

FATORES RESPONSÁVEIS PELA OCORRÊNCIA DE FERRO EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM/PA

PICANÇO, F. E. L.¹; LOPES, E. C. S² & SOUZA, E. L. de³.

Resumo - Nas águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém (RMB), o ferro é comumente encontrado em quantidades acima do limite estabelecido pelo padrão de potabilidade vigente no Brasil, limitando, algumas vezes, a utilização da água tanto para uso doméstico como industrial. Neste trabalho foram avaliados alguns dos fatores responsáveis pelos elevados teores de ferro em poços tubulares na área citada, principalmente aqueles com mais de 100m de profundidade, em princípio, captando aquíferos da Formação Pirabas, constituída basicamente por areias intercaladas com calcários fossilíferos, margas, argila, folhetos e argilitos. Para tanto, os teores de ferro na água foram correlacionados com dados geológicos e hidroquímicos. As características construtivas dos poços também foram consideradas. Entre os dados hidroquímicos foram priorizados aqueles que exercem um maior controle sobre a dissolução/precipitação do ferro e sobre a ocorrência de ferro-bactérias, como pH, Eh e CO₂ dissolvido. Dentre os fatores avaliados, poços mal cimentados parecem ser uma das causas da ocorrência de ferro da água. A cimentação inadequada propicia a captação conjunta de aquíferos da Formação Pirabas e de outros, mais superficiais, pertencentes ao Grupo Barreiras e litologicamente mais favoráveis à produção de água com elevado teor de ferro.

Abstract - In the groundwaters from the metropolitan region of Belém, iron is generally found in concentrations above the limit established by the standards for human consumption in Brazil, limiting sometimes the utilization for both domestic and industrial uses. In this work, we evaluated some of the factors responsible for the high contents of iron in deep wells, mainly those with depths of more than 100m. Those wells reach the aquifers in the Pirabas Formation, which is constituted of sands interbedded with limestones readable fossilifero, margas, clays, and argilites. The contents of iron in the waters were correlated with geological and chemical factors. The characteristics of construction of the wells were also considered. Among the chemical data were considered those that control the dissolution of iron such as iron-bacteria, pH, Eh and CO₂. Among the analyzed factors, inadequate projects of the wells, in particular, problems with filters and gruting are responsible for these high Fe contents. The occurrence of these high concentrations occurs in part because comes

¹ Geólogo concluinte do curso de Geologia da UFPa; endereço eletrônico: elemlopes@ig.com.br

² Estudante de Graduação do curso de Geologia da UFPa; endereço eletrônico: elemlopes@ig.com.br

³ Professora Adjunta do Departamento de Geologia da UFPa; endereço eletrônico: eliene@interconnect.com.br

from both Barreiras and Pirabas Formations and the former is litologically favourable to increased Fe contents.

Palavras chave: água subterrânea, ferro, fatores controladores.

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas representam cerca de 95% daquela disponível para consumo humano, sendo bem mais protegidas da contaminação do que as águas superficiais. Apesar dessa relativa proteção, as águas subterrâneas podem apresentar problemas de qualidade, limitando o seu uso para diversos fins. Dentre estes, um dos mais freqüentes consiste na presença de ferro dissolvido em teores elevados

O ferro é encontrado em praticamente todas as águas, porém, quando encontrado em teores superiores a 0,5 ppm, a água tem sua cor, odor e sabor alterados [1]. Teores de ferro dessa ordem tendem a reduzir a aceitação da água pela população, pelo fato de causarem manchas em roupas e pisos, entre outros inconvenientes. Nesses casos, a população busca outras fontes de abastecimento, em geral poços escavados rasos, cuja água pode apresentar teores elevados de substâncias tóxicas a exemplo do nitrato (NO_3^-) e do amônio (NH_4^+). Assim sendo, é importante que a água fornecida à população apresente baixos teores de ferro dissolvido, de forma a garantir a sua aceitação pelos consumidores. Além da rejeição da água pelos consumidores, a presença de ferro na água pode implicar na sua precipitação nos filtros e/ou no pré-filtro de poços, reduzindo a eficiência destes [2]. A precipitação de ferro nos sistemas de distribuição de água também é outro problema freqüente.

Em alguns poços da Região Metropolitana de Belém (RMB), que compreende os distritos de Val-de-Cães, Icoaraci e Mosqueiro (Figura 1), a água muitas vezes apresenta teores de ferro superiores a 0,3 ppm, restringindo a sua utilização para consumo humano ou industrial. Depreende-se, portanto, que o conhecimento dos principais fatores que controlam a ocorrência de ferro nesses poços, objetivo deste trabalho, poderá contribuir para a minimização de um dos problemas relacionados com o abastecimento de água na RMB. Esse conhecimento poderá auxiliar os órgãos responsáveis pelo abastecimento público, no que concerne à adoção de métodos preventivos e/ou corretivos, buscando melhorar o abastecimento de água da população de Belém.

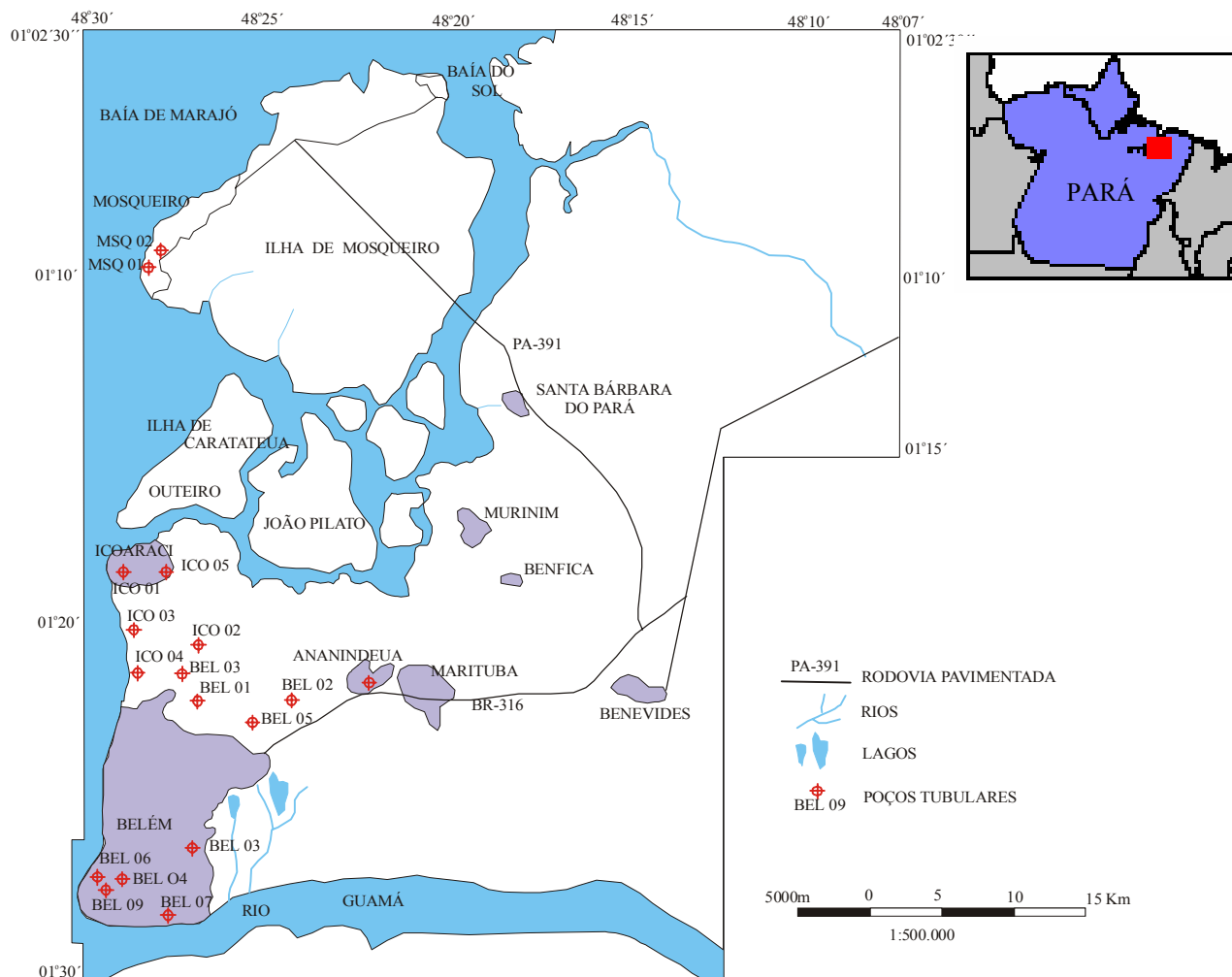


Figura 1. Mapa de localização do município de Belém e adjacências, onde estão inseridos os poços estudados.

OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é determinar os prováveis fatores responsáveis pelos elevados teores de ferro encontrados em águas de poços tubulares, utilizados para o abastecimento de indústrias, clubes, hotéis, condomínios e residências da RMB, onde são utilizados os aquíferos Barreiras e Pirabas.

METODOLOGIA

A fase inicial do trabalho consistiu em um levantamento bibliográfico abrangente, enfocando a geologia e a hidrogeologia da área. Também foram pesquisados trabalhos que tratam dos fatores

que controlam a ocorrência de ferro nas águas subterrâneas, bem como dos problemas inerentes a essa ocorrência. Entre estes últimos trabalhos, ênfase especial foi dada àqueles enfocando a presença de ferro-bactérias, destacando-se as condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento.

Foram levantados 23 dados de análises de água bem como características construtivas dos poços da Região Metropolitana de Belém. Essas informações foram obtidas junto ao Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Belém (SAAEB) e à empresa de perfuração FEMAC- Geosolo Engenharia Ltda.

Após o tratamento das informações supracitadas, procurou-se diagnosticar os possíveis fatores responsáveis pelos elevados teores de ferro encontrado em alguns poços tubulares da área estudada.

GEOLOGIA LOCAL

A Região Metropolitana de Belém é representada geologicamente por sedimentos arenosos da unidade Pós-Barreiras, bem como por sedimentos continentais holocênicos do Grupo Barreiras e por sedimentos da Formação Pirabas. A estratigrafia e as características litológicas dessas unidades são apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Coluna estratigráfica regional do nordeste do Pará. Modificada [3].

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	DESCRIÇÃO
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO		Sedimentos Pós-Barreiras - Sedimentos areno-argilosos inconsolidados de coloração amarelada, granulação variando de fina a média, com grânulos de quartzo e blocos de arenito ferruginoso.
	TERCIÁRIO	MIOCENO/ PLEISTOCENO	Grupo Barreiras - Argilas, siltes, areias finas, leitos argilosos e leitos conglomeráticos apresentando baixo grau de compactação e coloração variegada (vermelho, amarelo e tons esbranquiçados). Podem apresentar nódulos e concreções ferruginosas
		MIOCENO/ OLIGOCENO	Formação Pirabas - Fácies Capanema: calcário, argila e areia em leitos alternados e apresentando cores variadas, sendo as vezes muito fossilíferos - Fácies Baunilha Grande: Argilas negras apresentando vegetais piritizados e carcinólitos - Fácies Castelo: calcários puros compactos com teores elevados de SiO ₂ e MgO

HIDROGEOLOGIA

Na Região Metropolitana de Belém são identificados sistemas aquíferos distintos, constituídos pelos sedimentos da unidade Pós-Barreiras, do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas. Os dois primeiros são caracterizados por sedimentos clásticos arenosos, de origem continental. Os aquíferos da Formação Pirabas são constituídos por arenitos de origem marinha, intercalados por camadas de argilas, sendo que esses arenitos atingem profundidades superiores a 500 metros [4].

Aquíferos dos Sedimentos Pós-Barreiras

Os aquíferos Pós-barreiras são representados por areias com granulação variando de fina a média, quartzosas, com espessuras de um pouco mais de 20 metros. Representam as planícies aluviais [4].

Os poços que captam esses aquíferos apresentam um potencial hidrogeológico baixo. Esses aquíferos apresentam elevada vulnerabilidade à contaminação, principalmente por fossas e efluentes domésticos e/ou industriais, devido à pequena profundidade do nível estático e à sua constituição litológica, propícia à infiltração [4].

Uma vez que esses aquíferos são captados principalmente por poços escavados, para os quais não se dispõe de dados hidroquímicos, os mesmos não foram enfocados no presente trabalho, sendo analisados especificamente os fatores controladores da ocorrência de ferro nas águas dos aquíferos Barreiras e Pirabas.

Aquíferos do Grupo Barreiras

Estes aquíferos são os mais explorados na Região Metropolitana de Belém, sendo representados por areias finas a grossas, conglomeráticas e quartzosas. Os horizontes lateríticos podem, em alguns locais, apresentar cavidades intercomunicantes, constituindo aquíferos com transmissão de água relativamente elevada [4].

O nível estático apresenta profundidade variando de menos de 1 até 24 metros, enquanto que os poços apresentam vazões que variam de 20 a 300 m³/h. Esses aquíferos encontram-se menos vulneráveis à contaminação, se comparados aos aquíferos do Quaternário, devido ao fato de estarem localizados a uma profundidade média em torno de 40 metros, bem como pela existência de alguns níveis argilosos sobrepostos [4].

Aqüíferos da Formação Pirabas

Os aquíferos da Formação Pirabas são representados por areias e arenitos de granulação variando de fina a grossa, com seixos arredondados e subarredondados de quartzo. Apresentam-se intercalados por argilas, folhelhos, margas e argilitos e são encontrados a partir de 100 metros de profundidade.

A exploração desses aquíferos vem aumentando na RMB, onde são captados por poços com até 370 m de profundidade, nos quais o nível estático situa-se em profundidades variando entre 1,89 e 21,0 metros [4].

Esses aquíferos não ocorrem acima de 150 metros de profundidade, fato que os torna naturalmente pouco vulneráveis à contaminação química e/ou biológica.

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Em condições naturais, as águas subterrâneas de Belém, encontram-se dentro dos padrões de potabilidade, estabelecidos pela Portaria No 1469 de 29/12/2000 do Ministério da Saúde, no que concerne aos constituintes maiores (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , e SO_4^{2-}). No entanto, poços que captam os aquíferos do Grupo Barreiras comumente apresentam teores de ferro dissolvido superiores a 0,3 mg/L que corresponde ao valor máximo estabelecido pela citada Portaria.

Geralmente, os elevados teores de ferro encontrados nas águas de Belém, estão associados aos aquíferos do Grupo Barreiras [5]. Por sua vez, a água dos aquíferos da Formação Pirabas normalmente apresentam excelentes condições para o consumo humano [5].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Região Metropolitana de Belém, as unidades do Grupo Barreiras e Pós-Barreiras são, litologicamente, as mais favoráveis a produção de água com teores elevados de ferro. Isto deve-se, sobretudo, ao fato dessas unidades serem compostas por sedimentos de origem continental, com alguns minerais que podem liberar ferro em solução, quando em condições adequadas, como por exemplo, meio redutor e/ou ácido. Por outro lado, a Formação Pirabas é a unidade menos favorável à liberação de ferro, uma vez que é constituída basicamente por calcários puros e diversificados, desprovidos de grandes quantidades de ferro. O mineral mais abundante encontrado nesta formação é a calcita com baixo teor de magnésio, enquanto que a dolomita ocorre em menor proporção [6]. No entanto, cabe ressaltar a ocorrência nessa formação de nontronita, esmectita rica em ferro, assim como de pirita (sulfeto de ferro).

Apesar dos sedimentos do Grupo Barreiras serem, *a priori*, propícios à produção de água com teores elevados de ferro, alguns dos poços estudados, situados nessa unidade, mostraram baixos teores de ferro. É o caso, por exemplo, do poço BEL 04 (Tabela 2), que capta água a uma profundidade de 57m (aquífero do Grupo Barreiras), cuja água apresentou apenas 0,2 ppm de ferro total. Por outro lado, poços que captam a Formação Pirabas podem apresentar teor elevado de ferro. Exemplos disto são os poços BEL 06, ICO 03 e BEL 02, com 120m, 370m e 255m de profundidade, respectivamente. O primeiro, apresenta um teor de ferro de 7,21 ppm, enquanto que no segundo e no terceiro os teores de ferro são de 1,01 e 0,90 ppm, respectivamente (Tabelas 3 e 4).

Os exemplos acima mostram que apenas o fato do poço captar água dos sedimentos do Grupo Barreiras não significa que essa água apresentará teores elevados de ferro. Depreende-se, portanto, que outros fatores precisam ser considerados para uma melhor compreensão da origem do ferro nas águas dos poços da RMB. Entre estes fatores destacam-se as características químicas e físico-químicas das águas, com ênfase para o pH, o Eh e os teores de HCO_3^- e CO_2 dissolvido (Tabela 2), bem como as características construtivas dos poços.

Relação Entre Características Físico-Químicas e Teor de Ferro nas Águas Estudadas

Quando se correlacionam os teores de ferro com os valores de pH nas águas dos poços estudados, constata-se que tanto em meio ácido como básico, podem ocorrer teores de ferro acima do padrão de potabilidade (0,3 ppm). Exemplos disto são os poços BEL.01 e BEL.02. No primeiro, a água apresenta pH de 5,16 e 1,81 ppm de ferro total; no segundo, o pH encontrado é de 7,46 e o teor de ferro de 0,9 ppm.

A análise das tabelas 2 e 3 revela que o menor valor de pH (4,18), ocorre no poço BEL 04, com 57m de profundidade. Valores de pH dessa ordem são favoráveis à permanência de ferro em solução na forma de Fe^{2+} , mesmo em ambiente aerado (Figura 2). No entanto, nesse poço o teor de ferro foi de 0,05 ppm, indicando que o fato da água ser ácida não implica na ocorrência de teor elevado de ferro.

A maioria dos poços apresenta águas com pH entre 6,5 e 7,4, condições estas, favoráveis ao desenvolvimento de ferro bactérias como as: *Gallionellas*, *Sphaerotilus*, *Sidercapsaceae* [7] e *Clonothrix*, *Crenothrix leptothrix* e *Sidercapsa* [8]. Esse fato sugere que essas bactérias podem ser prováveis promotoras da precipitação de ferro em alguns dos poços avaliados. No entanto, como não se dispõe de análise para a identificação dessas bactérias nas águas estudadas, essa correlação não pôde ser feita. Por outro lado, na quase totalidade dos poços, as águas apresentaram valores de Eh acima de 320 mV, indicando a influência de um ambiente aerado, sem condições para o desenvolvimento de ferro-bactérias [7]. A ausência destas poderia ser um dos fatores responsáveis pela permanência do ferro em solução em alguns dos poços considerados.

Tabela 2. Poços estudados e seus respectivos valores de pH, ferro total, HCO₃⁻ e CO₂ dissolvido.

Poço	pH	HCO ₃ ⁻ (ml/L)	CO ₂ (mg/L)	Fe Total
BEL.01	5,16	3,05	5,68	1,81
BEL.02	7,46	183,00	289,32	0,90
BEL.03	6,93	186,05	294,70	1,33
BEL.04	4,18	10,98	19,26	0,20
BEL.05	6,72	152,05	240,88	0,61
BEL.06 A	6,38	158,60	251,63	7,21
BEL.07	6,45	152,50	241,87	3,09
BEL.08	7,20	183,00	289,58	0,63
ICO.01	6,90	174,46	103,12	1,05
ICO.02	6,59	65,27	276,31	0,06
ICO.03 A	7,60	152,50	240,72	1,01
ICO.04	6,71	129,93	265,54	3,55
ICO.05	7,01	167,75	240,88	0,20
MSQ.01	7,10	163,48	258,66	0,26
MSQ.02	7,20	170,80	66,44	0,19

Os teores de CO₂ dissolvido, calculados a partir da relação $CO_2 = 6 - pH + 1,589 \cdot HCO_3^-$ [1] se mostraram superiores a 20mg/L (Tabela 2), os quais são favoráveis ao desenvolvimento da bactérias como a *Gallionella* [7].

Ressalta-se que além da capacidade de precipitar o ferro férrico, as ferro-bactérias também podem promover a corrosão de componentes metálicos dos poços, através da geração de condições favoráveis ao desenvolvimento de outros organismos envolvidos nos processos de corrosão de metais [9]. Tais processos podem contribuir para a elevação dos teores de ferro na água.

Tabela 3. Parâmetros e cosntituíntes químicos de águas subterrâneas da RMB. Alcalinidade ao metilorange (Alca.), sílica e ferro em ppm; os demais parâmetros em meq/L [5].

Amostras	Prof. (m)	pH	Eh (mV)	Cond. (uS/cm)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe total
BEL 01	200	5,16	391	37,40	0,19	0,005	0,010	0,020	1,59	0,050	0,130	*	1,81
BEL 02	255	7,46	431	310,0	0,03	0,040	2,75	0,573	0,51	3,0	0,043	0,07	0,90
BEL 03	240	6,93	450	362,0	0,13	0,020	2,825	0,61	0,78	3,05	0,435	0,111	1,33
BEL 04	57	4,18	542	41,7	0,20	0,003	0,035	0,054	0,10	0,180	0,210	*	0,20
BEL 05	270	6,72	438	259,0	0,03	0,021	2,185	0,65	0,28	2,50	0,090	0,036	0,61
BEL 06	128	6,38	487	340	0,15	0,020	2,737	0,475	6,12	2,60	0,644	0,145	7,21
BEL 07A	176	6,45	504	356	0,05	0,017	2,88	0,72	2,05	2,50	0,825	0,26	3,09
BEL 08	258	7,20	160	323	0,05	0,019	2,21	0,600	0,13	3,0	0,12	0,10	0,63
ICO 01A	256	6,9	379	301	0,03	0,015	2,25	0,515	0,68	2,86	0,072	0,065	1,05
ICO 02	85	6,59	401	87,5	0,16	0,012	0,5	0,13	0,03	1,07	0,06	*	0,06
ICO 03	370	7,60	416	273	0,03	0,02	2,105	0,61	0,68	2,50	0,072	0,070	1,01
ICO 04	150	6,71	454	231	0,03	0,022	1,841	0,323	3,41	2,130	0,135	0,032	3,55
ICO 05	270	7,01	410	293	0,04	0,020	2,384	0,546	0,15	2,75	0,072	0,072	0,20
MSQ 01	250	7,20	232	307,0	0,04	0,025	2,158	0,75	0,076	2,68	0,24	0,73	0,26
MSQ 02	250	7,2	232	307	0,05	0,025	2,17	0,706	0,05	2,80	0,120	0,073	0,19

Tabela 4. Parâmetros e constituintes físicos e químicos de águas subterrâneas da RMB, turbidez em mg SiO₂, alcalinidade ao metilorange (Alcal.), ferro em ppm; os demais parâmetros em mg/L. Fontes: *FEMAC- Geosolo Engenharia Ltda; os demais Serviço Autônomo de Água e Esgotos de Belém (SAAEB).

AMOSTRA	Prof. (m)	pH	Cond.	Dureza total	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ferro total	NO ₂ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
BEL 07B	250	8,61	-	190	-	-	1,05	0,01	4,0	<0,1
BEL 09	27	5,4	>300	-	45,9	7,2	0,25	<0,02	8,0	<0,001
ICO 05B*	273	7,1	-	158	0,961	0,257	5,80	-	0,6	-
BEL 10*	266	6,9	-	140	44,4	6,7	0,3	0,02	6,0	<0,001
BEL 11 A*	43	7,13	-	40	-	-	2,24	0,68	68	<0,1
BEL 11 B*	-	7,3	325	157	-	-	0,50	0,1	5,5	<0,01
ICO 06	-	7,2	344	180	-	-	0,1	0,2	7,5	<0,01
ICO 01 B	-	7,5	329	161	-	-	0,1	0,3	9,8	<0,01

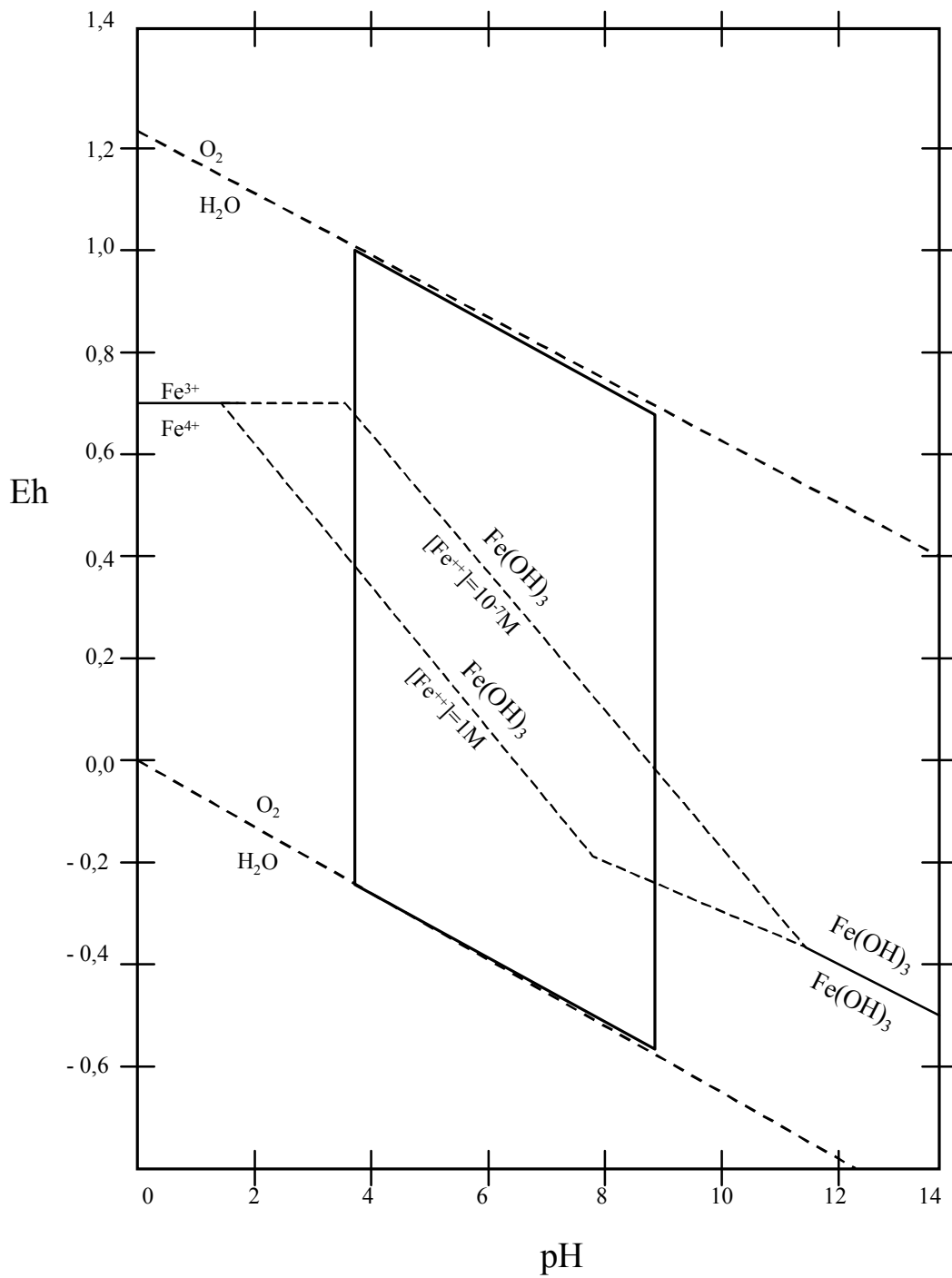


Figura 2. Diagrama Eh-pH para íons simples e hidróxidos de ferro a 25°C. Eh em mV [10].
Simplificado.

Características Construtivas dos Poços e Regime de Bombeamento

Um poço é uma obra de engenharia e, quando bem construído, representa uma forma segura e econômica de abastecimento de água. Por outro lado, quando construído de forma inadequada, pode ser responsável pela degradação da água captada. Um exemplo disto é o caso em que, visando obter uma maior vazão, os filtros do poço são colocados em formações distintas podendo haver a captação de água de má qualidade (como teor elevado de ferro ou de nitrato, por exemplo).

Entre os perfis estudados, não foi constatado nenhum exemplo de poços com filtros situados simultaneamente em aquíferos do Grupo Barreiras e da Formação Pirabas. No entanto, esse fato não implica que essa captação conjunta não ocorra em alguns casos, pois na maioria dos perfis estudados não constam as posições de instalação dos filtros, fato que não permite a análise dessa possibilidade.

Uma outra situação relativamente comum quando se avaliam perfis de poços é aquela em que mesmo os filtros sendo colocados apenas em uma formação, a água captada é proveniente de formações distintas. Nesses casos, a captação conjunta é decorrência de uma cimentação inadequada. Dentre os poços estudados neste trabalho, o perfil do poço nº3 do *Campus* Universitário (Figura 3) é um exemplo desta situação. Esse perfil mostra uma cimentação a 171m de profundidade, não adequada para impedir que águas provenientes de formações mais superficiais penetrem no poço, através do espaço anular, como ilustra a figura 3.

Uma das situações acima descritas poderia ser responsável pelas características da água do poço BEL.01. Esse poço, apesar de possuir 200 m de profundidade, apresenta uma água ácida (pH de 5,16), assim como teores de Ca^{2+} (0,01 meq/L) e Mg^{2+} (0,02 meq/L) incompatíveis com águas típicas dos sedimentos Pirabas, como é o caso dos demais poços com profundidade superior a 150 m, apresentados nas tabelas 3 e 4. As diferenças entre a água do poço BEL.01 e os demais que captam água da Formação Pirabas sugere que no poço BEL.01 ocorre mistura de águas dos sedimentos do Grupo Barreiras (águas tipicamente ácidas, com baixo teor de Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^-) e Pirabas (águas fracamente ácidas a alcalinas, ricas em Ca^{2+} , Mg^{2+} e HCO_3^-). Essa mistura poderia ocorrer pela falta de isolamento físico (cimentação) entre as duas formações e/ou pela colocação de filtros nos aquíferos Pirabas e Barreiras.

No caso de haver uma captação conjunta de águas dos sedimentos Barreiras e Pirabas, além da possível ocorrência de teores elevados de ferro (proveniente dos sedimentos Barreiras) na água uma outra consequência provável seria a precipitação de carbonatos de ferro, formando incrustações, fato que comumente reduz a eficiência do poço [2].

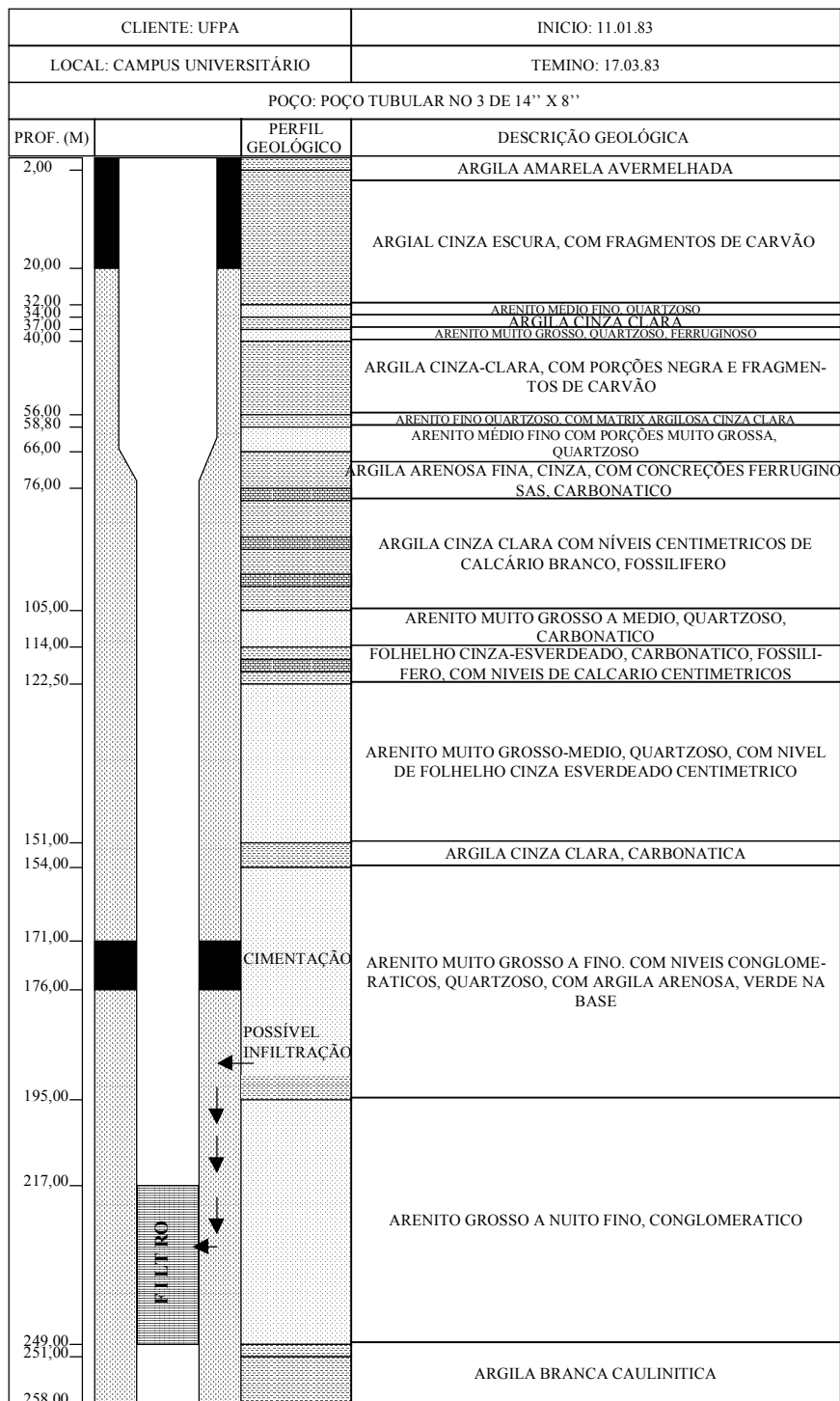


Figura 3. Perfil do poço nº3 do *Campus* Universitário (BEL. 07B), ilustrando a possibilidade de captação de água de camadas superiores àquela onde está colocado o filtro. Fonte:

Pentágono Engenharia Ltda.

Um outro fator que pode influenciar no teor de ferro na água de poços tubulares é o regime de bombeamento. Um exemplo dessa situação foi observado no município de Benevides, próximo de Belém. Esse poço, com 50 m de profundidade, foi projetado para captar um aquífero do Grupo Barreiras, situado entre 25 e 35 m de profundidade, confinado por uma camada argilosa, como mostra o perfil esquemático apresentado na figura 4. No início da captação, a água do poço apresentava teor de ferro menor que 0,3 mg/L. Após alguns meses de funcionamento, a água passou a apresentar teor de ferro superior a 1,0 mg/L (Tancredi, informação verbal). Neste caso, uma das causas mais prováveis seria o aumento do tempo diário de bombeamento. Em tal situação, poderia haver a expansão do raio de influência do poço [11], conforme ilustrado na figura 4. Na primeira situação, poder-se-ia considerar, a título de exemplo, um regime de bombeamento de 12 horas diárias, resultando em um raio de influência R1. Com a intensificação do regime de bombeamento, passando, por exemplo, para 18 horas diárias, o raio de influência do poço seria representado por R2, atingindo lentes de argila intercaladas no aquífero. Essas lentes seriam a fonte de ferro para a água captada.

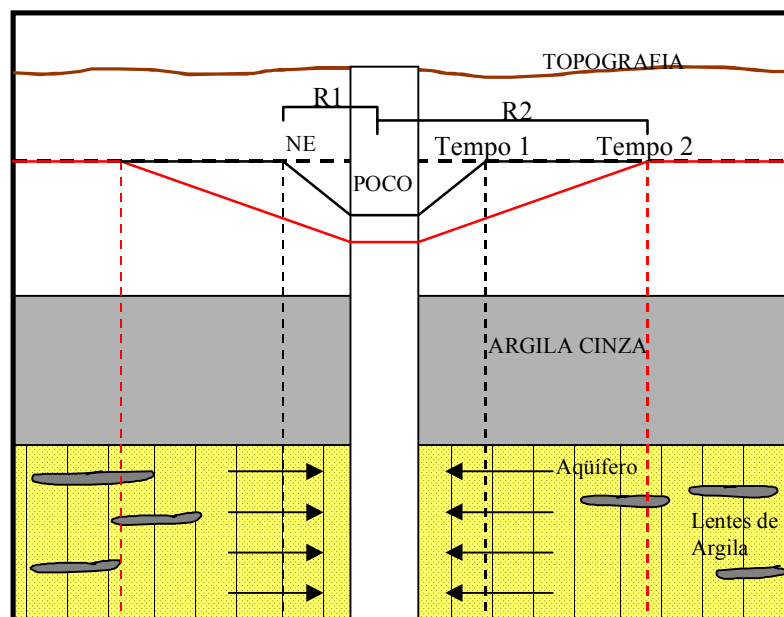


Figura 4. Perfil esquemático ilustrando a influência do aumento do regime de bombeamento do poço tubular, induzindo a captação de água com teor elevado de ferro.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação dos teores de ferro nas águas subterrâneas da Região Metropolitana de Belém revelou que essas águas comumente apresentam teores de ferro acima do limite de potabilidade (0,3 mg/L). A correlação desses teores com parâmetros determinantes da dissolução/precipitação do ferro e do desenvolvimento de ferro-bactérias, bem como com as características construtivas dos poços, permitiu identificar alguns fatores que contribuem para a ocorrência de ferro nas águas estudadas.

Os dados avaliados revelaram que, em princípio, os aquíferos constituídos pelos sedimentos do Grupo Barreiras são litologicamente mais favoráveis à produção de águas com elevados teores de ferro. Porém, a análise dos fatores responsáveis pela ocorrência de ferro nas águas dos sedimentos Barreiras ficou prejudicada uma vez que entre os poços estudados apenas 3 apresentaram profundidade inferior a 100m, captando essencialmente os sedimentos Barreiras.

Embora na Formação Pirabas predominem sedimentos pobres em ferro, em um dos seus fácies ocorrem quantidades significativas de esmectita rica em ferro (nontronita), além da pirita, que, localmente, podem ser fontes de ferro para a água. Assim sendo, nas áreas em que os poços atravessem esse tipo de material o mesmo deve ser isolado, a fim de evitar um possível aporte de ferro para a água.

Os valores de pH de algumas das águas estudadas caracterizam um ambiente favorável à presença de ferro em solução, na forma de Fe^{2+} , muito embora nem sempre as águas mais ácidas tenham apresentado teores elevados de ferro. Tal fato indica que outros fatores também controlam a presença dessa substância na água. O pH também indicou condições favoráveis ao desenvolvimento de ferro-bactérias. Por outro lado, os valores de Eh não caracterizam um ambiente propício a esse desenvolvimento. No entanto, pela inexistência, nos relatórios técnicos obtidos, de análises específicas para a identificação de colônias de ferro-bactérias, não foi possível avaliar a real contribuição dessas bactérias para a precipitação de ferro nas águas de Belém.

Os teores de CO_2 dissolvido nas águas dos poços estudados são favoráveis à precipitação de ferro, formando incrustações em filtros e tubulações. Esse teores, também indicam boas condições para a proliferação de bactérias promotoras da precipitação de ferro. No entanto não foi constatada uma relação clara entre os teores de CO_2 e de ferro na água, indicando que, por si só, esse parâmetro não é decisivo para a presença de ferro na água.

Nos perfis de poços estudados, são evidentes algumas falhas construtivas destacando-se a cimentação inadequada, podendo propiciar a captação conjunta de água dos sedimentos do Grupo Barreiras e Formação Pirabas. Este fator poderia justificar o fato de muitos poços com mais de 100 m de profundidade (a *priori* captando a Formação Pirabas) apresentarem teores de ferro elevados.

Um outro fator que poderia favorecer a captação de água com teor de ferro elevado seria a colocação de filtros em aquíferos dos sistemas Barreiras e Pirabas, simultaneamente. No entanto, devido a ausência de especificação das profundidades de colocação dos filtros, na maioria dos perfis estudados, essa possibilidade não pôde ser adequadamente avaliada.

Na busca de dados para a execução deste trabalho detectou-se que as empresas de perfuração não seguem um padrão com relação à avaliação da qualidade da água dos poços. Em geral, os relatórios técnicos apresentam análises de água incompletas, sem atender ao mínimo de parâmetros exigidos pelos padrões de potabilidade ou, o que é pior, não apresentam nenhum dado analítico. Entre os dados hidroquímicos disponíveis usualmente não constam análises bacteriológicas.

Com base no exposto fica clara a necessidade da Secretaria Executiva Ciência Tecnologia de Meio Ambiente (SECTAM) passar a exercer um maior controle na exploração das águas subterrâneas (nos aspectos quantitativos e qualitativos), responsabilidade que lhe foi conferida pela Lei Estadual de Águas Subterrâneas (Lei 6.104/98).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - **CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R.** Hidrologia Subterrânea. Ediciones Omega (I e II): Barcelona, 1983, 2359p.
- [2] – **DRISCOLL, G.** Groundwater and Wells. 2 ed. St. Paul: Johnson Division, 1987, 1089p.
- [3] - **ARAÚJO, P.P.** Variações Sazonais dos Componentes Nitrogenados, em aquífero Livre na Zona Urbana de Santa Izabel do Pará. Belém, UFPA, Centro de Geociências. Tese (Mestrado em Geologia), 2001, 113p.
- [4] - **SEICOM.** Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração, IBGE. Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas Região Metropolitana de Belém e Adjacências: projeto estudo do meio ambiente em sítios de extração de materiais de construção na região Belém-Benevides, Estado do Pará, relatório final. Belém, 1995, 157p.
- [5] - **SAUMA FILHO, M.** As águas subterrâneas de Belém e adjacências: influência da Formação Pirabas e parâmetros físico-químicos para medidas de qualidade. Belém, UFPA, Tese de Mestrado. 1996, 160p.
- [6] - **TRUCKENBRODT, W.** Contribuição á Mineralogia e á Geoquímica da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) Estado do Pará. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 1981, (25):1-26p.

- [7] – **HACKETT, G & LEHR, J.H.** Ferro-bactérias em poços artesianos: ocorrência, problemas e métodos de controle. Publicado por National Water Association. Caderno Técnico ABAS, 1971, 1:65p.
- [8] – **MENESES, M.A.** Ferro-bactérias em água subterrânea, estudo de casos no Ceará. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1992.
- [9] – **ABAS. CADERNO TÉCNICO.** Ministério da Ciência e tecnologia. São Paulo. 1991. 1:65p.
- [10] - **KRAUSKOPF, K.B.** Introdução à Geoquímica. São Paulo. Polígono, Ed. da USP, 1972, v.1, 300p.
- [11] – **FEITOSA, F.A.C. & FILHO, J.M.** Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM, LABHID-UFPE,. 1997, 412P.