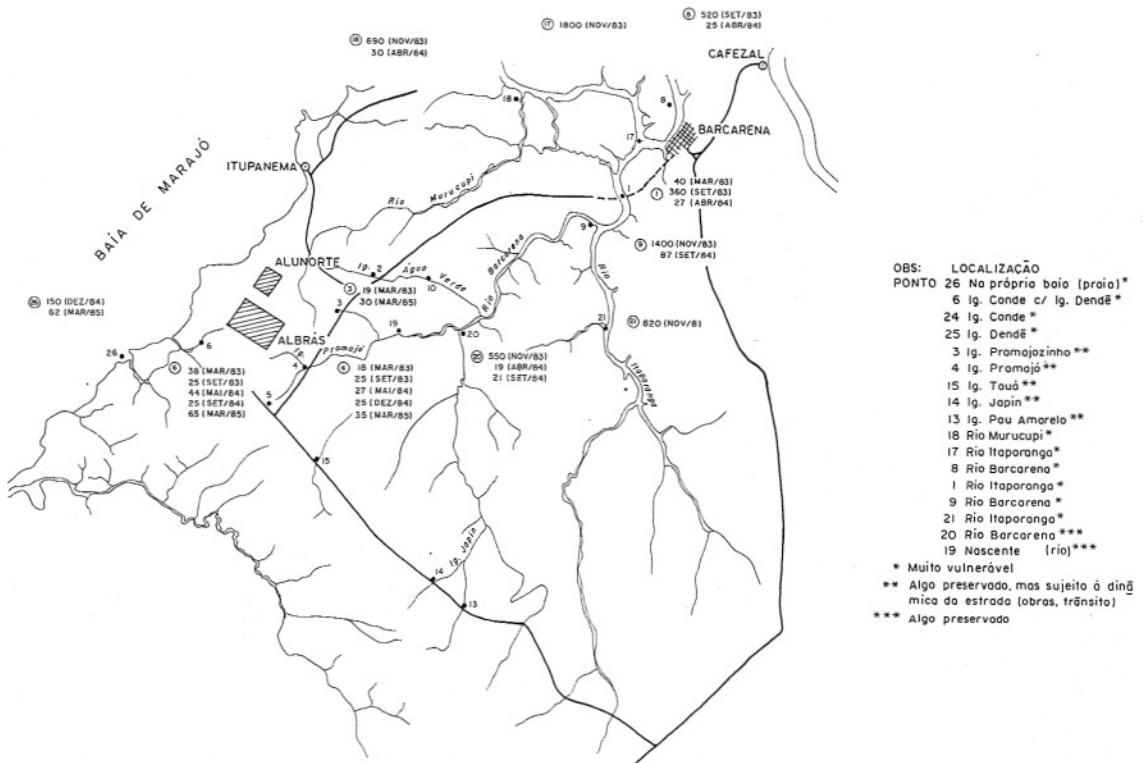


Figura 3 — Distribuição da condutividade elétrica em pontos selecionados de amostragem (micromho/cm).

Na tentativa de melhor visualizar a influência das águas da baía de Marajó no sistema flúvio-estuarino de Barcarena, procedeu-se a montagem de resultados das medidas de condutividade elétrica observadas no período de estiagem de 1983. Referido período (de agosto a dezembro de 1983) caracterizou-se por ser excepcional, sendo por isso mesmo merecedor de maiores atenções. Como a condutividade elétrica (aqui indicada pela condutância específica, expressa em micromho/cm) constituiu um sensor notável aos estudos de diferenciação, optou-se por uma representação gráfica desse parâmetro físico-químico. Assim, observando a Figura 3, verifica-se nítida influência de águas da baía de Marajó (onde ocorre maior contribuição de águas salobras resultantes da mistura de águas fluviais com oceânicas), notadamente nos pontos 8 (condutância de 520 em setembro), 18 (690 em novembro) e 17 (1800 em novembro), bem como nos pontos mais internos 1 (360 em setembro), 9 (1400 em novembro), 21 (820 em novembro) e 20 (550 também em novembro), todos esses pontos pertencentes às águas de rio, e observados na enchente ou na preamar.

Por sua vez, ao contrário dos já mencionados, os pontos 4 e 6 (águas de igarapé) possuem condutância (em setembro de 1983) com valores numéricos baixos (25 micromho/cm), sugerindo preservação da influência de águas mais salobras, oriundas da baía, quando observados em maré baixa. Referida figura exhibe, ainda, dados de condutância em março, abril, maio, setembro e dezembro de 1984 e 1985, revelando situação regular, já restabelecida, ao contrário de 1983, que, conforme já se mencionou, foi um período extraordinário. Deste modo, até mesmo nos pontos mais expostos às águas da baía de Marajó (18, 17 e 8), as condutâncias específicas ficaram em torno de 25 a 30 micromho/cm (abril/84); nos pontos 6 e 4 a condutividade máxima observada ficou em 25 micromho/cm (setembro e dezembro/84, respectivamente). Já no ponto 26, na própria baía, obteve-se um índice de 150 micromho/cm em dezembro de 1984, já evidenciando certa penetração de águas algo salobras.

Para se perceber de modo mais realista a influência de águas oceânicas na baía de Marajó, nas proximidades da região de Barcarena, recolheu-se dados coletados por Branco (1985), químico da empresa Centrais Elétricas do Pará, à altura de Miramar (na baía de Guajará, no litoral da região metropolitana de Belém), e comparou-se com os dados disponíveis em Barcarena, à altura do ponto 8 de amostragem. Esses resultados acham-se dispostos na Figura 4.

Como se pode notar, nos períodos anuais comuns, sem estiagens excepcionais, não é pronunciada a intrusão de águas salobras, atingindo-se um máximo de condutividade elétrica em novembro. Embora tais dados tenham sido recolhidos na preamar, não o foram, porém, nas mesmas oportunidades (dia e hora); no entanto, ainda

assim, parecem válidos para esse tipo de especulação sobre a intrusão de águas salobras no sistema fluvial estudado. É válido ainda citar que esses fatos coincidem com as observações de Cordeiro (1986) e Cordeiro *et al.* (1987), quando comparam as variações sazonais, durante o ano de 1985, em Mosqueiro (praia de Marajú, local muito próximo do oceano), Icoaraci (na citada baía de Guajará, na região metropolitana de Belém) e no rio Guamá (campus universitário, Belém); assim, enquanto em Mosqueiro as variações foram intensas (um mínimo de 45 micromho/cm em março/85 frente a um máximo de 13000 micromho/cm em agosto/85 e um retorno para 119 unidades em janeiro/86), em Icoaraci e Belém elas foram bem menos pronunciadas (tanto em Icoaraci como em Belém apareceram máximos de condutividade apenas em novembro/85, sendo 1200 em Icoaraci e 86 no rio Guamá, em Belém).

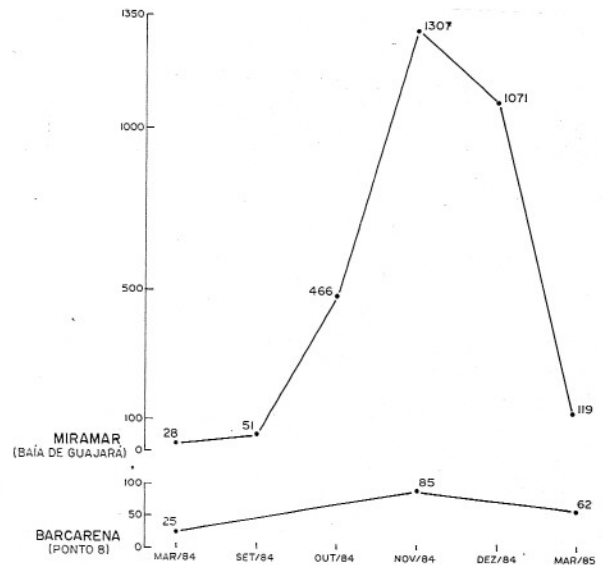


Figura 4 — Variação sazonal da condutividade elétrica (micromho/cm). Comparação entre Miramar e Barcarena, PA.

Depreende-se, portanto, que, se a baía de Marajó receber maior contribuição de águas salobras, estas farão intrusão nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena até certos pontos característicos. Do mesmo modo, efluentes lançados na baía de modo desordenado e em quantidades apreciáveis poderão contaminar importantes fluxos de água da área, mesmo considerando a dinâmica das marés e a sua constante renovação (enchentes e vasantes diárias).

A Tabela 3 resume alguns parâmetros físico-químicos e constituintes químicos de águas superficiais relacionadas com os igarapés e rios da região nas proximidades de Barcarena. As temperaturas registradas no campo mostram pequenas oscilações no decorrer do dia (em geral variam de 25 a 33°C), e evidenciam as características do clima quente e úmido, típico dessa microrregião.

Os resultados numéricos sobre a coloração das águas são compatíveis com a maior ou me-

Tabela 3 — Parâmetros e constituintes químicos (em ppm; Cu a Al, em ppb) de águas superficiais da região de Barcarena, PA.

Pontos	Cor (U.C.)	Turbidez (N.T.C.)	pH	$\rho^*$ (t°C)	O.D. (O <sub>2</sub> , ppm)	D.Q.O. (O <sub>2</sub> , ppm)	Alc. total (CaCO <sub>3</sub> , ppm)	Dur. total (CaCO <sub>3</sub> , ppm)	STD	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
6			5,4	25			7,0	8,0	25	2,04	0,7	2,0	0,3	8,54
			6,3	41	5,9		12,0	13,0	40	3,93	0,86	1,7	0,9	14,64
	40	18	5,2	65	4,5	7,8	12,2	19,3	50	6,75	0,61	9,0	0,34	14,9
24	20	2,5	3,9	29 (28)	5,4		6,4	13,5	25	4,81	0,35	1,8	0,19	7,8
25	30	11	4,0	86 (25)	6,3	23	21,5	20,5	55	7,31	0,54	1,5	0,32	26,23
4	30	9	5,0	26	6,8	7,8	6,8	6,6	24	2,13	0,31	2,0	0,3	8,3
3	10	1,25	6,8	30 (28)	3,0	15,7	4,9	19,0	25	6,87	0,412	2,5	0,24	6,0
15			5,1	14 (28)	7,0		7,0	1,8	13,4	0,362	0,225	1,6	0,37	8,54
26			6,8	150 (28)	20,5		20,5	25,0	138	5,05	2,94	28,0	1,9	25,0
	100	26	6,8	62 (29)	9,0	15,7	14,7	23,5	56	7,25	1,3	2,1	2,0	18,0
1			6,5	40			13,5	13,0	31	3,31	1,12	2,5	1,14	16,47
			6,2	360			15,0	43,0	232	6,12	6,67	57,5	5,23	18,3
	70	54	5,9	27	4,7		7,5	7,3	35	1,55	0,82	2,3	0,75	9,15
8			6,3	520			15,0	55,0	334	6,94	9,07	87,0	12,0	18,3
	70	44	6,2	25	4,8		8,5	7,3	31,3	1,57	0,81	1,8	0,95	10,37
9	6	13	6	1250			11,5	116	724	10,7	21,3	182	12,0	14,03
			6,0	87 (29)	4,6		13,5	21,3	61	4,0	2,7	3,7	0,18	16,5
			5,9	47 (29)	5,2		9,9	12,0	40	1,8	1,83	2,5	0,1	12,1
17	10	16	6,5	1700			17,0	152	1108	12,4	29,0	245	21,0	20,74
18	20	17	6,5	690			20,0	78,0	400	11,02	12,0	81,0	10,5	24,4
	80	60	6,0	30 (30)	5,1		9,0	8,6	31	1,94	0,9	2,5	0,75	11,0
19	20	14	5,6	18 (28)	6,8		6,8	6,8	23	1,7	0,61	0,5	0,34	8,3
20	7,5	11	4,7	550			20,0	54,4	363	6,25	9,3	76,0	8,43	24,4
	10	23	5,2	19 (28)	5,2		3,0	3,0	25	0,48	0,40	2,1	0,21	3,66

(\*) Condutância específica (micromho/cm); dureza e STD foram calculados (ver texto); (\*\*) 0,037 em maio/84 e 1,295 em março/85; (\*\*\*) 360 ppb em baixamar e 160 ppb em preamar

Tabela 3 (cont.)

Pontos	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sup>2+</sup>	Fe (total)	Cu	Pb	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Zn	Co	Mn	Cd	Al	Eh (volt)	Período de amostragem
6	2,5	1,92	6,0		1,35										set/83 (baixamar)
	3,72	3,52	7,0		3,9	0,15									mar/83-mai/84 (média)
	5,27	7,6	2,3		2,87	0,54	100	100	70		90			+0,071	mar/85 (preamar)
24	5,15	3,9	0,23		1,14		100	100	60		60			+0,154	mar/85 (baixamar)
25	7,04	7,2	0,28		3,3	0,78	100	100	95		90				mar/85 (preamar)
4	4,06	2,83	2,56		1,24	0,08**	100	100	80	30	90				mar/83/85-dez/84 (m.)
3	5,78	0,61	0,22		1,17	0,93	100	100			80			+0,015	mar/85
15	0,5	1,5	0,15		0,14		100	100			10	100			dez/84
26	54,5	13,4	5,6		1,7		100	100		50	40	100			dez/84 (preamar)
1	5,3	8,8	7,0		4,78	1,14	100	100	70		40			-0,016	mar/85 (preamar)
	4,8	1,75	6,5												mar/83 (m. das marés)
8	81,0	49,0	5,41		1,95										set/83 (enchente)
	3,57	6,6	7,69		2,5	0,04									abr/84 (enchente)
9	124	68	5,84		3,0									+0,134	set/83 (enchente)
9	3,33	2,9	7,12		2,37	0,02									abr/84 (baixamar)
	318	160	6,05		0,31		100	100		10	40		50		nov/83 (m. das marés)
17	17,0	11,0	3,4	0,87	1,46					20					set/84 (preamar)
	6,8	8,73	4,2	0,73	1,36					30					set/84 (baixamar)
18	473	303	3,4		0,6		100			8	10		260***		nov/83 (m. das marés)
18	167	90	3,56							5			140		nov/83 (preamar)
19	5,0	7,5	8,26		3,37	0,01					15				abr/84 (baixamar)
20	1,13	6,41	2,64	0,45	0,56					10					set/84 (m. das marés)
20	141	91	6,26		0,61					8	150		40		nov/83 (preamar)
	5,71	4,32	6,90		0,87	0,02	100								abr/84 (preamar)



nor influência do meio vegetal. Assim, nos períodos mais chuvosos (coletas em março/abril/maio), observou-se maiores índices de unidades de cor. Há, ainda, diferenciação entre rios e igarapés, o que é visível no campo; nos rios, os índices variam de 10 (local mais preservado, com certa influência de águas de igarapé) a 80 (rio tipicamente influenciado por águas da baía); nos igarapés, as variações de coloração se estendem de 10 (igarapé típico) até 40 (igarapé sujeito a influências de águas da baía pela mistura e represamento durante as marés altas). Esses valores mais elevados podem estar relacionados com a intensa perturbação do movimento das marés nos períodos mais chuvosos, onde se nota grande influência de material de floresta (troncos, ramos, folhas, frutos), que é arrancado das margens e transportado pelas águas, notadamente nos rios (observe-se um valor máximo, acima de 100 unidades de cor, detectado nas águas da baía em março/85). Por sua vez, nos períodos mais secos (coletas em setembro, novembro e dezembro), os rios exibem valores que oscilam de 6 unidades de cor para 20, sendo praticamente desprezível nos igarapés mais rasos, nos locais mais próximos de suas nascentes e livre de maiores influências do meio vegetal.

Também a turbidez apresenta variações sazonais e de origem das águas superficiais amostradas. Como seria de se esperar à vista da sua natureza, as águas de igarapé possuem valores de turbidez algo desprezíveis nos períodos menos chuvosos, e variações de 1,25 a 11 unidades na maioria dos casos observados, sendo 18 no ponto de coleta 6 (confluência dos igarapés Conde e Dendê, que, conforme já se salientou, está sujeito à influência de águas da baía durante a preamar). Já os rios exibem turbidez mais elevada, tendo em vista a própria quantidade de material em suspensão, notadamente de natureza argilosa; seus índices se estendem de 23 unidades (local algo mais preservado, sujeito à mistura de águas de igarapé) a 54 (ponto de coleta típico de rio), nos períodos mais chuvosos e de 11 a 17 unidades, nos períodos mais secos (na realidade, menos chuvosos). Com relação à variação de cor e turbidez, considerando as medidas tomadas na preamar e na baixamar, alguns pontos assinalados aparentemente não padecem de alterações significativas. A turbidez registrada se refere sobretudo ao material em suspensão nessas águas de rios (complexo coloidal, oriundo de matéria orgânica e argila). Ensaio preliminares realizados para este estudo experimental confirmam a predominância de caulinita, seguida de illita em quantidades bem menos significativas e teores muito baixos de montmorillonita, resultados esses compatíveis com o material estudado em águas da baía de Guajará e no Mosqueiro (Lima *et al.*, 1983a; Cordeiro, 1986; Cordeiro *et al.*, 1987). Por sua vez, Gibbs (1967 observou estreita relação entre a salinidade e a composição química e concentração dos sólidos em suspensão, caracte-

terizando-se uma diminuição destes com um aumento daquela, notadamente nos períodos menos chuvosos.

Quanto ao pH, obteve-se variações entre as leituras efetuadas no campo e nos laboratórios para as mesmas amostras. Assim, por exemplo, nas águas coletadas nos igarapés abaixo indicados (pontos), em março/85, registrou-se:

ponto	pH (campo)	pH (laboratório)
4	3,96	5,6
6	5,2	6,0
15	3,4	4,9
24	3,9	4,9
25	3,95	4,2

Essas variações estão certamente relacionadas com a influência de gás carbônico, cuja presença nas águas produz aumento de acidez e, posteriormente, mediante perda, por escape de gás, nas manipulações (em laboratório) há aumento de alcalinidade. De um modo geral, as águas mostram-se ácidas (pH sempre abaixo de 7), compatíveis com a influência da natureza do material dissolvido e em suspensão nas águas de rios da Amazônia (influência do tipo de argila, rica em caulinita, e dos ácidos húmicos oriundos da decomposição vegetal).

Como observação preliminar, foram feitas medidas de Eh (potencial de oxidação) para as águas em estudo. Os valores demonstram claramente tratar-se de ambientes aerados ácidos, com maior ou menor influência de matéria orgânica e argilosa dissolvida em alguns casos (valores de Eh mais baixos ou negativos, certamente resultantes da diminuição de oxigênio dissolvido no meio aquoso e aumento da capacidade redutora desse mesmo meio).

Os valores de oxigênio dissolvido exibem alguma diferenciação. Nos igarapés, variam de 3,0 (aparentemente muito baixos) a 8,47 mg/l (talvez mais significativos), enquanto nos rios se estendem numa faixa estreita, entre 4,6 e 6,8. É de se esperar que os valores mais baixos correspondam à consumação de gás oxigênio efetuada pela ação redutora da matéria orgânica, notadamente nos casos em que haja maior represamento de águas (na baía, por exemplo, observou-se um índice de 9,0 mg/l, significativo, quando se considera a visível influência de ventos e certa turbulência das águas). Não se conseguiu detectar diferenciação expressiva para as medidas tomadas em preamar e baixamar.

As medidas de condutividade elétrica (condutância específica, em micromho/cm) mostraram ser um sensor importantíssimo nas variações de comportamento eletrolítico nesses ambientes. Tendo em vista que a estiagem de 1983 foi excepcional, na região, os índices registrados para as coletas efetuadas em setembro/dezembro no referido ano somente podem ser consideradas à parte (são, nitidamente, distintos os valores nu-

méricos relativos a esse período). Nos períodos chuvosos comuns (anos de 1984 e 1985), as condutividades nos igarapés variam de 18 a 42 com média em, aproximadamente, 32 micromho/cm (valores mais elevados, de 65 e 86 unidades referem-se a ponto de coleta sujeito à influência de águas da baía); situação algo semelhante ocorreu para os rios (com média em torno de 28 micromho/cm). Já no período menos chuvoso comum (anos de 1984 e 1985), a média nos igarapés diminui para cerca de 21 unidades, enquanto que nos rios sobe para 67, nos pontos mais vulneráveis às influências das águas da baía (nesta, as medidas de condutividade são 62 no período mais chuvoso e 150 micromho/cm, na estiagem, e que corresponde à penetração de águas mais salobras, por influência do oceano). Em alguns pontos estudados, detectou-se variações interessantes, quando se efetuam medidas em preamar ou baixamar; assim, por exemplo, enquanto nos pontos de coleta 1 e 20 não se obteve variações significativas (39 e 41, e 21 e 20, respectivamente), no ponto 9 observou-se, no período excepcional de novembro de 1983, 1400 na preamar e 1100 na baixamar, e 87 (preamar) e 47 (baixamar) em período comum (setembro/84). Aliás, tomando como referência o ponto 6 (estratégico), procedeu-se a observação mais minuciosa da variação de condutividade, pH e oxigênio dissolvido, segundo o movimento das marés (Fig. 5).

Enquanto o pH e o oxigênio dissolvido não oferecem variações mais expressivas, a condutividade elétrica exhibe diferenciação notável no que diz respeito à dinâmica das marés.

Sobre o pH e a alcalinidade dessas águas superficiais, é válido destacar que em muitas situações há estreita relação entre esses parâmetros

(quanto maior o pH, maior é a alcalinidade), embora haja certas discontinuidades, resultantes das contribuições oriundas do próprio equilíbrio químico (e iônico) em solução (Butler, 1964). Tornou-se improdutivo procurar diferenciação entre igarapés e rios considerando a alcalinidade total como sensor; no entanto, alguns valores numericamente baixos, constantes da Tabela 3, refletem situações algo extremas, revelando a pobre alcalinidade das águas superficiais.

A dureza das águas também reflete um quadro típico. A pobreza em sais de cálcio e magnésio é muito comum nas águas estudadas. Nos igarapés, os índices variam de 1,8 (em termos de ppm de  $\text{CaCO}_3$ ) a 14,8, sendo a média em setembro/dezembro menor (da ordem de 4,9) em relação aos períodos mais chuvosos (média em torno de 14,6). Nos rios, no período de chuvas abundantes, a média (próximo de 8 unidades) é, no entanto, menor do que nos períodos de maior estiagem (com média próxima de 11 ppm de  $\text{CaCO}_3$ ). Tais correlações parecem evidenciar o fato de que nos igarapés as águas carregadas pela chuva transportam quantidades mais apreciáveis de sais de cálcio e magnésio; ao contrário, nos rios, talvez por influência do movimento das marés na baía, os maiores índices de dureza, aqui observados nos períodos anuais comuns (de 1984 e 1985) guardam associação com a estiagem e a conseqüente penetração de águas algo salobras resultantes de mistura de águas fluviais com oceânicas (aliás, no período excepcional de setembro/83, detectou-se os valores máximos de dureza registrados na Tabela 3, em conformidade com os dados de condutividade elétrica, situações essas resultantes da penetração de águas marinhas no sistema flúvio-estuarino de Barcarena). A dureza das águas superficiais, no quadro geral, em

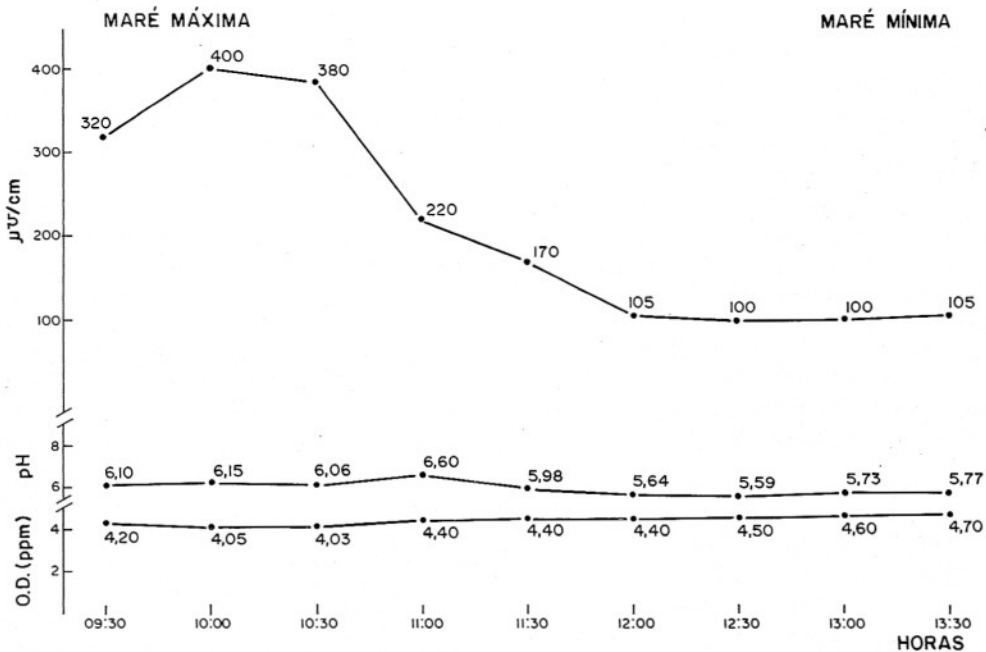


Figura 5 — Variação do oxigênio dissolvido (O.D.), pH e condutância específica segundo o movimento da maré (confluência dos igarapés Dendê e Conde). Temperatura: 27°C (cte.).

períodos anuais comuns (sem estiagens prolongadas), é muito baixa quando comparadas com outras regiões em que se nota certa influência marinha (Custodio & Llamas, 1976).

Há identidade de relação nas ordens de predominância de cátions e ânions nas águas pesquisadas. Embora existam descontinuidades, a ordem predominante de cátions nos igarapés é  $rCa > rNa > rMg > rK$  e nos rios  $rCa > rNa \approx rMg > rK$ . Já para os ânions a ordem é bem mais constante:  $rHCO_3 > rCl > rSO_4$ .

Quanto à contribuição das espécies ao aumento de condutividade elétrica, verifica-se que, na maioria dos casos, há ligeiro excesso de miliequivalentes em ânions relativamente aos cátions. Tal fato talvez esteja relacionado com os teores de íons  $HCO_3^-$ , que são calculados com base nos valores numéricos da alcalinidade total.

As razões numéricas entre o número de miliequivalentes envolvendo cátions e ânions (os também assim chamados *índices hidrogeoquímicos*) têm sido amplamente empregados na literatura científica nas tentativas de estabelecer diferenciação entre os diversos tipos e origens de águas (Schoeller, 1962; White *et al.*, 1963; Hem, 1970; Levinson, 1974; Custodio & Llamas, 1976, entre outros). Neste estudo, alguns resultados mostram-se bastante esclarecedores no trabalho de diferenciação. Assim, por exemplo, os índices abaixo indicados apresentam-se caracterizados segundo:

	igarapés	
rK/rNa	0,056 a 0,14;	média 0,091
rMg/rCa	0,1 a 1,06;	média 0,033
rCl/rHCO <sub>3</sub>	0,1 a 1,8 ;	média 0,927
	rios	
rK/rNa	0,024 a 0,41;	média 0,188
rMg/rCa	0,56 a 1,7 ;	média 0,958
rCl/rHCO <sub>3</sub>	0,23 a 2,7 ;	média 1,066

Tais situações são bem características de águas continentais de superfície (Custodio & Llamas, 1976). A julgar pelas médias obtidas, é de se concluir que os índices estudados são relativamente mais baixos nos igarapés do que nos rios.

Quando se considera, todavia, o período de intrusão de águas marinhas no sistema fluvial de Barcarena (setembro/dezembro/1983), alguns desses índices atingem valores mais elevados em relação aos períodos anuais comuns (1984, 1985, por exemplo). Assim, exemplificando, ao se considerar alguns pontos de coleta de rios como referência, observa-se o seguinte quadro:

ponto	condutividade (micromho/cm)	rK/rNa	rMg/rCa	rCl/rHCO <sub>3</sub>
1	360	0,054	1,82	7,6
8	520	0,08	2,18	11,7
20	550	0,066	2,48	9,9
18	690	0,076	1,8	11,8
9	1250	0,04	3,3	39,0
17	1700	0,05	3,9	39,0

Conforme se pode observar, embora o índice rK/rNa não ofereça boa diferenciação em certas situações, rMg/rCa é algo mais produtivo, sendo ainda melhor rCl/rHCO<sub>3</sub> na caracterização de intrusão de águas marinhas no sistema investigado. No entanto, referida intrusão constitui um quadro bem menos pronunciado, se comparado com outras regiões estuarinas (bem mais típicas) do país, como é o caso da lagoa da Conceição, SC, onde Assumpção *et al.* (1981) registraram variações de salinidade de 2,06<sup>0/00</sup> (condutividade em 14110 milimho/cm) a 14,74<sup>0/00</sup> (condutividade de 66080 milimho/cm), ou do estuário de Cananéia, SP, onde Tundisi *et al.* (1978) detectaram oscilações de 10 a 25<sup>0/00</sup>; já em Barcarena, o máximo de condutividade assinalado (1800 micromho/cm) apresentou um teor de Cl<sup>-</sup> da ordem de 500 ppm, o que corresponde a uma salinidade de 0,93<sup>0/00</sup>, segundo a fórmula de Knudsen (Strickland & Parsons, 1972).

Com exceção do ponto 6, tido como estratégico, cujos valores em sílica se mostram mais elevados (média aritmética de 4,66 ppm de SiO<sub>2</sub> em março/85/maio/84; 6,0 em setembro/83), os demais pontos amostrados em igarapés exibem baixos índices em sílica (em geral, variam de 0,19 a 0,28, sendo 4,89 um máximo observado no ponto 4, cuja média é de 2,56 ppm de SiO<sub>2</sub>). Nos rios, os teores de sílica são mais elevados, certamente considerando a própria natureza do material dissolvido e em suspensão; seus índices variam de 6,9 a 8,26 (com média em 7,5) nos períodos mais chuvosos e de 2,9 a 6,26 nos períodos menos chuvosos (média de 4,25 ppm de SiO<sub>2</sub>). Deste modo, a contribuição da sílica para a turbidez dessas águas parece refletir-se mais intensamente nos períodos mais chuvosos, como, aliás, seria de se esperar, considerando os trabalhos de dissolução e transporte de material das margens produzidos pelas chuvas abundantes.

É também particularmente notável a contribuição do ferro nos processos de dissolução e acumulação dos sedimentos. Tanto os sedimentos em suspensão (Lima *et al.*, 1983b; Cordeiro, 1986), como nas águas, os teores de ferro são relativamente elevados quando comparados com outros valores citados na literatura para águas de rios (White *et al.*, 1963). Tais fatos estão muito provavelmente relacionados com a contribuição da litologia, terrenos cuja dissolução, transporte e acumulação (sedimentos) produzem material argiloso rico em ferro (Delvigne, 1965). Por seu turno, as observações registradas (Tabela 3) sobre a presença de Fe (II) em certas águas coletadas em rios bem demonstram a predominância dessa espécie em solução, em relação aos próprios íons Fe (III), cuja precipitação parece efetivar-se nos sedimentos, já que seus teores nas águas é mais baixo (na maioria dos casos expostos). Um breve exame na Tabela 3 logo caracteriza, em cada ponto disponível, maiores concentrações de Fe (total) nos períodos mais chuvosos (exceto no ponto 8); além disso, aparentemente nos períodos



mais secos e correspondentes às maiores condutividades, ocorrem os mais baixos índices de ferro total. Estes fatos podem estar relacionados com a dinâmica de transporte e precipitação do ferro, a exemplo do que ocorre com a sílica.

Procedeu-se a ensaios visando à análise de nitrato. Os dados mostraram-se repetitivos. Ainda assim, foi possível caracterizar de modo preciso alguns resultados analíticos mais elucidativos; deste modo, detectou-se maiores teores de nitrato nos períodos mais chuvosos (índices variando de 0,15 a 1,295 ppm em termos de  $\text{NO}_3^-$ ). Também associado ao nitrato está o nitrogênio amoniacal (ensaio para  $\text{NH}_4^+$ ), cujas análises (apenas para poucas amostras) foram infrutíferas e repetitivas (teores abaixo de 0,1 ppm em termos de N). No entanto, é necessário retomar os estudos, notadamente a situação dos igarapés que se encontrem represados por obras de engenharia (em geral, construção de estradas). É de se supor variações nos teores de N, quando se considera represamento de águas em contacto com a floresta. Assim, em estudos realizados em igarapés de *terra-firme* de floresta (com teores de N amoniacal da ordem de 41-42 ppb) e de igarapés que percorrem campina (com teores da ordem de 124 a 128 ppb), Ribeiro *et al.* (1978) demonstraram com clareza que nesses últimos há maior produção bacteriológica em decorrência do maior tempo de retenção de água; por sua vez, o nitrato exibe comportamento inverso, indicando que esse íon é rapidamente absorvido pela vegetação da campina. Aliás é fato bem conhecido que as altas taxas de metabolismo provocam circulação rápida de nutrientes, o que acarreta uma relativa pobreza desses nutrientes (nitrato) na água (Schäfer, 1985; Ribeiro *et al.*, 1978; entre outros).

Situação semelhante à do nitrogênio, procedeu-se com a análise de fósforo total, onde se detectou teores abaixo de 0,025 ppm em termos de  $\text{PO}_4^{3-}$  (para quatro amostras tomadas aleatoriamente).

Os teores de DQO (em termos de ppm de  $\text{O}_2$ ) encontram-se diretamente relacionados com a presença de matéria orgânica capaz de ser reduzida por reagentes químicos. É natural, pois, que se observe que os igarapés que estejam sujeitos a represamentos possam oferecer os maiores índices em DQO (demanda química de oxigênio), visto que esses represamentos (em geral por obras de engenharia de estradas) produzem acúmulo de matéria orgânica oriunda de decomposição da floresta nativa (árvores permanecem com suas raízes mergulhadas em áreas de inundação resultantes do represamento, ocasionando "morte" do vegetal e sua natural decomposição). Os valores máximos detectados (tanto em igarapé represado como na baía, rica em material vegetal transportado) recaem em 15,7 ppm de  $\text{O}_2$ .

Considerando a atividade bacteriológica resultante de águas paradas, conforme já se discutiu acima, é recomendável uma avaliação de teores do DBO (demanda bioquímica de oxigê-

nio), notadamente nos pontos estratégicos e vulneráveis.

No que diz respeito à determinação de elementos traços, foram efetuados alguns ensaios visando avaliar prováveis modificações no transporte de certos metais nessas águas, segundo a sazonalidade, tanto nos igarapés como nos furos e rios. Aparentemente, não se detectou diferenciação nos comportamentos de Cu, Pb e Cd; quanto ao Zn, foi possível proceder um estudo mais pormenorizado, observando-se, porém, diferenças pouco marcantes; talvez algo mais pronunciadas sejam as oscilações com o Co e o Mn; apenas o Al parece sofrer variações (aqui observadas em alguns rios), envolvendo preamar e baixamar (vide Tabela 3). É também recomendável um estudo sobre os metais pesados, mais relacionado com os sedimentos, visto que esses materiais constituem matriz mais fixa do que as águas, notadamente quando se considera a dinâmica das marés (movimentos diários de enchente e vasante).

Nos ensaios realizados, não se detectou flúoreto (método da laca SPADNS-zircônio) nem prata (absorção atômica). O íon flúoreto será pesquisado, ainda, mediante otimização de métodos instrumentais, já que sua presença é garantida nos produtos de exaustão da fábrica de alumínio.

## CONCLUSÕES

1. As águas subterrâneas aqui consideradas, quando comparadas com outras áreas semelhantes nas proximidades de Belém e com teores equivalentes (*terras-firmes*) na ilha de Marajó (p.e., Ponta de Pedras), possuem semelhanças entre si, principalmente no que diz respeito à apreciável acidez, à baixa dureza, às pequenas condutividades elétricas e à pobreza de certos cátions, notadamente cálcio.

2. Considerando a abundante precipitação pluviométrica e a intensa lixiviação dos terrenos, essas águas provavelmente em muito se aproximam, em suas características e composição química, às águas pluviais (vide, ainda, a propósito, Moreira-Nordemann *et al.*, 1986).

3. Os recursos hídricos subterrâneos na área de Barcarena são, aparentemente, vastos, caracterizando-se por constante renovação de águas nos lençóis freáticos, mormente quando se considera as chuvas sazonais abundantes.

4. Embora apresentando teores de ferro e índices de acidez algo incômodos (alguns valores numéricos encontram-se fora dos permitidos pela Organização Mundial de Saúde, por exemplo), as águas subterrâneas de Barcarena podem ser consideradas de potabilidade aceitável para consumo (o que é feito normalmente pela população local); é necessário, todavia, elaboração de análises bacteriológicas à vista da intensa atividade da floresta.

5. Aparentemente, essas águas não sofrem perturbações maiores, resultantes de ocasionais



intrusões de águas salobras no sistema flúvio-estuarino de Barcarena.

6. A julgar pelas características desses lençóis freáticos, no que diz respeito à dureza, aos sólidos totais dissolvidos, à acidez e à ordem de predominância de cátions e ânions, suas águas podem ser classificadas segundo águas doces, brandas, ácidas, do tipo bicarbonatada sódica.

7. As relações iônicas numéricas (índices hidrogeoquímicos) mostram-se bastante produtivos na diferenciação dessas águas, considerando origem e sazonalidade, principalmente entre as águas superficiais.

8. Embora havendo algumas descontinuidades, as ordens de predominância de cátions e ânions nas águas superficiais são  $Ca > Na > Mg > K$  (sendo Na e Mg muito próximos entre si nas águas de rio) e  $HCO_3 > Cl > SO_4$  (exceto para os períodos de intrusão de águas marinhas).

9. As águas oceânicas e pluviais modificam sazonalmente a composição das águas superficiais do sistema investigado; parâmetros tais como condutividade elétrica e índices hidrogeoquímicos são sensores eficazes no estudo de diferenciação e do quimismo ali predominante; é notável a renovação do sistema, principalmente pela influência das marés e pelos ciclos hidrológicos.

10. As águas de superfície do sistema flúvio-estuarino de Barcarena caracterizam-se por receber influência de águas salobras, quando as condições de salinidade foram mais drásticas (p.e., período excepcional de setembro/83); ainda assim, nos pontos amostrados mais distantes não se observou tais influências, principalmente nas cabeceiras dos igarapés; por outro lado, mesmo nas condições mais drásticas de salinidade, esta é considerada muito fraca (quase  $10^0/00$ ) quando comparada com outras regiões estuarinas mais típicas.

11. O teor médio de eletrólitos observados nas águas superficiais (Ca, Na, Mg, K), nas situações mais comuns, está em torno de valores que mais se aproximam dos registrados por Irion (1976) para os rios de águas brancas cauliniticas.

12. As águas superficiais estudadas ratificam as considerações de Fittkau (1981) sobre as "regiões geoquímicas" da Amazônia, no que diz respeito à geologia (sedimentos), solos (cauliníticos), vegetação (hiléia) e com águas de pH ácido (3,7 a 6,5), baixa condutividade elétrica (na maioria dos casos, menor do que 30 micromho/cm nos períodos anuais comuns, normais) e pobres em cálcio.

13. É recomendável o monitoramento em locais de amostragem considerados vulneráveis, tais como: os pontos 26 (na própria baía, onde existe praia e área de lazer), 6 (quase na confluência dos igarapés Dendê e Conde, sujeito à dinâmica das marés e à descarga de efluentes da fábrica de alumínio), 24, 25 e outros nas proximidades e no local das atividades industriais e urbanas (3, 4 e 5); nos pontos 13, 14 e 15, extremamente vulneráveis à movimentação de es-

trada de rodagem (despejos, represamentos) e, ainda, nos pontos 17, 8, 1 e 9, por estarem mais diretamente relacionados com as áreas urbanas de Barcarena e São Francisco.

14. É recomendável, finalmente, que se proceda ação conjunta empresa-comunidade-governo, visando o monitoramento do ecossistema, estudando quaisquer variações que possam ocorrer com os parâmetros físico-químicos, químicos, biofísicos, bioquímicos, biológicos, botânicos, entre outros, de modo a subsidiar projetos, que visem renovação constante do ecossistema, preservando, assim, a fauna, a flora, o ar, as águas e, conseqüentemente, o homem.

15. É necessário também que as autoridades, a comunidade e a empresa apresentem alternativas concretas sobre o manejo correto dessa região costeira; qualquer proposta nesse sentido envolve, necessariamente (vide, por exemplo, Tommasi & Griesinger, 1982), (1) avaliação de impactos causados por modificações no ambiente e (2) estudo sobre a utilização da área; nesses casos, é necessário observar (a) modificações de regime (desmatamentos, alterações na hidrologia e drenagem, clima, vegetação, ar atmosférico, por exemplo), (b) transformações de solo e obras de construção (urbanização, construção de portos industriais, aterros sanitários e industriais, represamento de águas, perfurações, entre outros), (c) extração de recursos (escavações, dragagens), (d) dinâmica de ação (trabalhos de mineração e metalúrgica, tratamento de efluentes, lixo industrial e urbano, áreas de recreação).

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos químicos Manoel João Pereira Magalhães e José Herculano da Silva Neto pela colaboração nos trabalhos de campo e de laboratório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACKERMANN, F.L. (1969) Esboço para a geologia entre Belém-Rio Gurupi e Atlântico-Rio Guamá. Universidade Federal do Pará, 79p. [inédito].
- APHA.AWWA.WPCF. (1976) Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association. Washington, D.C. 1193p.
- ARAÚJO, J.R. & AZEVEDO, S.G. (1986) Comportamento hidrogeológico do Aquífero Barreiras na área do complexo industrial ALBRÁS/ALUNORTE (Pará). 4.º Congr. Bras. Águas Subterrâneas, Brasília, Anais, p. 26-38.
- ASSUMPÇÃO, D.G.T.; TOLEDO, A.P.P.; D'AQUINO, V.A. (1980) Levantamento ecológico da lagoa da Conceição (Florianópolis — Santa Catarina). I: Caracterização — Parâmetros ambientais. Ciênc. e Cult., 33(8):1096-1101.
- BRANCO, H. (1985) Controle semanal de condutividade — Centrais Elétricas do Pará, Belém [comunicação pessoal].
- BRASIL. Ministério do Interior. Projeto de Hidrologia e Climatologia da Amazônia. Estação Belém. Anos 1972/4.
- BROWN, E.; SKOUGSTAD, M.W.; FISHMAN, M.J. (1974) Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. Book 5, Laboratory Analysis. US Geol. Surv. US Gov. Print. Off., Washington, D.C., 160p.

- BUTLER, J.N. (1964) Ionic equilibria. A mathematical approach. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 300p.
- CAMPOS, E.N.; MONIZ, A.C.; OLIVEIRA, J.J. SIEFFERMANN, G. (1974) Minéraux argileux de quelques altérations entre la ville de Belém du Para, le rio Gurupi et le rio Guama. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., **13**(3/4):297-308.
- CORDEIRO, C.A. (1986) Estudo da salinização no estuário do rio Pará, no trecho Belém-Mosqueiro. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará [inédito].
- CORDEIRO, C.A.; LIMA, W.N.; FENZL, N. (1987) Hydrogeochemical study of the estuary of the Pará river from Mosqueiro to Belém. QA 2nd International Environmental Chemistry Congress in Brazil, Salvador, BA (Resumos).
- CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (eds.) (1976) Hidrología subterránea. Tomo I. Ediciones Omega SA, Barcelona, 1157p.
- DELVIGNE, J. (1965) Pédogenèse en Zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. ORSTOM, Paris, 177p.
- EPA (1976) Quality criteria for water. Environmental Protection Agency, U.S., Washington, D.C.
- FITTKAU, E.J. (1981) Armut in der Vielfalt-Amazonien als Lebensraum für Weichtiere. Mitt. Zool. Ges. Branau, **3**(15):329-343.
- GIBBS, R.J. (1967) The geochemistry of the Amazon River system. I. The factors that control the salinity and the composition of the suspended solids. Geol. Soc. Amer. Bull., **78**(10):1250-1252.
- HEM, J.D. (1970) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. U.S. Geol. Surv. Water-Supply, Paper **1473**, 363p.
- IRION, G. (1976) Quaternary sediments of the upper Amazonas lowlands of Brazil. Biogeographica, **7**: 163-167.
- LEVINSON, A.A. (1974) Introduction to exploration geochemistry. Applied Publ. Ltd., Calgary, 612p.
- LIMA, W.N.; MENEZES, L.B.C.; BRAZ, V.N. (1983) Estudo hidroquímico-bacteriológico de águas de abastecimento público em zonas urbanas de Belém, PA — Jurunas e Sacramenta. 4.º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia, Belém. Anais, p. 97-125.
- LIMA, W.N.; RODRIGUES, M.D.R.; OLIVEIRA, J.L.R. (1983a) Estudo sobre o conteúdo mineralógico de argilas por difratometria de raios X e análise térmica diferencial de amostras da ilha do Mosqueiro, PA. 4.º Encontro de Profissionais da Química da Amazônia, Belém, Anais, p. 155-176.
- MOREIRA-NORDEMANN, L.M.; FORTI, M.C.; ESPÍRITO SANTO, C.M. (1986) The rainwater chemistry of central Amazonia. EOS, Transactions, Amer. Geophys. Union, **67**(16):249.
- PATTERSON, S.H. & ROBERTSON, C.E. (1961) Weathered basalt in the eastern part of Kauai Kawaii. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper **424-C**:195-198.
- PIUCI, J. (1978) Hidrogeologia da Área Piloto de Ponta de Pedras — Ilha de Marajó. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará [inédito].
- RESENDE, W.M. & FERRADAES, J.O. (1971) Integração geológica da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. XXV Congr. Bras. Geol., São Paulo, Anais, **3**:203-214.
- RIBEIRO, J.S.B.; BRINGEL, S.R.B.; SANTOS, A. (1971) Hidroquímica na Amazônia central. II: Flutuações no fluxo de saída de nitrogênio em dois ecossistemas na Amazônia. Acta Amazonica, **8**(3): 409-416.
- SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. (1967) Chemistry for environmental engineering. McGraw-Hill Book, New York, 532p.
- SCHÄFER, A. (1985) Fundamentos de ecologia e biogeografia das águas continentais. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul — GTZ (Alemanha), 532p.
- SCHÄLLER, H.; VASCONCELOS, D.; CASTRO, J. (1971) Estratigrafia preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do rio Amazonas. XXV Congr. Bras. Geol., São Paulo, Anais, **3**:189-202.
- SCHOELLER, H. (1962) Les eaux souterraines. Masson, Paris, 642p.
- SHAW, D.M. (1964) Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. Masson Paris, 237p.
- SIOLI, H. (1967) Studies in Amazonian waters. Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, **3**(limnologia): 9-50.
- SIOLI, H. (1975) Tropical river: the Amazon. In: B.A. WHITTON (ed.), River Ecology. Backwell, Oxford.
- TARDY, Y. (1969) Étude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique. Mémoires du Service de la Carte Géologique d'Alsace et de Lorraine, **31**, p. 199.
- TOMMASI, L.R. & GRIESINGER, B. (1982) Proposta para um manejo correto das regiões costeiras. Ciênc. e Cult., **35**(6):709-721.
- TUNDISI, G.; TEIXEIRA, C.; TUNDISI, T.M.; KUTNER, M.B.; KINOSHITA, L. (1978) Plankton studies in a mangrove environment. IX — Comparative investigations with coastal oligotrophic waters. Rev. brasil. Biol., **38**(2):301-320.
- WHITE, D.E.; HEM, J.D.; WARING, G.A. (1963) Chemical composition of subsurface waters. U.S. Geol. Surv., Prof. Paper **440-F**.
- WHO (1971) International standards for drinking water. Water Health Organization, Washington, D.C.