

# REMOÇÃO DE MANGANÊS EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO ATRAVÉS DO PROCESSO DE PRÉ-OXIDAÇÃO E FILTRAÇÃO EM AREIA.

## **Adalcino Fernandes Reis Neto<sup>(1)</sup>**

Engenheiro da Gerência de Desenvolvimento e Controle de Qualidade da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins). Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Tocantins (UFT). Especialista em Saneamento e Meio Ambiente pela Faculdade da Terra de Brasília (FTB).

## **José Manoel Alves Júnior<sup>(2)</sup>**

Engenheiro responsável pela Gerência de Desenvolvimento e Controle de Qualidade da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins). Engenheiro Civil pela Universidade de Uberaba (UNIUBE).

## **Nelson de Matos Silva<sup>(3)</sup>**

Consultor Técnico da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins) - Gerência de Desenvolvimento e Controle de Qualidade. Técnico responsável pela operação e manutenção das Estações de Tratamento de Água.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** 312 Sul Avenida LO 05 – (Companhia de Saneamento do Tocantins) Plano Diretor Sul, Palmas – TO - CEP: 77021-200 - Brasil - Tel.: +55 (63) 3218-3445 - Fax: +55 (63) 3218-3440 - e-mail: [adalcino.fernandes@saneatins.com.br](mailto:adalcino.fernandes@saneatins.com.br)

## **RESUMO**

Este artigo apresenta o projeto de pesquisa desenvolvido pela Companhia de Saneamento do Tocantins – Saneatins que realizou estudos de tratabilidade visando a remoção de manganês, num protótipo que simula uma pequena estação de tratamento de água de filtração direta descendente pressurizada, instalada na cidade de Araguaína – TO. Para garantir a remoção do manganês no filtro de areia, o pH da água bruta foi elevado para valores superior a 8,0 proporcionando desta maneira o emprego de elevadas dosagens de alcalinizantes. Visando diminuir os gastos com os alcalinizantes responsáveis pela elevação do pH da água, foram realizados ensaios com a aplicação de alcalinizantes distintos para verificar as dosagens do produto em função da variação do pH e os índices de remoção do manganês. Além da adição de alcalinizantes, a água foi oxidada com a adição de cloro. Os estudos mostraram que o processo de pré-oxidação com cloro seguido de filtração direta descendente em areia foi eficiente na remoção do manganês, desde que o pH da água estivesse entre 8,0 e 8,5 aproximadamente. Os três alcalinizantes utilizados propiciaram a remoção do manganês, porém o hidróxido de cálcio (cal hidratada) apresentou o menor custo benéfico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção de Manganês, Alcalinizantes, Filtração em Areia.

## **INTRODUÇÃO**

O manganês é um metal abundante na crosta terrestre, encontrado no solo e em minerais, principalmente como dióxido mangânico. Os principais minerais contidos nas rochas responsáveis pela dissolução do manganês são: rodocrosita, sulfito mangânico, manganita, pirolusita e hausmanita (DI BERNARDO, 2005).

Geograficamente, as reservas estão assim distribuídas: 44,72% estão no Estado do Mato Grosso do Sul, 33,09% no Estado do Pará, 15,18% em Minas Gerais e o restante (7,01%) está distribuído no restante dos estados brasileiros (COSTA & FIGUEIREDO, 2001).

O manganês se apresenta na água em concentrações que variam de 0,01 mg/L a 0,6 mg/L, porém águas subterrâneas em condições anaeróbicas podem acarretar concentrações altas, atingindo 1,3 mg/L em água neutra e 9,6 mg/L em água ácida (OMS,1996).

A presença de manganês e ferro, dependendo das concentrações, pode propiciar uma coloração amarelada e turva à água, acarretando ainda um sabor amargo e adstringente, podendo levar o consumidor a buscar fontes alternativas e não tão seguras para consumo, quando da presença desses metais (MACÊDO, 2001).

Ainda segundo Macêdo (2001), os sais ferrosos, bastante solúveis em água, são facilmente oxidados e formam hidróxidos férricos que tendem a flocular e depositar. Menciona-se que, águas com ferro na forma ferrosa e a presença de manganês na forma manganosa  $Mn^{2+}$ , são formas solúveis, que se não removidos formam óxidos amarronzados, alterando assim as características organolépticas da água.

Considerando-se a obrigatoriedade de se fornecer aos consumidores dos sistemas públicos de abastecimento, água dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, e objetivando-se a satisfação dos consumidores, os responsáveis pela operação dos sistemas de tratamento e controle de qualidade, necessitam aplicar técnicas de tratamento adequadas para a manutenção do produto dentro dos limites estabelecidos (PRIANTE et. al, 1997).

Existem diferentes processos para a remoção do manganês, como, formação de precipitado e filtração, troca iônica, estabilização com polifosfatos e adsorção por zeólito. O processo de oxidação para a formação de precipitado é normalmente o mais apropriado, seja através da aeração, ou empregando-se oxidantes químicos como o permanganato de potássio, cloro e dióxido de cloro. Na maioria das vezes além da oxidação, também é necessário à correção do pH com o emprego de alguns alcalinizantes.

## OBJETIVO

O trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência da remoção do manganês através do processo de oxidação com ácido tricloro isocianúrico (tablete de tricloro) seguido de filtração direta descendente em leito filtrante de areia, sendo o processo de filtração precedido da elevação do pH com a aplicação de três tipos de alcalinizantes, no caso, hidróxido de cálcio (cal hidratada), carbonato de sódio (barrilha leve) e hidróxido de sódio (soda cáustica).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

Os ensaios do estudo foram realizados no sistema de abastecimento de água da cidade de Araguaína – TO, que atualmente é de responsabilidade da Companhia de Saneamento do Tocantins (Saneatins).

O sistema de abastecimento é constituído em sua totalidade por captação subterrânea, sendo dividido em centros de produção, aos quais recebem água de diversos poços localizados na cidade. O Centro de Produção 001 (CPR 001), objeto deste estudo, atualmente recebe água dos poços 012, 014 e 019 conforme observado na tabela 01 a seguir:

**Tabela 01 – Características dos poços do Centro de Produção 001.**

Centro de Produção	Poços	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	% Atendimento
CPR 001	* PTP 012	230,00	21,97
	PTP 014	135,00	12,89
	* PTP 019	105,00	10,03

Os Poços Tubulares Profundos (PTP's) 012 e 019 possuem concentrações de manganês acima do limite máximo estabelecido pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, e eram os principais responsáveis por grande parte do manganês precipitado encontrado nas redes de distribuição do sistema, já que os dois poços juntamente correspondem cerca de 32% do volume total aduzido na cidade. A tabela 02 apresenta uma estimativa da quantidade de manganês que era lançado na rede de distribuição dos setores abastecidos pelo CPR 001.

**Tabela 02 – Lançamento mensal e anual de manganês na rede de distribuição.**

PTP's	Vazão Nominal (m <sup>3</sup> /h)	Mg (mg/L)	Kg/mês	Ton/ano
PTP 012	230	0,683	75,403	0,905

<b>PTP 019</b>	105	0,550	27,720	0,333
----------------	-----	-------	--------	-------

### Período de estudo

O estudo em questão foi desenvolvido no mês de Setembro de 2009, tendo em vista que a concentração de manganês dissolvido na água dos PTP's 012 e 019 apresenta-se estável ao longo do ano.

### Protótipo

Para realização dos ensaios foi selecionado o PTP 012 já este poço fica localizado dentro da área do CPR 001. O protótipo foi instalado no barrilete do PTP 012 (figuras 01 e 02) o qual através de um *by-pass* instalado na tubulação de saída, parte da vazão do poço era desviada para o sistema de filtração direta descendente, onde após a filtração, a água retornava a tubulação de recalque.



**Figura 01 – Vista do protótipo instalado próximo ao PTP 012.**

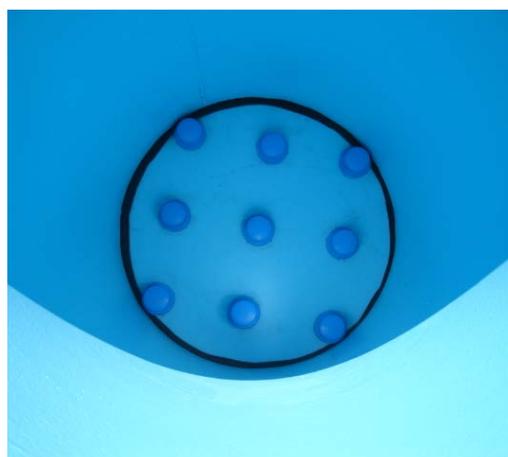


**Figura 02 – Vista do *by-pass* instalado no barrilete do PTP 012.**

Os filtros construídos em chapas de aço tinham diâmetros de 0,5 m e o material filtrante era constituído de areia com tamanho efetivo de 0,55 a 060 mm, coeficiente de desuniformidade 1,50 a 1,55 mm e grãos entre 0,42 e 1,41 mm dispostos em uma camada de 0,80 m de espessura. O fundo do filtro era constituído de chapa de aço com furos de 30 mm, onde foram acoplados distribuidores com ranhuras de 0,35 mm, permitindo assim a operação do filtro com a ausência das camadas suporte (figuras 03 e 04).



**Figura 03 – Distribuidor modelo SF07 com ranhuras de 0,35 mm.**



**Figura 04 – Chapa do fundo falso do filtro com os distribuidores.**

O controle da vazão de entrada nos filtros foi realizado com o auxílio de registros e de rotômetros (figura 05) instalados no *by-pass* e no barrilete do poço. Já o controle da perda de carga nos filtros foi realizada a partir da instalação de manômetros (figura 06) na tubulação de entrada de água bruta e saída de água filtrada dos filtros.



**Figura 05 – Rotômetros utilizados para medição da vazão de entrada dos filtros.**



**Figura 06 – Manômetros instalados nas tubulações de entrada e saída dos filtros.**

### **Produtos químicos**

Os agentes oxidantes mais comuns, citados por BENEFIELD et al (1982), são o oxigênio, o cloro e o permanganato de potássio. Neste estudo para a realização da pré-oxidação foi utilizado apenas o cloro, mais especificamente o ácido tricloro isocianúrico, principalmente em função da facilidade de aplicação, que dispensa o uso de equipamentos elétricos. A aplicação de cloro foi realizada logo no início do *by-pass* com o auxílio de um equipamento utilizado para a dissolução do cloro em tabletes, também conhecido com dosador de pastilhas (figura 07). O residual de cloro mantido anteriormente a entrada do filtro foi de 1,5 mg/L.



**Figura 07 – Equipamento de dissolução do cloro em tabletes.**

Segundo Di Bernardo (2008), o pH é um forte condicionante no processo de remoção de manganês, e consequentemente como o pH da água bruta do PTP 012 estava abaixo do recomendado para a remoção deste

elemento, realizou-se a correção do pH com a adição de alcalinizantes. Os principais alcalinizantes utilizados nos processos de tratamento de água para abastecimento são o hidróxido de cálcio, carbonato de sódio e hidróxido de sódio. Na realização deste estudo foram utilizados os três tipos, com a finalidade de obter um comparativo de custo e eficiência na remoção do manganês.

As dosagens iniciais para cada um dos alcalinizantes foi determinada através de testes realizados no próprio sistema, ou seja, anteriormente ao início dos estudos foram rodados ensaios preliminares com o objetivo de estabelecer as dosagens ideais para cada um dos produtos.

O alcalinizante foi aplicado logo após o ponto de oxidação da água e anteriormente a entrada do filtro. A dosagem foi realizada com o auxílio de bomba dosadora e as soluções foram preparadas em recipientes com agitador acoplado ao mesmo (figura 08), evitando assim a formação de depósitos de resíduos no fundo dos recipientes.



**Figura 08 – Recipiente e dosadora utilizados nas dosagens dos alcalinizantes.**

As concentrações das soluções utilizadas nas dosagens foram determinadas mediante a realização dos ensaios preliminares e da capacidade de bombeamento da bomba dosadora empregada no estudo. As concentrações utilizadas foram: Hidróxido de Cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$  (2%), Carbonato de Sódio  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (8%) e Hidróxido de Sódio  $\text{NaOH}$  (12%).

### **Realização dos ensaios de monitoramento**

Foram realizados três ensaios de filtração sendo um para cada tipo de alcalinizante. O tempo de realização de cada ensaio foi estabelecido em função da perda de carga ao longo da carreira de filtração. A taxa de filtração adotada para a realização dos ensaios foi de  $244,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , ou seja, a vazão de filtração foi de  $2,0 \text{ m}^3/\text{h}$  para um filtro com diâmetro de  $0,5 \text{ m}$ . A taxa de filtração foi determinada mediante ensaios laboratoriais com filtração da amostra em pequenos filtros, após a adição do alcalinizante e do cloro.

A retrolavagem da unidade de filtração foi feita com contra corrente, com água advinda do próprio poço através de manobra de registros. A taxa de retrolavagem utilizada nas lavagens dos filtros foi de  $0,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{min}$ .

Ao longo da carreira de filtração foram monitorados os seguintes parâmetros: vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), perda de carga (m), cor aparente (PtCo), turbidez (NTU), cloro residual livre ( $\text{mg/L}$ ), pH e manganês ( $\text{mg/L}$ ). Esses parâmetros foram medidos e analisados em intervalos regulares de duas horas ao longo do funcionamento do sistema.

## Equipamentos e métodos de análises

Para as análises e medição dos parâmetros citados anteriormente foram utilizados os equipamentos, reagentes e métodos conforme descritos no tabela 03 a seguir.

**Tabela 03 – Descrição dos equipamentos e reagentes utilizados nas análises e medições.**

Equipamentos	Reagente	Parâmetro	Método
Rotâmetro	-	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Leitura Direta
Manômetro	-	Pressão (mca)	Leitura Direta
Colorímetro Hach DR 890	-	Cor Aparente (PtCo)	Método Padrão – Platino Cobalto - APHA
Turbidímetro Hach 2100P	-	Turbidez (NTU)	Relação entre o sinal nefelométrico (90°) da luz dispersada e a luz transmitida.
pHmetro Orion	-	pH	Leitura Direta
Colorímetro Hach DR 890	Kit Hach - Ácido Ascórbico, Reagente Cianeto Alcalino, Solução Pan Indicador 0,1%	Manganês (mg/L)	Método PAN
Kit Comparador de Cloro e pH Polilab.	DPD – Ácido Sulfúrico + EDTA + DPD + Água Destilada;	Cloro Residual Livre (mg/L)	Método DPD

## RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos com a realização dos ensaios de filtração, evidenciando a eficiência do sistema em estudo na remoção de manganês com o emprego de cada um dos alcalinizantes utilizados. Os resultados obtidos com as análises dos parâmetros manganês, turbidez e cor aparente foram comparados com os valores limites estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde para a saída do sistema de abastecimento de água, conforme apresentado na tabela 04 a seguir:

**Tabela 04 – Limite máximo para a saída do sistema de acordo com a Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.**

Parâmetro	Máximo Permitido (Portaria 2914/2011 – Ministério da Saúde)
Cor (PtCo)	15
Turbidez (NTU)	0,5
Manganês (mg/L)	0,1

## Cal Hidratada

A tabela 05 a seguir mostra os resultados obtidos com filtração em areia precedida da oxidação com tabletes de cloro e adição de cal hidratada para a correção do pH.

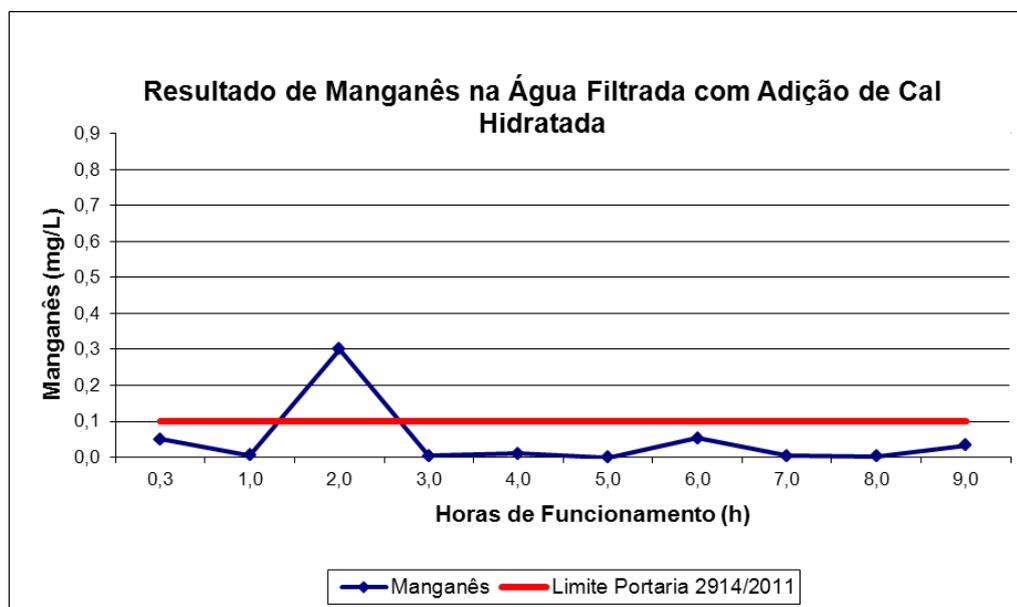
**Tabela 05 – Parâmetros de qualidade da água filtrada após filtração e adição de cal hidratada.**

Tempo Func (h)	Cor (Pt Co)	Turbidez (NTU)	Manganês (mg/L)
0,33	<1	0,28	0,050
1,00	<1	0,19	0,006

2,00	27,0	0,15	0,300
3,00	<1	0,15	0,004
4,00	<1	0,12	0,010
5,00	<1	0,06	0,000
6,00	18,0	0,36	0,054
7,00	<1	0,10	0,004
8,00	<1	0,15	0,002
9,00	15,0	0,30	0,034

Observando os resultados e comparando os mesmos com os valores estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde percebe-se que o parâmetro cor aparente apresentou-se fora do padrão em dois momentos, uma as duas e outra às seis horas de funcionamento. Quanto aos valores de turbidez todos se encontraram abaixo de 0,5 NTU e neste caso atendendo a nova legislação em vigor desde dezembro de 2011.

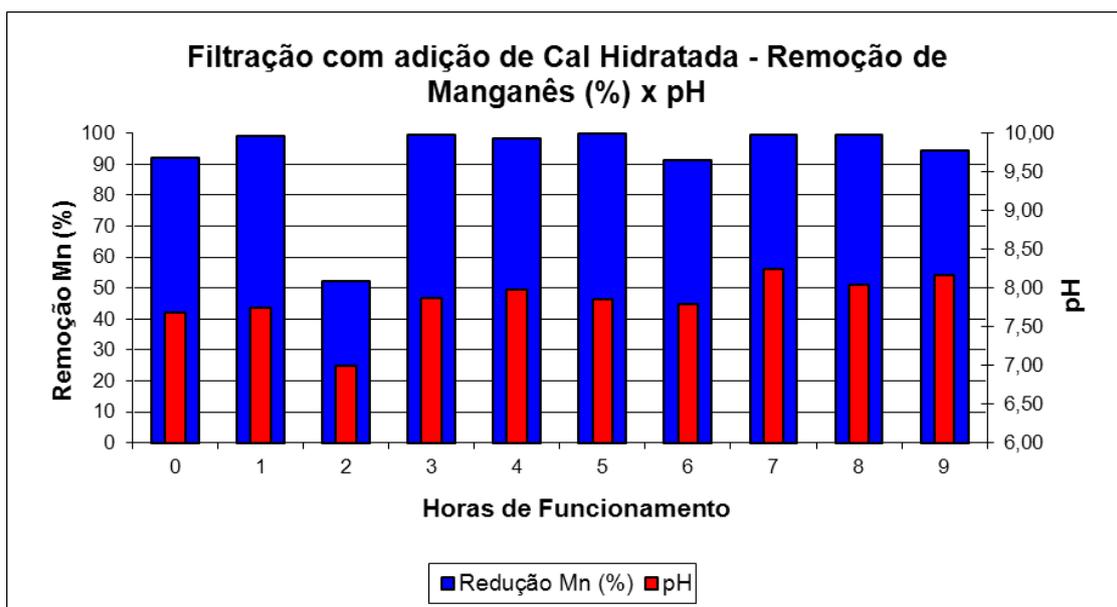
Analisando os resultados das análises de manganês apenas um dos parâmetros encontrou-se fora do padrão (figura 09), e praticamente todos os valores encontraram-se abaixo de 0,05mg/L evitando assim problemas de ordem estética na água, como coloração indesejada, aumento da turbidez, incrustações em tubulações da rede de distribuição e entupimento dos hidrômetros.



**Figura 09 – Concentração de manganês na água filtrada com a adição de cal hidratada.**

A figura 10 a seguir apresenta um comparativo do percentual de remoção de manganês da água filtrada em função do pH da água bruta.

Durante os ensaios notou-se que o pH da água a ser filtrada é um dos principais fatores que influenciam o processo de remoção do manganês. Índices satisfatórios de remoção de manganês com a elevação do pH também foram obtidos por Roberto et al (2004) que em seu trabalho obteve resultados satisfatórios para a remoção do manganês com a faixa de pH entre 7,6 e 8,9.



**Figura 10 – Relação do pH da água a ser filtrada com percentual de remoção de manganês, a partir da adição de cal hidratada.**

Conforme observado na tabela 05, os valores de cor aparente e manganês encontram-se fora do padrão às duas horas de funcionamento do sistema, podendo ser visualizado através da figura 10, onde exatamente às duas horas de funcionamento percebe-se que o pH da água na entrada do filtro encontra-se abaixo de 7,5 o que consequentemente não favoreceu a precipitação do manganês e possível remoção deste pelo filtro, explicando também a elevação da cor na água filtrada neste mesmo horário, pois o manganês presente na água foi oxidado pelo cloro, o que favoreceu o aparecimento da cor aparente.

Vale ressaltar que na primeira hora de funcionamento observa-se a remoção de manganês relativamente satisfatória com o valor de pH próximo a 7,0. Essa remoção pode ter sido ocasionada devido as possíveis variações na concentração de manganês afluente ao sistema, por erro na análise de pH ou manganês.

### Carbonato de Sódio

A seguir (tabela 06) são apresentados os resultados obtidos com a filtração em areia, oxidação com cloro em tabletes e elevação do pH da água bruta com carbonato de sódio também conhecido como barrilha.

**Tabela 06 – Parâmetros de qualidade da água filtrada após filtração e adição de carbonato de sódio.**

Tempo Func (h)	Cor (Pt Co)	Turbidez (NTU)	Manganês (mg/L)
0,25	23,0	0,60	0,390
2,00	34,0	0,75	0,301
4,00	16,0	0,18	0,124
6,00	18,0	0,24	0,235
7,00	<1	0,31	0,013
8,00	<1	0,24	0,001
10,00	<1	0,16	0,001
10,90	<1	0,13	0,041

De acordo com a tabela 06 percebe-se que no início da operação do sistema os valores de cor aparente e manganês mantiveram-se fora dos padrões estabelecidos, apesar de todos os valores de turbidez estarem dentro dos padrões.

Na figura 11 observa-se que os índices de remoção do manganês passaram a ser satisfatórios a partir das 6,5 horas de funcionamento do sistema, possivelmente da instabilidade do pH no início da operação do sistema, ou seja, os valores de pH no início oscilaram muito principalmente em função da regulagem da vazão da bomba dosadora, objetivando obter-se o pH ideal com a menor vazão e consequente menor consumo de alcalinizante.

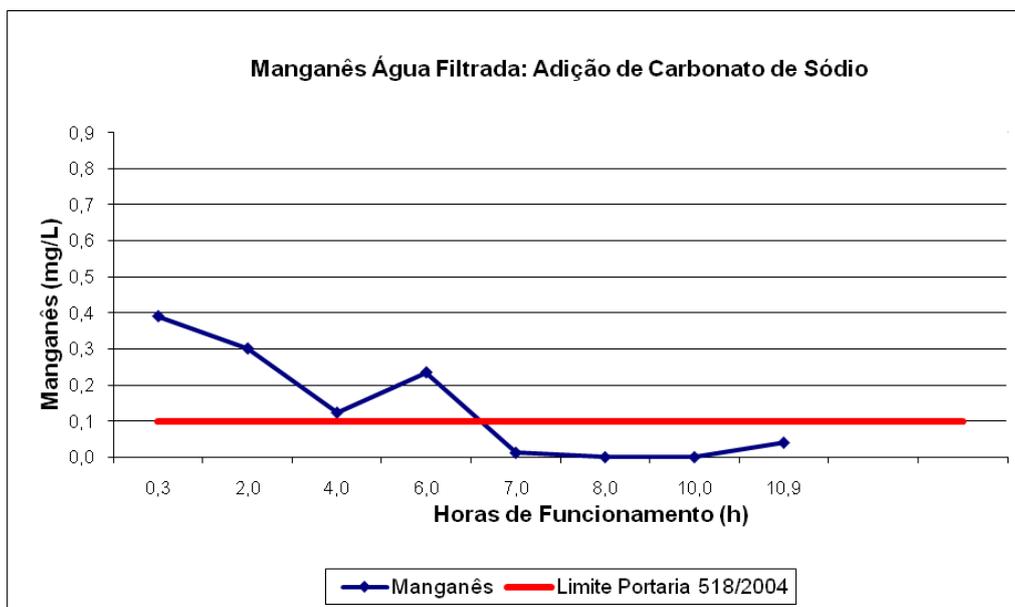


Figura 11 – Concentração de manganês na água filtrada com a adição de carbonato de sódio.

A figura 12 explica a insatisfatória remoção do manganês no início da operação do sistema, pois o pH da água encontrava-se em valores muito baixos e na medida em que o mesmo foi sendo elevado, os índices de remoção passaram a melhorar, apesar de que tivemos índices satisfatórios de remoção com pH próximo a 7,0 no caso às onze horas de funcionamento. Resultados assim podem ser explicados em função da variação do manganês afluyente ao sistema, ou até mesmo por erro de análises.

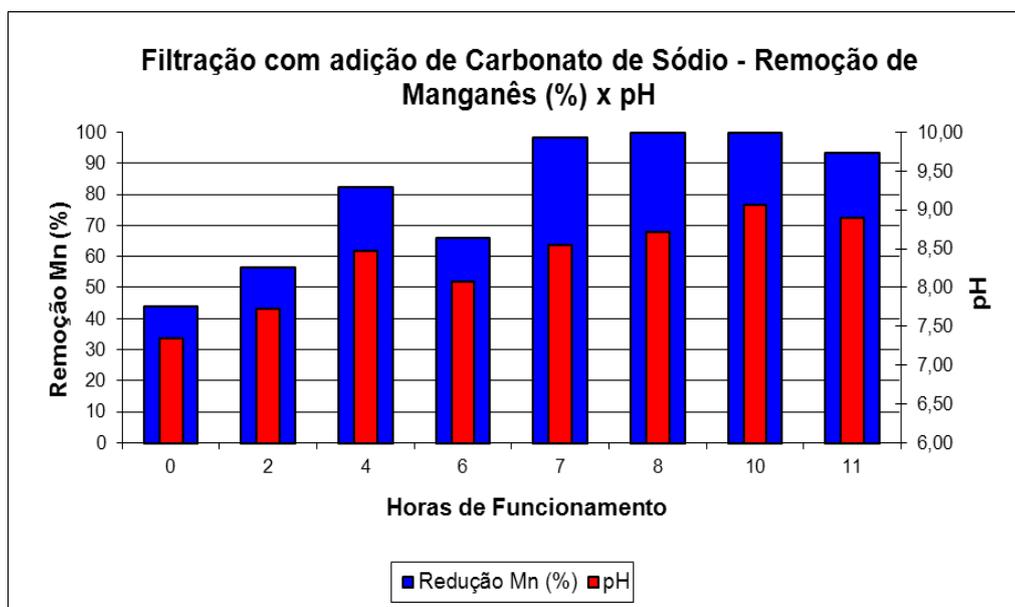


Figura 12 – Relação do pH da água a ser filtrada com percentual de remoção de manganês, a partir da adição de carbonato de sódio.

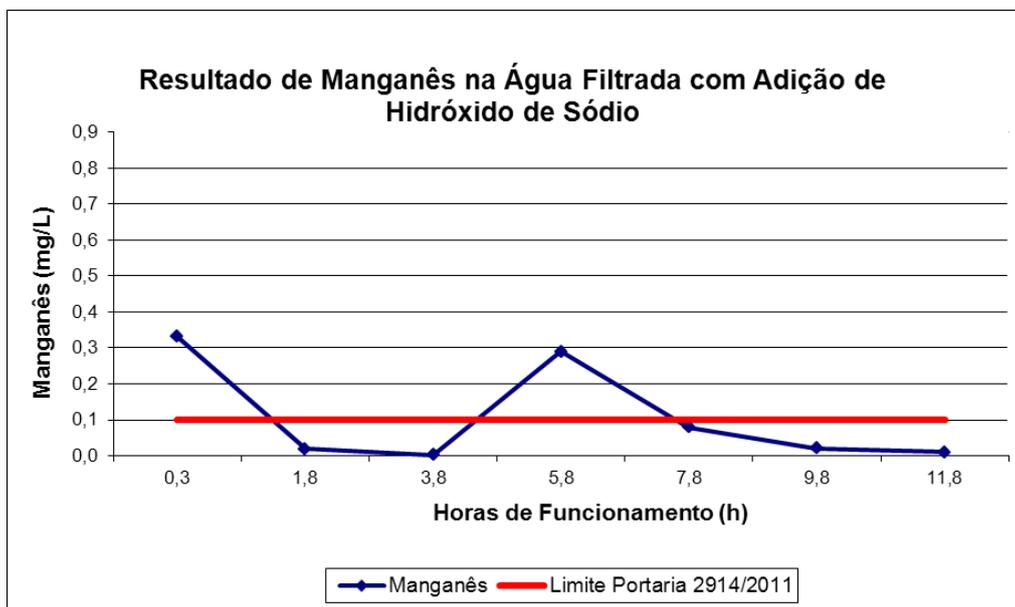
## Hidróxido de Sódio

A tabela 07 a seguir apresenta os resultados obtidos com filtração em areia precedida da oxidação com cloro em tabletes e da adição de solução de hidróxido de sódio a correção do pH.

**Tabela 07 – Parâmetros de qualidade da água filtrada após filtração e adição de hidróxido de sódio.**

Tempo Func (h)	Cor (Pt Co)	Turbidez (NTU)	Manganês (mg/L)
0,25	12,0	0,31	0,331
1,75	<1	0,39	0,019
3,75	<1	0,32	0,003
5,75	9,0	0,66	0,290
7,75	<1	0,05	0,079
9,75	<1	0,31	0,021
11,75	1,0	0,19	0,010

Como se pode observar (tabela 07), alguns dos parâmetros estiveram fora dos padrões, sendo eles cor aparente e manganês. Há medida que não se obtêm um índice satisfatório de remoção do manganês nos filtros, percebe-se que há oxidação do manganês existente, o que consequentemente provoca o aparecimento de cor aparente. Segundo Macedo (2001) águas com relativas concentrações de manganês ao serem oxidadas com cloro, apresentam aspecto amarelado o que consequentemente eleva o valor de cor aparente para a saída do sistema. A figura 13 apresenta a curva de remoção de manganês o longo da carreira de filtração.



**Figura 13 – Concentração de manganês na água filtrada com a adição de hidróxido de sódio.**

Observando a figura 13 percebe-se que a 5,8 horas de funcionamento não se obteve um resultado favorável na remoção do manganês, e isto em função de falha na dosagem do hidróxido de sódio, que consequentemente não corrigiu o pH da água bruta e não ocasionou a precipitação do mesmo.

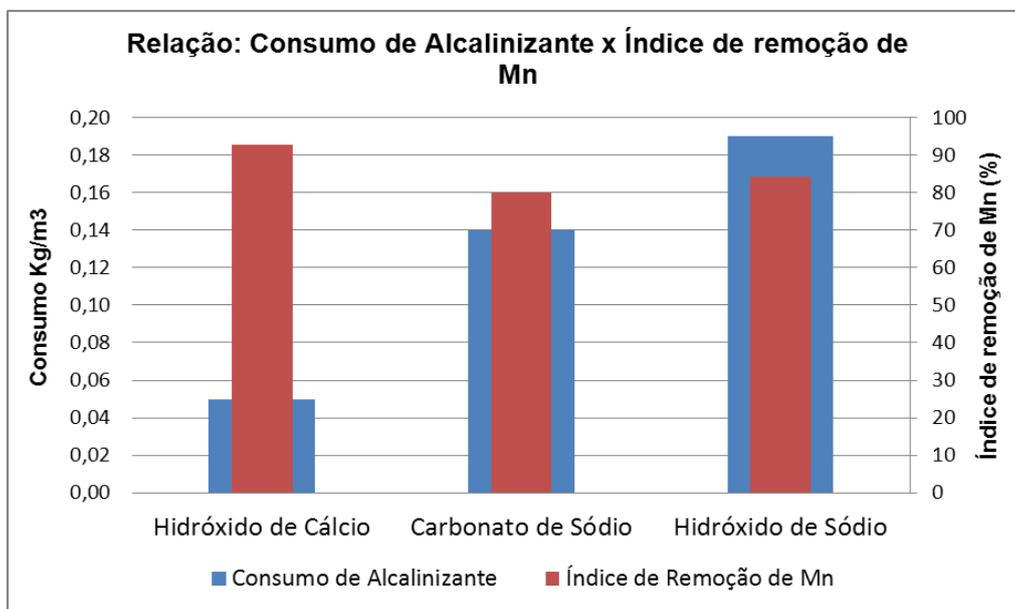
## Comparação dos alcalinizantes

A partir de uma análise dos resultados obtidos com a aplicação dos três alcalinizantes, observou-se que todos apresentaram bons resultados quanto ao parâmetro turbidez da água filtrada. O parâmetro cor aparente para as três situações apresentou alguns valores fora dos padrões de qualidade, porém vale ressaltar que na maioria

dos casos a cor aparente elevada é resultado da oxidação do cloro com o manganês que não foi removido nos filtros, possivelmente em função dos baixos valores de pH em algumas situações.

O controle do pH com a cal hidratada mostrou-se mais eficiente quanto ao aspecto operacional, ou seja, obteve-se uma maior prevalência do pH nas faixas adequadas de remoção de manganês, ressaltando que foi utilizado o mesmo equipamento na dosagem dos três alcalinizantes.

A figura 14 apresenta o resultado comparativo para o uso dos três alcalinizantes, ou seja, relaciona o consumo do produto em relação à eficiência na remoção do manganês.



**Figura 14 – Relação do consumo de alcalinizante com o percentual médio de remoção do manganês.**

Observa-se claramente que no estudo de caso realizado o uso do hidróxido de cálcio na correção do pH para remoção de manganês mostrou-se satisfatória, principalmente quanto aos aspectos econômicos. Vale ressaltar que o hidróxido de cálcio apresentou o menor consumo dentre os comparados, sendo o produto que apresenta o menor custo de aquisição. Além de econômica o hidróxido de cálcio também apresentou o melhor índice de eficiência de remoção de manganês dentre os estudados, evidenciando assim total viabilidade para a utilização da cal hidratada no caso em estudo.

## CONCLUSÃO

O sistema de remoção de manganês em águas de abastecimento público através do processo de filtração direta descendente pressurizada, com leito filtrante de areia, precedida da pré-oxidação e adição de alcalinizante mostrou-se eficiente, atendendo os padrões estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde;

Em geral a faixa de pH que prevaleceu com índices satisfatórios de remoção de manganês na maior parte dos ensaios situou-se, entre 8,0 e 8,5 confirmando o que a literatura já estabelecia, apesar de obter-se em alguns momentos resultados favoráveis com valores de pH próximo a 7,5;

Os testes até então realizados demonstram a eficiência do leito filtrante de areia para remoção do manganês precipitado gerado a partir da oxidação com o cloro em tabletes, pois a concentração de manganês afluente apresentou índice médio de remoção acima de 90% com a adição de hidróxido de cálcio (cal hidratada);

Observou-se ao longo dos ensaios que o consumo de cloro em tabletes se manteve praticamente constante para a saída do sistema, ou seja, o consumo era de praticamente 0,5 mg/L;

Os três alcalinizantes mostraram-se eficiente na remoção do manganês, considerando que o tempo de funcionamento para o sistema foi de aproximadamente 10 horas para cada ensaio;

Apesar da eficiência de remoção para os três alcalinizantes, o hidróxido de sódio e carbonato de sódio exigiram elevadas dosagens para a elevação do pH, o que conseqüentemente demandou alto consumo, elevando o custo de tratamento para a água em questão;

O Hidróxido de Cálcio (cal hidratada) apresentou melhor relação custo benefício na correção do pH e na remoção do manganês, pois a mesma obteve maior índice de remoção e menor consumo do produto, tendo em vista que o custo deste produto encontra-se bem inferior ao hidróxido de sódio e o carbonato de sódio.

## RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a avaliação do emprego dos demais oxidantes existentes no mercado, como por exemplo hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e permanganato de potássio;

Sistemas de remoção de manganês de grande porte e que forem submetidos a correção do pH com a aplicação de hidróxido de cálcio devem prever sistemas para separação de resíduos da solução de hidróxido de cálcio, para que desta forma estes resíduos não ocasionem a colmatagem precoce do leito filtrante;

Para aplicação do oxidante e alcalinizante realizada antes do processo de filtração deve-se prever adequações e/ou mecanismos que promovam a mistura adequada das soluções com a água e bruta e tanques que promovam tempo de contato do oxidante com a água bruta;

O dimensionamento do sistema deve ser realizado mediante ensaios laboratoriais que determinem a taxa de filtração ideal para água em estudo;

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. BENEFIELD, L. D. et al (1982) **Process for Chemistry for Water and Wastewater Treatment**. New Jersey, Prentice Hall, 510 p. 1982.
2. COSTA, M. R.; FIGUEIREDO, R. C. **Manganês**. Balanço Mineral Brasileiro, 2001.
3. <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/manganes.pdf>. Departamento Nacional de Produção Mineral.
4. DI BERNAARDO, LUIZ; SABOGAL PAZ, LYDA PATRICIA – **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água**. São Carlos: Editora Ldibe Ltda, 2008.
5. DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, ANGELA DI BERNANRDO – **Métodos e técnicas de tratamento de água** segunda edição / Luiz Di Bernado; Angela Di Bernado Dantas – São Carlos: RiMa, 2005.
6. MACÊDO, J.A. **Águas e Águas**. São Paulo: Varela, 2001. 505p.
7. PIUCI, J. e FENZL, N. **Ocorrência, consequência e remoção do ferro nas águas subterrâneas**. Revista Águas Subterrâneas, 1981.
8. PRIANTE, N. J.; CARMO, F. H.; MENDES, C. G. N.; LACAVAL, P. M. **Remoção e Controle de Ferro e Manganês em Águas para Consumo Humano**. Jacaré, São Paulo, 1997.
9. Portaria n° 518, de 25 de março de 2004. **Padrão de Potabilidade**. Ministério da Saúde. Brasil
10. Portaria n° 2914, de 12 de dezembro de 2011. **Padrão de Potabilidade**. Ministério da Saúde. Brasil
11. ROBERTO, B. E. **Remoção de Manganês residual contido em efluentes aquosos de mineração**. Rio de Janeiro – RJ, 2004.
12. SANEATINS, **Cia de Saneamento do Tocantins**. Palmas – TO, 2012.