

A PROBLEMÁTICA DAS FERROBACTERIAS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
PESQUISA, OCORRÊNCIA E ALGUMAS SOLUÇÕES PRÁTICAS

POR

A.O. Freire¹, C.T. de Carvalho², F.D. Lamas³

Resumo -- "Ferrobacteria" é um fenômeno mundial atualmente em água subterrânea. Sua problemática ocorrência em Minas Gerais há 3 anos atrás levou a COPASA/MG a constituir um grupo de trabalho para combater o problema, no que se convencionou chamar "Projeto Ferrobacterias". Foi feita inicialmente uma ampla pesquisa bibliográfica e então partiu-se para testes e pesquisas de laboratório e campo. Os resultados desta pesquisa até agora nós apresentamos aqui para conhecimento, intercâmbio e debates.

INTRODUÇÃO

Minas Gerais, um estado eminentemente mineral como diz o próprio nome, esteve indissolúvelmente ligado também, historicamente, ao conceito de ser uma província ferrífera, evidenciado pela exploração tradicional de suas montanhas rochosas para fins siderúrgicos e exportação.

Dentro desse panorama particular não foi surpresa depararmos com o fenômeno das "ferrobactérias" manifestado também aqui em nossas águas subterrâneas, haja visto a ambiência própria em nosso sub-solo; o que foi surpresa foi a sua incidên

-
1. Engenheiro Sanitarista, pesquisador da Companhia de Saneamento de Minas Gerais-COPASA/MG, na área de hidrogeologia e hidrologia.
 2. Engenheira sanitaria, pesquisadora da Companhia de Saneamento de Minas Gerais-COPASA/MG, na área de engenharia sanitária.
 3. Técnico-químico, pesquisador da Companhia de Saneamento de Minas Gerais, na área de Apoio e Operação.

cia quase "epidêmica" em alguns poços. Mas o fenômeno é mundial. Algo assim que eu definiria numa imagem mais popular como uma Aids nas águas subterrâneas. Lógico, dentro do contexto da saúde do poço e não do homem.

Para fins de estudos ao problema, foi constituída uma comissão de técnicos e consultores na COPASA/MG dentro do que se convencionou chamar "Projeto Ferrobacterias", cujas contribuições mais importantes e práticas até agora (a pesquisa está em andamento) trazemos aqui ao conhecimento dos hidrogeólogos do país, para análise, debates e intercâmbio técnico.

Sob o ponto de vista da Engenharia Sanitária, o fenômeno "ferrobacteria" está intimamente conjugado aquele oriundo da presença de ferro e manganês (e manganobactérias) nas águas, constituindo-se no desenvolvimento desse trabalho apenas o "leit-motiv" para a discussão geral.

FERROBACTERIAS

Definição:

O termo "ferrobacteria" caracteriza um grupo de microorganismos que satisfazem suas necessidades energéticas através da oxidação enzimática de ions ferrosos, e algumas vezes manganos com concomitante fixação de CO². Isto resulta na precipitação de sais fêrricos sobre a célula e o caule, usualmente em forma de hidróxido, dando-lhes uma cor marron ou vermelho ocre. O seu reconhecimento macroscópico é normalmente facilmente detectável pela sua grande capacidade de formar em águas correntes e em mananciais grandes massas de hidróxido fêrrico em forma de flocos, incrustando em filtros e tubulações do poço e do sistema de abastecimento em geral, gerando enfim grandes distúrbios.

Ocorrência:

Elas tem sido encontradas em águas com 10 a 30 ppm de ferro, ou onde a concentração é tão baixa quanto 0,1 a 0,3

ppm, particularmente em águas correntes, onde o suprimento de ferro é continuamente renovado (como nos poços em operação). Normalmente o seu surgimento é mais nocivo (ou mais indesejado) onde as concentrações de ferro e manganês estão dentro dos padrões internacionais de água potável (ou seja, ferro total < 1 ppm, e manganês < 0,3 ppm) que caracterizam preliminarmente uma água sem necessidade de tratamento específico.

O desenvolvimento desses organismos é governado não tanto por um alto conteúdo de ferro quanto por uma certa combinação de condições, resultando na formação de compostos de ferro-reduzido em solução. Ferro no estado ferroso é facilmente oxidável e pode existir em situações destituídas de oxigênio ou estabilizado por condições ácidas. Sob condições neutras a oxidação do ferro ferroso pelo ar é uma reação química rápida; portanto, para competir as ferrobactérias, devem se estabelecer numa posição relativa ao gradiente de oxigênio e dos compostos ferro-reduzidos para que possam catalizar esta reação. Normalmente ocorrem numa faixa de pH de 5,5 a 8,5.

Grupos:

a) Não filamentosas

Ocorrência em Minas: Gallionella: macroscopicamente a colônia é branca (algodão) dada a refração da luz, mas com o passar do tempo toma gradualmente uma cor ferruginosa. Não é sensível a luz, predominando em locais escuros. Autotrófica.

b) Filamentosas

Ocorrência em Minas: provavelmente Leptothrix: apresenta-se em forma simples, linear. Nos primeiros estágios de crescimento é transparente com bainha, a qual se torna incrustada com grande quantidade de hidróxido de ferro, à medida que vai crescendo. Podem ser auto ou heterotróficas.

Possíveis Causas do Problema:

1. Contaminação por água superficial:

Direta - poços sem tampão ou selo sanitário, em época

de chuva e cheia;

Indireta - pela infiltração das águas superiores de sub-superfície ou águas de contacto (na interface água-argila, as ferrobactérias são ativas e sua presença é notável como nos períodos de inversão térmica, nos lagos).

2. Qualidade do material usado nos poços:

A qualidade dos materiais está relacionada aos fatores promotores do desenvolvimento dos flocos de ferrobactérias nos seguintes aspectos:

- uso de materiais facilmente oxidáveis
- falta de promoção contra corrosão.

3. Contaminação artificial:

A falta de desinfecção dos materiais e equipamentos utilizados nos poços durante as fases de construção, manutenção e operação, contribui certamente para a disseminação de ferrobactérias entre poços não contaminados, posto que estas bactérias sobrevivem mesmo em condições adversas, durante muito tempo, mesmo estando expostas ao sol.

4. Rebaixamento do nível dinâmico:

O rebaixamento do nível dinâmico, excessivamente causa a exposição dos filtros ao ar, propiciando condições aérobias favoráveis ao desenvolvimento de bactérias nesta região e a consequente formação e carreamento de flocos para dentro do poço.

5. Superexploração do poço:

O superbombeamento provoca a ocorrência de velocidades excessivas de fluxo através dos filtros, acelerando a corrosão dos mesmos pela abrasão do material. Esta corrosão, por sua vez, contribui para a liberação de ferro, facilitando o desenvolvimento das bactérias na região dos filtros, com o consequente surgimento dos flocos.

6. Agressividade da água:

A água agressiva atua também como fator de promoção do desenvolvimento de ferrobactérias, uma vez que neste caso a

corrosão se processa mais acentuadamente. Por outro lado, há evidências de que as ferrobactérias se desenvolvem preferencialmente em pHs na faixa ácida.

Medidas preliminares para evitar surgimento de flocos

Em vista das possíveis causas analisadas anteriormente podemos recomendar alguns procedimentos para controlar o aparecimento dos flocos de ferrobactérias.

1. Na construção de poços

Os projetos de construção dos poços devem prever essencialmente o seguinte:

a) Selo sanitário de, no mínimo, 10 metros para se evitar a contaminação do poço através da filtração de águas superficiais;

b) Dimensionamento do comprimento e abertura dos filtros em função da vazão a ser explorada, para evitar sua abrasão e consequente corrosão;

c) Emprego de material não oxidável para execução de revestimento e filtros (revestimentos com cobertura de Epoxi e filtros Inox - especificados a partir do Índice de Rizznar - e mais recentemente tubos e filtros em PVC);

d) Desinfecção eficiente do poço (dosagem de cloro na faixa de 500 mg/l);

e) Vedação da boca do poço após sua construção e instalação;

f) Após a construção, a boca do poço deverá ficar acima da cota de inundação.

2. Na operação e manutenção dos poços

Recomendamos a observância dos seguintes procedimentos:

a) Conjuntos moto-bombas já instalados e outros equipamentos e materiais, tais como medidores de nível d'água, tubos

plásticos, fios, etc., não devem ser transferidos de um poço a outro sem antes serem desinfetados adequadamente, mesmo que tais equipamentos se encontrem estocados por vários meses. A desinfecção pode ser feita com água superclorada, em concentrações de 500 a 1000 mg/l de cloro;

b) Sempre que um poço for submetido a um processo de recuperação ou desenvolvimento, deve-se também fazer a sua desinfecção e se possível, a limpeza da adutora de água bruta (uma descarga no mínimo). Esta desinfecção deve ser feita com uma concentração de cloro de aproximadamente 500 mg/l, durante um tempo de contacto mínimo de 15 minutos e ideal de 12 horas (1 noite).

c) O nível dinâmico dos poços deve estar acima dos filtros;

d) O aparecimento de flocos ferruginosos deve ser comunicado de imediato às áreas responsáveis;

e) Poços com manifestação recorrente de ferrobactérias deverão ser superclorados de tempos em tempos (60 dias, 6 meses, 1 ano, de acordo com a melhor eficiência operacional), para se evitar a formação de flocos e conseqüente incrustação no poço, adutora, rede, etc.

LINHAS DE PESQUISA

A pesquisa no Projeto Ferrobactérias da COPASA/MG está sendo conduzida, na fase atual, obedecendo as seguintes linhas principais:

1. Qualidade da água

Estão sendo pesquisados meios de controle biológico, através de desinfetantes:

a) Cloração direta no Poço - tem sido positiva na eliminação dos flocos de ferrobactérias;

b) Supercloração cíclica com períodos determinados pela operação a base de observações locais - tem sido eficiente;

c) A utilização de cloro combinado inibe o crescimento das ferrobactérias a partir de 4 mg/l, enquanto o cloro livre exerce o poder inibidor a partir de 6 mg/l, sendo portanto, mais econômico;

d) Uso de permanganato de potássio como desinfetante.

O estudo de desinfetantes tem por objetivo investigar o produto químico, a frequência e o ponto de aplicação mais adequados.

Estão também sendo pesquisados meios de condicionamento químico:

a) Emprego de produtos para correção de agressividade:

A correção da agressividade da água poderá também propiciar meios adicionais de controle do desenvolvimento dos flocos de ferrobactérias;

b) Aeração da água: nos países de tecnologia mais desenvolvida como E.U.A., Países Baixos, etc., estuda-se hoje a utilização de "poços de injeção" para o controle de ferrobactérias. "Poços de injeção" nada mais são que "piezômetros" a um certo raio do poço (em menor diâmetro), convenientemente projetados, onde se injeta uma fração da água extraída do poço principal, pré-oxigenada, de maneira a propiciar uma aeração do aquífero e concomitante precipitação dos sais fêrricos no próprio aquífero. Uma solução sofisticada traduzida aqui para o nosso "tupiniquim" por uma aeração no poço, via compressor, e oxigenação do aquífero em torno do poço, inibindo a concorrência das ferrobactérias. Teoricamente positiva;

c) Estabilização dos ions F_e^{2+} M_n^{2+} através da aplicação de hexametáfosfato de sódio como agente estabilizador.

Potencial de ocorrência das ferrobactérias:

O fenômeno "ferrobactéria" está intimamente conjugado a-quele, oriundo da presença de ferro e manganês (e manganobactérias)

nas águas. A simples presença de ferro e manganês em teores toleráveis sob o ponto de vista dos padrões internacionais de potabilidade não é contudo fator determinante dos efeitos inofensivos desses minerais nestas dosagens, haja visto a ocorrência de seus efeitos colaterais adversos com a simples incidência de ferrobactérias no manancial. O que existe são determinadas condições concorrentes (internas, equilíbrio iônico; e externas, contaminação) que facultam a ocorrência da deteriorização do manancial, e que podem ser pre-avaliadas da seguinte maneira, conforme bibliografia internacional:

Índice de Rizznar

A fórmula para o cálculo do Índice é a seguinte:

$$\text{IER} = 2 \text{ pHe} - \text{pH}$$

Onde:

IER = Índice de Rizznar

pHe = pH de equilíbrio

pH = pH da água que se considera (de campo)

Para obtermos o pHe, temos que:

$$\text{pHe} = W - \log \text{HCO}_3^- - \log C_a^{2+}$$

Onde:

- W, constante que vale 11,89 a 0°C, 11,63 a 10°C e 11,38 a 20°C;
- HCO_3^- , alcalinidade total em ppm de C_aCO_3 (determinado em campo);
- C_a^{2+} , dureza cálcio em ppm de C_aO (igual a $0,56 \times \text{Dureza cálcio em } \text{C}_a\text{CO}_3$).

O valor obtido do IER é então relacionado ao quadro conclusivo a seguir:

<u>IER</u>	<u>Caracter da água</u>
4,0 a 5,0	Muito incrustante
5,0 a 6,0	Moderadamente incrustante
6,0 a 7,0	Pouco incrustante
7,0 a 7,5	Corrosiva
7,5 a 9,0	Francamente corrosiva
> 9,0	Muito corrosiva

Potencial Redox

Obtem-se através da seguinte fórmula:

$$\text{rH} = \text{Eo.H} \div 0,0992 T + 2 \text{ pH}, \text{ onde:}$$

pH = pH da água que se considera (de campo)

Eo.H = potencial Redox (em mV - referente ao eletrodo de hidrogenio)

T = temperatura absoluta (em °K)

As condições para a formação e deposição de massas de ferro e manganês (flocos) são:

- potencial Redox > - 10 mV ± 20 mV
- rH > 14,5 ± 1

Algumas soluções práticas:

O desenvolvimento da pesquisa tem demonstrado a ineficácia de se alienar o fenômeno da "ferrobactéria" para um ataque isolado ao problema, contra aquele em que se considera a problemática complexa do ferro (e manganês) como um todo (biológico, físico e químico) dentro do sistema de abastecimento.

Na verdade, algumas soluções apontadas para o problema "ferrobactéria" transgridem a problemática do ferro, é como "se vestindo um santo e despindo o outro. Mas quem com ferro fere..." Elimina-se a ferrobactéria e estimula-se a oxidação do ferro e manganês, insolubilizando-os e precipitando-os nas unidades seguintes. E o problema continua ... É como se tomar uma Cibalena.

Porém o controle do fenômeno é complexo, exigindo sempre alternativas específicas, determinações, verificações, avaliações específicas.

Dentro do panorama particular de Minas Gerais, adotamos em nossos poços as medidas profiláticas recomendadas no item "Medidas preliminares..." e passamos a realizar medições de campo de pH, alcalinidade, temperatura, potencial Redox, parâmetros que nos facultam a utilização segura do "Índice de Rizznar" e Potencial Redox, para verificação do potencial de corrosão ou incrustação das águas, com a definição precisa do tipo de revestimento ideal, do potencial de ocorrência de ferrobactérias, etc., etc., procedimentos rotineiros nos países de tecnologia mais avançada.

Nos casos de incidência sistemática de "ferrobactérias" no poço, conjugadas ao problema "ferro e manganês", estamos recomendando a seguinte solução genérica:

a) Supercloração cíclica no poço, para se evitar o surgimento das ferrobactérias e conseqüente incrustação no poço;

b) Limpeza interna da adutora, através de descargas de rede, através de procesos mecânicos ou de alta pressão, e eventualmente substituição das mesmas;

c) Tratamento típico:

- alcalinização da água até pH 9 a 9,5;
- cloração;
- tanque de contacto;
- filtração em leitos de areia ou pirolusita.

OBS: O processo pode ser substituído por "aeradores de bandeja ou cascata", cloração e filtração final, no caso de ocorrência apenas de "ferro inorgânico".

d) A indicação do tratamento adequado é concebida a partir de uma unidade-piloto, protótipo da alternativa acima, ex-

perimentada em cada caso.

e) No caso geral, há que se fazer um estudo físico-econômico de alternativas de mananciais no caso de utilização dessas ETAs simplificadas porque aí a alternativa "água subterrânea" já passa a ser uma solução sofisticada. A solução é mais indicada para sistemas onde a "fonte de produção já consistia em água subterrânea ou para aqueles sem outra alternativa de manancial, sendo sugerida a pesquisa de sua viabilidade no aproveitamento de aluviões para regiões áridas, onde é comum a presença de "ferro". No nosso caso a alternativa é válida, tendo-se em vista estar em processo de desativação na COPASA/MG de pequenas unidades de ETAs compactas que poderão ser assim recicladas para este uso específico, sem novo onus.

f) Há casos em que a solução talvez seja cimentar a sapata do revestimento e os filtros.

Há casos em que a solução talvez seja fazer novo revestimento, utilizando explosivos para sacar o anterior:

Há casos em que a solução talvez seja abandonar o poço (como nos E.U.A.).

Referências bibliográficas:

- ARLINDO, W.N.M. Avaliação da Presença de Manganês no Sistema Serra Azul . In: 13 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió.1985.
- BEEK, C.G.E.M. "Experiences with underground water treatment in the Netherlands" , Water Supply, vol.3, Berlin.
- CETEC - Fundação Tecnológica de Minas Gerais. Biologia e Ecologia de ferrobactérias (monografia baseada em bibliografia internacional.1984).
- LLAMAS, E.C. "Corrosion y incrustacion de pozos", Cap.17.6 , Hidrologia de Águas Subterrâneas.
- SMITH, S. "Chemical control of iron bacteria", WWJ apr.81
"Physical control of iron bacteria", WWJ july.81

A PROBLEMÁTICA DAS FERROBACTERIAS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS :
PESQUISA, OCORRÊNCIA E ALGUMAS SOLUÇÕES PRÁTICAS

POR

A.O. Freire¹ , C.T. de Carvalho², F.D. Lamas³

Abstract - - "Ironbacteria" is an up-to-date world phenomenon in groundwater. This problematic occurrence appeared in MG State 3 years ago, obliging COPASA-MG to constitute an "staff" to fight the problem. Initially it was done an bibliographic research following a laboratory and field research and the main results until now we show here for knowledge, exchange and discussions.