



## I-176 - REMOÇÃO DE FERRO E REDUÇÃO DE DUREZA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE PRIMEIRA CRUZ

**Francisco das Chagas Pereira Oliveira<sup>(1)</sup>**

Químico Industrial (UFMA). Especialista em Docência de Ensino Superior pela Universidade Candido Mendes. Químico da CAEMA.

**Raphael Teixeira Verbinnen**

Químico Industrial (UFMA). Mestre em Química Analítica (UFMA) e Doutorando em Química (IQSC/USP). Químico da CAEMA.

**Iranaldo Santos da Silva**

Químico Industrial (UFMA). Mestre em Química Analítica (UFMA) e Doutorando em Química (IQSP/USP). Químico da CAEMA.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua 09 Qd 100 Casa 11, Conjunto Henrique de La Roque – São Cristóvão – São Luís – Maranhão – CEP 65056-020 – Brasil = Tel: (98) 9903-7462 – (98) 3463-1383 – e-mail: [fcpo.eu@ig.com.br](mailto:fcpo.eu@ig.com.br) e [fcpo@caema-ma.com.br](mailto:fcpo@caema-ma.com.br).

### RESUMO

Alguns sistemas de abastecimento por poços da CAEMA apresentam ferro como contaminante e elevada dureza. Uma grande parte destes sistemas utiliza apenas o processo de aeração para a redução do ferro e manganês, não fazendo uso de qualquer produto químico para este fim. O presente trabalho se propõe a utilizar uma solução de cal hidratada a 4% (m/V) no controle do pH para uma melhor eficiência na remoção do ferro, devido aos baixos custos e simplicidade de aplicação no tratamento. Verificou-se que a dosagem de cal seguida de uma oxidação química com hipoclorito de cálcio, favoreceu satisfatoriamente a remoção do ferro e apenas uma sensível redução na dureza foi observada. Para a aplicação deste trabalho, foi escolhido o Sistema de Primeira Cruz – MA como piloto por ser um sistema pequeno, com apenas um poço em operação que apresenta um residual de ferro variando entre 4 e 12 mg L<sup>-1</sup>, e com certa facilidade de monitoramento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ferro, dureza, tratamento de água, Primeira Cruz, satisfação de consumidores.

### INTRODUÇÃO

O ferro é amplamente encontrado na natureza, e sua presença em águas subterrâneas ocorre sob a forma de bicarbonato ou de sulfato e em águas de reação ácida, sobretudo em minas, sob a forma de sulfato. O ferro confere à água um sabor metálico, além de apresentar outros inconvenientes como: manchar roupas, louças sanitárias, pavimentos e paredes, mesmo se presente em pequenas quantidades.

A dureza geralmente é definida como a dificuldade em se precipitar sabão. Os principais responsáveis são os cátions metálicos divalentes cálcio e magnésio, sob forma de carbonatos, bicarbonatos e sulfatos. Assim como o ferro, a água dura apresenta uma série de inconvenientes: é desagradável ao paladar; gasta muito sabão para formar espuma e dificulta atividades de higiene; provoca a formação de incrustações perigosas nas caldeiras e aquecedores; deposita sais em equipamentos e vasilhames empregados no cozimento de alimentos ou no aquecimento de água; mancha louças.

Em muitos sistemas de abastecimento por poços artesianos no Maranhão e no Brasil encontramos o ferro como contaminante com teores acima do que estabelece a legislação. Em águas de abastecimento público para consumo humano, a legislação brasileira, tendo como marco legal a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, estabelece como padrão de potabilidade para ferro o teor de 0,3 mg L<sup>-1</sup>. Para dureza, o padrão de aceitação para consumo humano é de 500 mg L<sup>-1</sup>.

Na tentativa de minimizar este problema fazem-se necessários estudos sobre o assunto que proporcionem praticidade, sejam de fácil aplicação e tenham baixos custos operacionais. Dessa forma os responsáveis pela operação dos sistemas de tratamento e controle de qualidade, necessitam aplicar técnicas de tratamento adequadas para a manutenção dos parâmetros dentro dos limites estabelecidos.



O presente trabalho apresenta os esforços realizados na Estação de Tratamento de Água do Sistema de Primeira Cruz – MA mediante a implementação de dosagens da cal, como alcalinizante, e hipoclorito, como oxidante, onde se encontrava com elevados teores de ferro e dureza produzindo água com baixa cor e turbidez, porém ainda impróprias para o consumo humano.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão (CAEMA).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE PRIMEIRA CRUZ

O Município de Primeira Cruz possui aproximadamente 11.999 habitantes, onde é abastecido pela CAEMA um total de aproximadamente 260 ligações de água ativas, estimando-se uma população consumidora de 1.040 habitantes na sede do município.

O SAA de Primeira Cruz – MA é abastecido por um poço artesiano de 40 m de profundidade e vazão de 20 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, cuja qualidade da água produzida apresenta alto teor de ferro, variando no intervalo de 4 a 12 mg L<sup>-1</sup>.

A Estação de Tratamento de Água (ETA) do referido Sistema apresenta os processos de aeração do tipo bandejas, decantação (dois decantadores em série), filtração em filtro russo de fluxo ascendente e desinfecção com hipoclorito de cálcio (pós-cloração).

### O PROCESSO DE TRATAMENTO – REMOÇÃO DE FERRO E REDUÇÃO DE DUREZA

Este trabalho foi conduzido em três etapas para se avaliar a eficiência do processo de tratamento para remoção de ferro e redução de dureza. Para tanto foram necessárias algumas adequações ao sistema de tratamento. O preenchimento do filtro foi previamente trocado acrescentando-se uma camada de 0,30 m de carvão antracitoso e adequado às características da água bruta.

A primeira etapa do trabalho foi a realização do processo de tratamento da água da forma com se encontrava, apenas com aeração, decantação e filtração em filtro russo de fluxo ascendente e a pós-cloração.

Na segunda etapa foram se somados ao tratamento já em operação o preenchimento das bandejas do aerador com carvão mineral (coque). O coque possui a propriedade de auxiliar na aeração devido sua porosidade e alta granulometria (aproximadamente 2 ½”).

E por último na terceira etapa, para favorecer a redução da dureza e a oxidação, coagulação e decantação do ferro (III) foram adicionadas solução de cal hidratada a 4% (m/v) no primeiro decantador e de hipoclorito de cálcio a 3% (m/v) no segundo decantador (intercloração). A intercloração se faz necessária para a completa oxidação do ferro (II) remanescente dos processos anteriores.

### PROCEDIMENTOS DE COLETAS E ANÁLISES

As coletas e análises foram efetuadas conforme especificação do Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, utilizando-se os equipamentos do Laboratório Central da CAEMA em São Luís. Foi utilizado para as análises de turbidez, cor e ferro o espectrofotômetro modelo DR 2000 (Direct Reading Spectrophotometer), marca Hach.

Para a confirmação da eficiência do processo de remoção do ferro de manancial subterrâneo, foi realizada uma pesquisa de satisfação com os consumidores. Através de uma entrevista semi-estruturada contendo seis perguntas de fácil entendimento e com respostas predefinidas foi possível fazer com que os consumidores se sentissem a vontade para falar sobre a qualidade da água ora distribuída pelo SAA Primeira Cruz. As seis questões envolveram assuntos como a qualidade e as propriedades organolépticas da água.

De pesquisas realizadas no SAA de Primeira Cruz, foram compilados os resultados das análises referentes ao controle de qualidade do monitoramento periódico realizado pelo laboratório sede da CAEMA em São Luís –



MA, tanto da remoção de ferro utilizando o processo antigo sem coque, alcalinizante e oxidante (hipoclorito de cálcio) quanto do processo com coque e oxidante, e com o processo completo com coque, alcalinizante e oxidante de águas subterrâneas (efetuado em escala real).

A água bruta do referido sistema apresenta valores para ferro e dureza conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1: Valores médios, em mg L<sup>-1</sup>, dos parâmetros físico-químicos da água bruta correspondente ao período de abril de 2007 a abril de 2009.**

COR	TURB	pH	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	DUREZA TOT.	DUREZA TEMP.	DUREZA PERM.	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fe
511,67	59,67	6,50	52,73	0,0	0,0	518,67	100,50	418,40	143,33	13,48	442,00	9,20

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### PROCESSO DE REMOÇÃO DE FERRO E REDUÇÃO DE DUREZA

Os resultados obtidos para os parâmetros de ferro e dureza total na água tratada, referentes aos três processos de tratamento (processo antigo, processo com coque e pré-oxidação e processo com coque, cal e pré-oxidação) são ilustrados nas tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

**Tabela 2: Valores médios, em mg L<sup>-1</sup> (com exceção de cor, pH e turbidez), dos parâmetros físico-químicos da água tratada pelo processo antigo.**

COR	TURB	pH	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	DUREZA TOT.	DUREZA TEMP.	DUREZA PERM.	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fe
36	3,0	6,0	47,7	0	0	458,4	47,4	411	137,76	9,57	520	1,6

**Tabela 3: Valores médios, em mg L<sup>-1</sup> (com exceção de cor, pH e turbidez), dos parâmetros físico-químicos da água tratada pelo processo com coque e oxidante.**

COR	TURB	pH	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	DUREZA TOT.	DUREZA TEMP.	DUREZA PERM.	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fe
49,67	1,5	6,36	47,67	0	0	468	70,73	397,40	139,01	10,31	466,67	1,0

**Tabela 4: Valores médios, em mg L<sup>-1</sup> (com exceção de cor, pH e turbidez), dos parâmetros físico-químicos da água tratada pelo processo com coque, alcalinizante e oxidante.**

COR	TURB	pH	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	ALC HCO <sup>-2</sup>	DUREZA TOT.	DUREZA TEMP.	DUREZA PERM.	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	Fe
5,33	0,80	7,49	66,01	0,0	0,0	439,56	30,48	409,08	123,71	10,65	635	0,08

Com relação aos resultados das análises da água tratada no período do tratamento antes das modificações (ver Tabela 2) observa-se a presença de ferro total acima dos valores de potabilidade da Portaria 518MS e a dureza nos limites de insatisfação dos consumidores.

O coque possui elevada porosidade e, consequentemente, grande área de contato, onde os compostos oxidados originais servem como catalisadores das reações de oxidação entre a água e o ar. O coque utilizado tem também função adsorvente, já que a água de Primeira Cruz possui cheiro natural de sulfeto. Desta forma, pode-se observar pelos resultados da Tabela 3, que com a simples adição do coque nas bandejas do aerador somadas a pré-oxidação com hipoclorito de cálcio a 3% (m/v), os resultados obtidos foram significativos para ferro, observando-se pouca alteração para a dureza. Porém, o valor para ferro (1,0 mg L<sup>-1</sup>) continua ainda acima do recomendado pela legislação (0,3 mg L<sup>-1</sup>).

O processo cal-soda para remoção de ferro já é muito conhecido na literatura. Tendo em vista a adoção de procedimentos que não onerassem os custos de operação no sistema de tratamento, optou-se por usar apenas a cal hidratada com o propósito de redução da dureza. De acordo com as equações de 1 a 5, é possível observar



que apenas a cal já favorece a remoção de dureza, uma vez que induz a formação de carbonato de cálcio insolúvel. No entanto, como pode ser verificado pela Equação 5 a ausência de carbonato de sódio sugere uma fonte remanescente de cálcio sob a forma de sulfato.

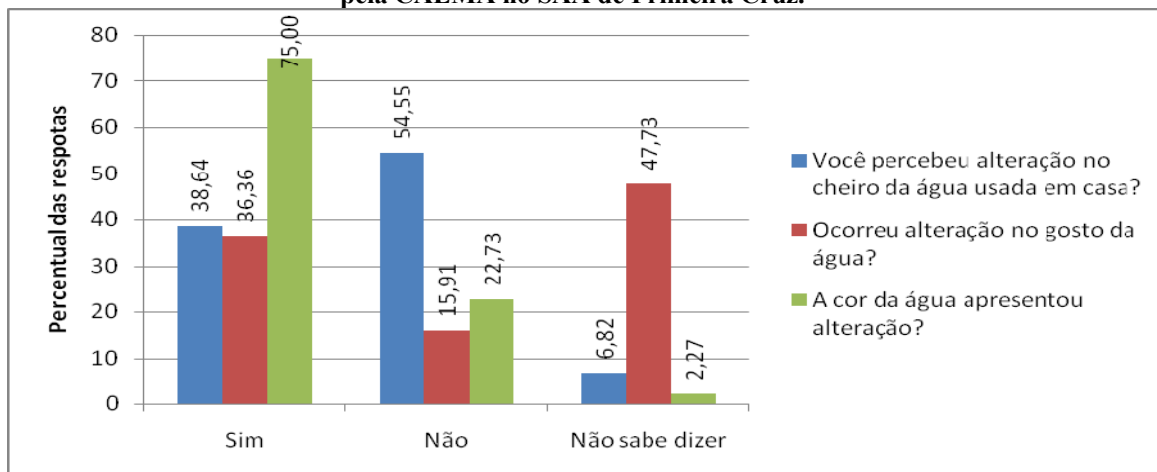


Além da dureza a cal favorece também remoção de ferro, tendo em vista que esta eleva o pH da água, e dessa forma favorece a decantação da maior parte do ferro III, já que com pH entre 7,0 e 9,0 haverá maior formação de  $\text{Fe(OH)}_3$ .

Portanto, de acordo com a Tabela 4, observa-se que para o processo onde utilizamos coque no aerador, cal hidratada no primeiro decantador e o oxidante no tanque de sucção, os resultados para remoção do ferro total são muito significativos, em contrapartida a redução de dureza foi pouco expressiva.

A pesquisa de satisfação realizada junto aos consumidores que são abastecidos pela CAEMA no SAA de Primeira Cruz objetivou verificar a percepção destes acerca dos procedimentos adotados na ETA para melhoria da qualidade da água. As três primeiras questões abordaram a percepção dos consumidores com relação às características organolépticas odor, sabor e cor da água distribuída. A Figura 1 apresenta os resultados das respostas dos consumidores referentes às três primeiras questões.

**Figura 1: Questões relativas às propriedades organolépticas, odor, sabor, e cor, da água distribuída pela CAEMA no SAA de Primeira Cruz.**



Conforme pode ser observado na Figura 1, a grande maioria dos entrevistados não percebeu alteração significativa no odor da água. Para o parâmetro sabor houve boa aceitação, apesar de 47% dos entrevistados que manifestaram não saber dizer, relataram não utilizar a água para beber. Em virtude da redução do teor de ferro a níveis insignificantes, esperava-se que a percepção dos usuários quanto à mudança no sabor da água consumida fosse mais expressiva. Ainda dentro da questão sabor da água, alguns entrevistados manifestaram sua insatisfação em relação à sensação salobra que a água possui o qual é decorrência do teor de cloretos da água bruta, que está mais do dobro do limite estabelecido pela legislação e que com a eliminação do gosto metálico ficou mais evidente. Concordando com o que foi mostrado para a remoção do ferro total mediante a adoção do tratamento com cal, verifica-se que a maioria dos consumidores percebeu alteração na cor da água. Entretanto, uma parcela significativa 22,73% não sentiu tal modificação. Isso pode ser explicado levando-se em consideração a intermitência do sistema e o acúmulo de depósitos na rede de distribuição. Portanto,



conforme a água tratada entra em contato com a tubulação suja, acaba por prejudicar todo o tratamento realizado.

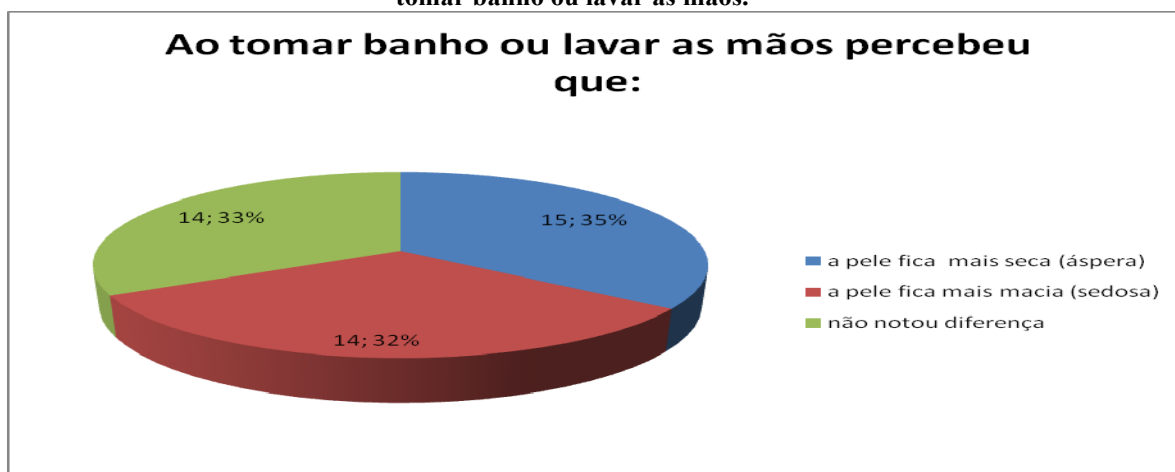
**Figura 2: Quarta questão da entrevista, relativas a percepção dos consumidores quanto à formação de espuma.**



Da Figura 2 percebe-se que 63% dos entrevistados perceberam que a água atualmente está mais adequada no tocante a formação de espuma, concordando pois, com os resultados observados no Figura 2. Contudo associado à resposta dos que disseram que “demora mais a formar” alguns disseram que usando sabão em pó se consegue forma espuma com a água.

Com relação à utilização da água para tomar banho ou lavar as mãos, no que se refere ao estado que a pele fica após o uso da água, as respostas dos entrevistados ficaram aproximadamente equivalentes, conforme é ilustrado na Figura 3 abaixo.

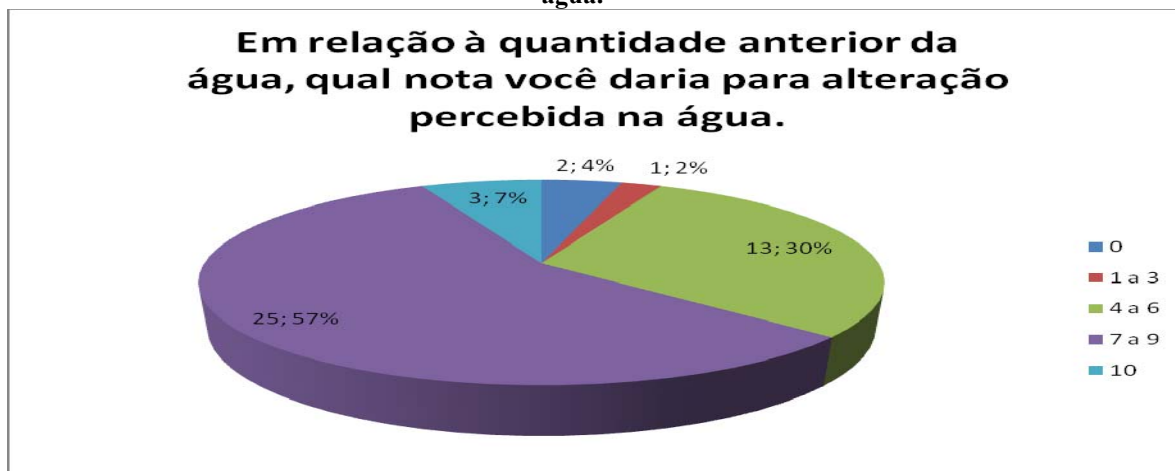
**Figura 3: Quinta questão da entrevista, relativas a percepção dos consumidores quanto ao ato de tomar banho ou lavar as mãos.**



Por fim, foi solicitado aos entrevistados que atribuísem uma nota à alteração percebida na qualidade da água comparando-a com um período no qual não havia o tratamento apresentado neste trabalho. A Figura 4 mostra que a grande maioria dos entrevistados atribuiu uma nota no intervalo entre 7 a 9, indicando um alto grau de satisfação entre os consumidores.



Figura 4: Sexta questão da entrevista, relativa à atribuição de nota para alteração percebida na água.



## CONCLUSÕES

Ocorreram as melhorias na qualidade da água esperadas para o ferro total, cor e turbidez.

Ainda é necessária a continuação das pesquisas já que não alcançamos a redução satisfatória da dureza, devendo ser avaliado o uso da barrilha conjuntamente com a cal (processo cal-soda) para se verificar sua eficiência na redução da dureza. Contudo, o trabalho despendido até o momento, tem refletido resultados na qualidade da água distribuída ao consumo humano que podem ser considerados de boa aceitação pelos consumidores.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Vogel, A.I. Química Analítica Quantitativa. São Paulo, SP: Mestre Jou, 1981
2. Halfeld, E.R. Estudos de Tratabilidade para redução de coagulantes e remoção de ferro e manganês. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
3. King, E.J. Análise Qualitativa: Reações, Separações e Experiências. Rio de Janeiro, RJ: Interamericana, 1981.
4. Richter, C.A. e Netto, J.M.A. Tratamento de Água: Tecnologia Atualizada. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2000.
5. Nascimento Filho, D.G. Remoção de ferro em águas de abastecimento, maximização da eficiência dos processos oxidativos, seguidos de filtração direta-condicionantes e resultados práticos. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.