

CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO HIDROGEOQUÍMICO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS SOB INFLUÊNCIA DE CARBONATO (REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM, PA)

*Luciana Miranda Cavalcante¹; Tcheyenne Harley Martins da Silva²; Fábio Monteiro Cruz³;
Antônio Carlos F. N. S. Tancredi⁴ & Waterloo Napoleão de Lima⁵*

RESUMO --- Na Região Metropolitana de Belém (PA), o perfil geológico das seções relacionadas com a construção de poços tubulares profundos é constituído por unidades litológicas pertencentes ao Grupo Barreiras e à Formação Pirabas. Enquanto o material do Barreiras é formado por uma seqüência siliciclástica, bastante lixiviada, originando aquíferos pobres em eletrólitos, no material da Formação Pirabas dominam arenitos calcíferos, argilas, margas, calcário puro e diversificado, originando aquíferos ricos em eletrólitos.

ABSTRACT --- On Belém Metropolitan region (Pará), the geologic profile of the sections related with the construction of deep tubular wells is constituted by pertaining lithologic units to the Barreiras Group and the Pirabas Formation. While the material of the Barreiras is formed by a siliciclastic sequence, sufficiently leached, originating aquifer containing a few amounts of electrolytes, in material of the Pirabas Formation dominates calciferous sandstones, clay, marly, pure and diversified lime, originating aquifer rich in electrolytes.

Palavras-chave: Aquíferos, carbonato, Região Metropolitana de Belém (RMB).

1) Engenheira ambiental da Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará. Tv. Lomas Valentinas, 2717. CEP: 66095-770. Belém/PA. E-mail: eng_luciana_cavalcante@yahoo.com.br

2) Engenheira sanitária da Companhia de Saneamento do Pará. Avenida Magalhães Barata, 1201. CEP: 66060-670. Belém/PA. E-mail: tcheyenne@bol.com.br.

3) Engenheiro ambiental da Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado do Pará. Tv. Lomas Valentinas, 2717. CEP: 66095-770. Belém/PA. E-mail: engfabiocruz@yahoo.com.br

4) Doutor em Ciências. Membro da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Centro de Geociências (UFPA) Caixa Postal 26. CEP: 66075-110. Belém/PA. E-mail: actancredi@gmail.com

5) Doutor em Ciências. Professor das Universidades Estadual e Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, 01. CEP: 66075-110. Belém/PA. E-mail: waterloo@ufpa.br

1 - INTRODUÇÃO

A partir da década de 1970 foram intensificados na Região Metropolitana de Belém (RMB) os trabalhos de perfuração de poços tubulares profundos destinados à captação de água subterrânea. Tal fato permitiu que se desenvolvessem nas universidades e demais instituições locais estudos lito-estratigráficos, hidrogeológicos e hidrogeoquímicos relacionados com os perfis característicos e a água subterrânea captada. O ambiente geológico das seções perfuradas é dominado por unidades litológicas pertencentes ao Grupo Barreiras e seu material de alteração denominado Pós-Barreiras (camadas mais superficiais) e à Formação Pirabas (sotoposta ao material do Barreiras). Enquanto no Barreiras dominam argilitos, siltitos e arenitos associados ao material ferruginoso disseminado, bastante lixiviados, o material de Pirabas é constituído por seção carbonática, que ocorre principalmente nas regiões litorâneas do Pará (por vezes, exibindo afloramentos), sendo comum calcarenito, margas e folhelhos cinza-esverdeados. Por tais razões, enquanto as águas subterrâneas associadas ao material de Pirabas é rica em eletrólitos, exibindo elevadas condutividades elétricas, as águas do Barreiras são pobres e apresentam baixas condutividades. Este estudo é uma contribuição ao conhecimento hidrogeoquímico de águas subterrâneas da RMB em poços profundos sob influência de carbonato.

2 - LOCALIZAÇÃO, ACESSO E CARACTERÍSTICAS FÍSIOGRÁFICAS E GEOLÓGICAS DOMINANTES

A RMB está situada entre os paralelos 01° 13' e 01° 30' S e os meridianos 48° 18' 35'' e 48° 30' 30'' WGr, sob cota altimétrica máxima cerca de 16 m, correspondendo às áreas de terra-firme, circundada por áreas de “baixadas” periféricas (figura 1).

Nesta área fisiográfica domina clima equatorial, quente e úmido, com pluviometria anual média em torno de 2.800 a 3.000 mm e umidade relativa do ar quase sempre acima de 90%, notadamente no período mais chuvoso (segunda quinzena de dezembro a junho do ano seguinte). Compatível com essa abundância de chuvas e ocorrência de floresta densa e úmida na circunvizinhança, domina na região uma apreciável rede de drenagem fluvial, sugerindo potencialidade nos recursos hídricos subterrâneos (BRASIL/MME/DNPM, 1974; Oliveira *et al.*, 1998; PEHRMB, 2001).

São nas áreas de terra-firme que preferencialmente são efetuados os trabalhos de perfuração visando instalação de poços tubulares profundos para captação de água subterrânea em aquíferos pertencentes ao Grupo Barreiras e à Formação Pirabas, por exibirem vazões mais apreciáveis (acima de 100 e pouco abaixo de 500 m³/h). Enquanto os argilitos, siltitos e conglomerados quase sempre laterizados do Grupo Barreiras (Terciário) e seu material de alteração Pós-Barreiras (Quaternário) se localizam em horizontes mais superficiais, a seção carbonática da Formação

Pirabas (Terciário) domina nos horizontes mais profundos, quase sempre acima de 100 m. Em geral, os poços tubulares instalados atingem profundidades superiores a 150 m e pouco abaixo de 300 m (FEMAC-GEOSOLO, 1997; PEHRMB, 2001).

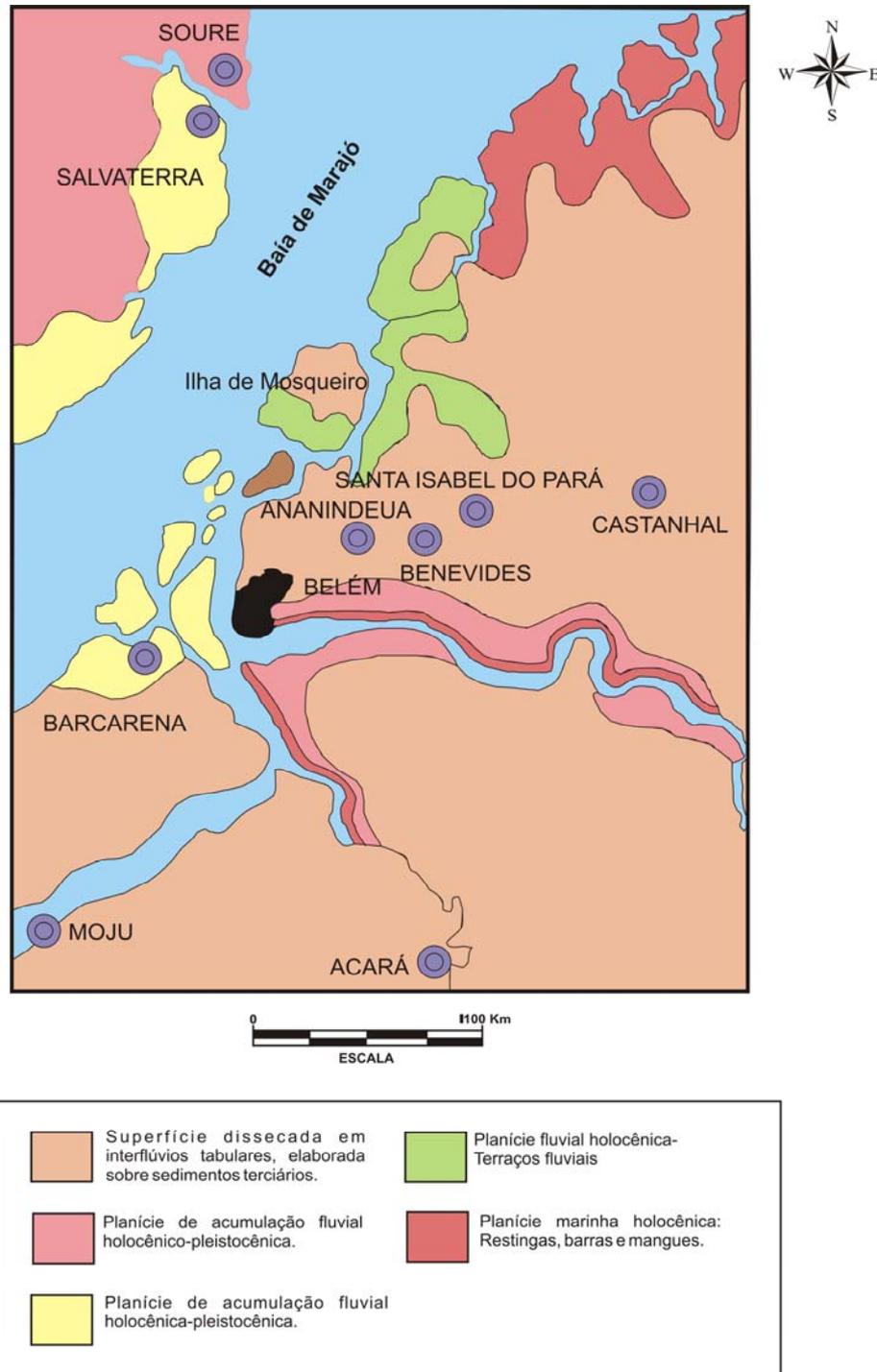


Figura 1 – Geomorfologia da Região Metropolitana de Belém e Adjaçências (terrenos geológicos).

Fonte: Modificado de BRASIL (1981)

Notáveis contribuições ao conhecimento geoambiental dessa área fisiográfica e adjacências podem ser exemplificadas pelas publicações de estudos acumulados (BRASIL/MME/DNPM, 1974) e trabalhos mais específicos posteriores, de natureza hidrogeológica (Piuci, 1978; Oliveira *et al.*, 1998; PEHRMB, 2001; Matta, 2002; Cabral, 2004) e hidrogeoquímica (Lima e Kobayashi, 1998; Sauma Filho *et al.*, 1991; Otobo e Lima, 1993; Souza e Lima, 1994; Otobo, 1995; Sauma Filho, 1996; Matta, 2002; Cabral, 2004). A Formação Pirabas representa importante manifestação de calcário fossilífero ocorrente na mesorregião Nordeste Paraense (Ackermann, 1975; Almaraz, 1979; Ferreira *et al.*, 1984; Góes *et al.*, 1990).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foram consideradas as seguintes etapas metodológicas. Inicialmente, foram acompanhados trabalhos de perfuração de poços tubulares profundos selecionados, anotando-se as características das seções litológicas e o posterior registro gráfico do perfil (trabalhos realizados pela empresa responsável), acompanhamento das análises químicas nos laboratórios da Companhia de Saneamento do Pará (trabalho executado pelos responsáveis pelo setor), realização de análises químicas complementares (condutividade elétrica e íons dominantes) nos laboratórios do Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, discussão preliminar entre os autores deste estudo sobre nova seleção de poços considerados bem representativos e finalmente elaboração de um texto conciso sobre as características hidrogeoquímicas dominantes nos aquíferos pertinentes. Os poços tubulares selecionados estão situados dentro da RMB em localidades (bairros, distritos) tais como Satélite, Eduardo Angelim, loteamento Ariri, Benguí, Jardim Sideral, Prosanear 2 (Coqueiro), Pratinha (2 poços), Cohab Canarinho, Cordeiro de Farias, Cohab Tenoné, Cohab Icoaraci, Tocantins Icoaraci, Água Boa Outeiro, praia do Bispo (Mosqueiro), total 15 pontos de coleta. As profundidades máximas perfuradas variam de 252 m (loteamento Ariri) a 393 m (Coqueiro), sendo as mais freqüentes entre 266 m (Eduardo Angelim) e 281 m (Outeiro), com vazões máximas aproximadas desde 250 m³/h até 340 m³/h. As seções litológicas perfuradas apresentam, em geral, a partir das camadas mais superficiais, areia branca hialina a colorida (amarela, alaranjada, avermelhada) associada a material laterítico; argilitos, siltitos e arenitos diversificados associados a material ferruginoso; pouca matéria orgânica disseminada, associada à argila e/ou areia (coloração acinzentada); ao longo dos horizontes da seção carbonática (em geral a partir de 100 m de profundidade) dominam calcarenito branco, creme-claro ou cinza-esbranquiçado, associado ou não a camadas finas de folhelho carbonoso cinza-esverdeado, argila carbonática (margas) creme-clara, esbranquiçada ou cinza-esverdeada, etc. Um exemplo de coluna lito-estratigráfica desses perfis pode ser visualizado no quadro 1.

Quadro 1 – Coluna lito-estratigráfica da mesorregião Nordeste do Pará

Fonte: Modificado de Borges (1998) *apud* Souza Júnior *et al.* (1992).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE LITO-ESTRATIGRÁFICA	DESCRIÇÃO
CENOZÓICA	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS RECENTES (ALUVIÕES E DUNAS)	AREIAS DE GRANULOMETRIA FINA À MÉDIA, ARGILAS E SILTES ASSOCIADOS À MATÉRIA ORGÂNICA CONTENDO RESTOS VEGETAIS DISTRIBUÍDOS NA FAIXA LITORÂNEA, LEITO DE RIOS, IGARAPÉS E MANGUEZAIS.
		PLEISTOCENO	PÓS-BARREIRAS	SEDIMENTOS ARENO-ARGILOSOS, SEM ESTRUTURAS APARENTES, DEPÓSITOS ALUVIONARES SILICLÁSTICOS ARENO-ARGILOSOS, AMARELADOS, ALARANJADOS OU AVERMELHADOS, ASSOCIADOS A UMA FRAÇÃO ARGILOSA, POR VEZES BIOTURBADA, A GRÃOS DE QUARTZO LEITOSO E A BLOCOS DE ARENITO FERRUGINIZADOS DE FORMAS E DIMENSÕES VARIADAS.
	TERCIÁRIO	PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	SEDIMENTOS ARENO-ARGILOSOS A ARENOSOS, CONGLOMERÁTICOS, CORES MOSQUEADAS, ARGILITOS, SILTITOS E ARENITOS AMARELADOS DE GRANULAÇÃO FINA A MÉDIA.
		MIOCENO INFERIOR	FORMAÇÃO PIRABAS	CALCÁRIOS FOSSILÍFEROS, CALCARENITOS E MARGAS INTERCALADOS A FOLHELHOS CINZA-ESVERDEADOS A NEGROS.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 resume os principais indicativos da composição química de águas subterrâneas da RMB sob influência de carbonato.

Tabela 1 – Composição química de águas subterrâneas sob influência de carbonato. Variações do conteúdo de 15 poços tubulares profundos, RMB.

PARÂMETROS E COMPONENTES	VARIAÇÕES MAIS FREQUENTES
Cor (UC)	0 – 5
Turbidez (UNT)	0 – 5
pH	6,74 - 7,5
C.E. ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	274 – 350
*STD	147 – 182
*Amônio (expresso em N)	0 - 0,5
*Nitrato (expresso em N)	0 - 1,0
Nitrito (expresso em N)	0 - 0,1
*Dureza	90 – 235
*Alcalinidade	90 – 220
*Fe Total	0 - 0,5
*Oxigênio Consumido	0 - 3,0
*Ca ²⁺	36 – 78
*Mg ²⁺	1,0 - 4,0
*Na ⁺	3,9 – 29
*K ⁺	0,25 - 3,9
*HCO ₃ ⁻	110 – 268
*Cl ⁻	5,9 - 13,9
*SO ₄ ²⁻	0,5 - 17,1

STD: sólidos totais dissolvidos; C.E.: condutância específica; *: concentração expressa em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

As fichas de laboratório da Companhia de Saneamento do Pará mostram, em geral, que as amostras não apresentam odor a frio ou a quente, aspecto bom, valores numéricos máximos de cor (UC) e turbidez (UNT) em 5 unidades; pH variando de 6,98 a 7,5; nitrogênio amoniacal (amônio) máximo de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (expresso em N), nitrato máximo de $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (expresso em N), nitrito máximo de 0,1 (expresso em N), cloreto variando de 6 a $14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, dureza mínima de 90 até um máximo de $235 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, alcalinidade total desde 150 até $220 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, ferro (total) máximo em $0,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, matéria orgânica máxima em $1,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (expressa em oxigênio consumido). Com relação à condutividade elétrica e aos demais íons dominantes (resultados oriundos dos laboratórios do Centro de Geociências, UFPA), dados mostram variação de condutividade elétrica desde 274 a $350 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, Ca²⁺ de 36 a 78, Mg²⁺ de 1,0 a 4,0; Na⁺ de 3,9 a 29; K⁺ de 0,25 a 3,9; HCO₃⁻ de 110 a 254 e SO₄²⁻ de 0,5 a 17,1 (todos expressos em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

Procedendo a modelagem hidrogeoquímica (Custódio e Llamas, 1976) para todos os dados disponíveis para cada poço (pelo menos duas amostras para cada caso), verifica-se coerência entre a soma de cátions e ânions (erro abaixo de 5%), sua relação numérica com a condutividade elétrica (graças ao equilíbrio iônico relacionado com o pH às proximidades de 7) e o enquadramento dessas águas segundo uma classificação como bicarbonatada cálcico-sódica a bicarbonatada cálcica.

Com efeito, a ocorrência do íon bicarbonato dominante sobre o cloreto e o sulfato nas águas associadas à Formação Pirabas é indiscutível (Sauma Filho *et al.*, 1991; Otobo e Lima, 1993; Souza

e Lima, 1994; Otobo, 1995; Sauma Filho *et al.*, 1991; Sauma Filho, 1996; Souza, 1996). O bicarbonato resulta de sua liberação para o meio aquoso por ação do CO₂ sobre CaCO₃ em meio aquoso de acordo com a equação química (Stumm e Morgan, 1995).



Por sua vez, o Ca domina entre os cátions, coerente com o fato de que no calcário de Pirabas predomina a calcita com baixo teor de Mg (Almaraz, 1979; Otobo, 1995, entre outros); no entanto, em algumas situações o teor de Na (sempre abaixo de Ca) se aproxima do de Ca, manifestando-se o caráter cálcico-sódico.

É importante salientar que as concentrações de cloreto e sulfato nas águas subterrâneas de Pirabas são, comparativamente, muito mais baixas do que as de bicarbonato. Com efeito, nos aquíferos da costa litorânea paraense teores mais elevados de cloreto e sulfato estão associados à intrusão de águas oceânicas do Atlântico (Otobo e Lima, 1993; Otobo, 1995).

Uma exemplificação bem representativa dessas águas subterrâneas associadas à Formação Pirabas, utilizando o diagrama de Stiff, pode ser visualizada na figura 2.

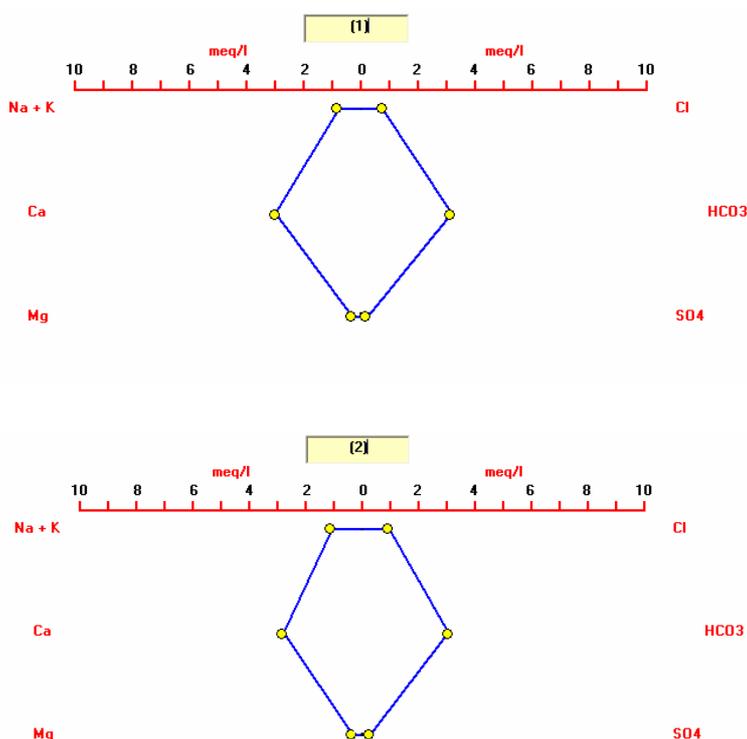


Figura 2 – Águas subterrâneas sob influência de carbonato (RMB). Diagrama de Stiff (média de resultados mais freqüentes).

(1) água bicarbonatada cálcica. (2) água bicarbonatada cálcico-sódica.

5 - CONCLUSÃO

O sistema aquífero Pirabas corresponde, portanto, à unidade hidrogeológica mais profunda dentro das coberturas sedimentares onde se assenta a Região Metropolitana de Belém; apresentando seções litológicas ricas em carbonato (calcário de Pirabas, com predominância de calcita com baixo teor de Mg), quase sempre a profundidades superiores a 100 m e vazões da ordem de 250 a 340 m³/h, é o sistema atualmente mais utilizado na exploração de águas subterrâneas através de poços tubulares profundos. De acordo com suas características hidrogeoquímicas dominantes, são águas moderadamente duras a duras, ricas em eletrólitos (notadamente, bicarbonato e cálcio), baixos teores de matéria orgânica, amônio, nitrito, nitrato e ferro (embora alguns teores de ferro ultrapassem o limite de 0,3 mg.L⁻¹), sendo classificadas como águas predominantemente bicarbonatas-cálcicas e, eventualmente, bicarbonatadas cálcico-sódicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à colaboração da FEMAC, COSANPA e SAAEB pela consulta aos arquivos.

BIBLIOGRAFIA

- ACKERMANN, F. L. (1975). *A Formação Pirabas, sua evolução e interpretação*. Belém. 83 p.
- ALMARAZ, J. S. U. (1979). *Aspectos geoquímicos ambientais dos calcários da Formação Pirabas, estado do Pará*. UFRGS, P. Alegre, tese de doutorado (geociências).
- BRASIL/MME (1981). Programa Grande Carajás: aspectos físicos, demográficos e fundiários. Ministério das Minas e Energia. Conselho Interministerial do Programa Grande Carajás, Rio de Janeiro.
- BRASIL/MME/DNPM (1974). Projeto Radam – Folha AS-22 – Belém. Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra (Levantamento de Recursos Naturais, 5), Rio de Janeiro.
- CABRAL, N. M. T. (2004). *Impacto da urbanização na qualidade das águas subterrâneas nos bairros do Reduto, Nazaré e Umarizal – Belém/PA*. UFPA, Belém, tese de doutorado (geologia e geoquímica).
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. (1976). *Hidrología subterránea*. Ed. Omega, Barcelona. v. 1. 1157 p.
- FEMAC-GEOSOLO/COSANPA (1997). Relatório final de construção de poços tubulares profundos da Região Metropolitana de Belém/PA. Femac-Geosolo Engenharia Ltda e Companhia de Saneamento do Pará (inédito).

- FERREIRA, C. S.; VICALVI, M. A.; MACEDO, A. C. M. (1984). “*Os limites meridionais da Bacia de Pirabas, estado do Pará*” in Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro, v. 1, pp. 326-329.
- GÓES, A. M.; ROSSETTI, D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. (1990). “*Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do estado do Pará*”. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi (Série Ciências da Terra), v. 2, pp. 3-15.
- LIMA, W. N. de & KOBAYASHI, C. (1998). “*Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena*”. Geochimica Brasiliensis, v. 2, n. 1, pp. 53-71.
- MATTA, M. A. S. (2004). *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém-Ananindeua-Pa, Brasil*. 292 p.
- NIMER, E. (1979). *Climatologia do Brasil*. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. 422 p.
- OLIVEIRA, J. R.; CONCEIÇÃO, A. L.; TANCREDI, A. C. F. N. S. (1998). “*Estudo das potencialidades hídricas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém*” in Anais do X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (S. Paulo, SP). CD-ROM.
- OTOBO, A. O. & LIMA, W. N. de (1993). “*The influence of Pirabas Formation sediments on natural waters (Physiographic zones of Salgado and Bragantina)*” in Anais do Proceedings of the International Symposium on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries (edited by J. J. Abraão, J. C. Wasserman & E. V. Silva Filho), Niterói (RJ), pp. 27-31.
- OTOBO, A. O. (1995). *Caracterização de águas naturais sujeitas à influência da Formação Pirabas-PA*. UFPA, Belém, dissertação de mestrado (geologia e geoquímica). 118 p.
- PEHRMB (2001). Projeto de estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de Belém e adjacências. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Relatório Final). 88 p.
- SAUMA FILHO, M. (1996). *As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade*. UFPA, Belém, dissertação de mestrado (geologia e geoquímica). 128 p.
- SAUMA FILHO, M.; LIMA, W. N. de; MALTEZ, H. (1991). “*A condutividade elétrica como critério preliminar na avaliação de parâmetros hidrogeoquímicos úteis à caracterização de águas subterrâneas (Região Metropolitana de Belém e adjacências, PA)*” in Anais do 3º Congresso Brasileiro de Geoquímica (S. Paulo, SP), v. 1, pp. 307-311.
- SAWYER, C. N. & MCCARTY, P. L. (1967). *Chemistry for Environmental Engineering*. Mcgraw-Hill, New York. 532 p.
- SOUZA JÚNIOR, C. M.; QUADROS, M. L. do E. S.; BEZERRA, O. V. (1992). Projeto Nordeste do Estado do Pará. UFPA, Centro de Geociências, Belém (Relatório Final). 163 p.

SOUZA, E. L. de & LIMA, W. N. de (1994). “*Diagramas de correlação no estudo da origem e das variações sazonais de solutos em águas subterrâneas da região Bragantina, NE do Pará*” in Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Química (P. Alegre), Resumos, p. Q 10-288.

SOUZA, E. L. de (1996). *Fatores controladores do quimismo de águas subterrâneas da região Nordeste do Pará*. UFPA, Belém, tese de doutorado (geologia e geoquímica). 190 p.

STUMM, W. & MORGAN, J. J. (1995). *Aquatic Chemistry: chemical equilibria and rates on natural waters*. Wiley, New York. 1022 p.

Quadro 2 - Poços tubulares selecionados

POÇO	LOCALIZAÇÃO	P.M.P. (m)	V.M.A. (m³/h)
1	IPASEP SATÉLITE	277	300
2	IPASEP EDUARDO ANGELIM	266	300
3	C. BANDEIRANTES, LOTEAMENTO ARIRI	252	340
4	BENGUÍ 3	280	340
5	JARDIM SIDERAL	271	250
6	C. N. ODEBRECHT, PROSANEAR 2, COQUEIRO	393	340
7	PRATINHA	303	340
8	PRATINHA II	270	340
9	DECOL, COHAB, CANARINHO	271	300
10	CORDEIRO DE FARIAS 6	271	340
11	COHAB, TENONÉ	280	340
12	C. ABRAÃO NETO, COHAB, ICOARACI	273	340
13	SAAEB TOCANTINS I, ICOARACI	278	340
14	C. ABRAÃO NETO, ÁGUA BOA, OUTEIRO	281	340
15	PRAIA DO BISPO, MOSQUEIRO	274	340

P.M.P.: PROFUNDIDADE MÁXIMA PERFURADA; V.M.A.: VAZÃO MÁXIMA APROXIMADA