

Estudos de Caso e Notas Técnicas

# Aplicação do software Defluoridation no dimensionamento do sistema de desfluoretação de águas subterrâneas utilizando carvão ativado de osso granulado

## Application of the software Defluoridation in the design of the groundwater defluoridation system using activated granular bone charcoal

Luiza Baumann<sup>1</sup>; Rodrigo Augusto Klamt<sup>1</sup>; Ronaldo Bastos dos Santos<sup>1</sup>; Alcido Kirst<sup>1</sup>; Gilson Augusto Helfer<sup>1</sup>; Eduardo Alexis Lobo<sup>1</sup>; Adilson Ben da Costa<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz, RS

✉ luiza.baumann@gmail.com, rodrigoklamt@hotmail.com, rbastos@mx2.unisc.br, alcido@unisc.br, ghelfer@unisc.br, lobo@unisc.br, adilson@unisc.br

### Palavras-chave:

Desfluoretação.  
Águas subterrâneas.  
Flúor.  
Precipitação por contato.  
Software.

### Keywords:

Defluoridation.  
Groundwater.  
Fluorine.  
Contact precipitation.  
Software.

Revisado por pares.  
Recebido em: 09/01/2018.  
Aprovado em: 24/01/2018.

### Resumo

A ingestão de água com níveis elevados de flúor provoca uma patologia denominada fluorose dental, que resulta da mineralização defeituosa da matriz do esmalte, diretamente associada à quantidade de água ingerida de altas concentrações de fluoretos. Neste contexto, foi desenvolvido um sistema de desfluoretação por adsorção em carvão ativado de osso, seguido por precipitação por contato através da adição de sais de cálcio e fósforo. Este sistema foi construído em um tanque (filtro) de Poly Glass® com revestimento de polietileno transparente de alta densidade, preenchido com 25 kg de carvão ativado de osso de diâmetro de partícula igual a 20 x 50 mesh. Para o dimensionamento do sistema foi desenvolvido um software denominado Defluoridation, que permite a determinação das dimensões do sistema e as vazões de reagentes para o processo de precipitação por contato. O sistema foi aplicado no tratamento de água subterrânea com concentração de flúor entre 2,4 e 3,0 mg.L<sup>-1</sup>. No total, 30.000 L de água foram tratados, dos quais 13.000 L pela técnica de adsorção, e depois 7.000 L, que foram filtrados para atingir valores próximos da água bruta, e 10.000 L pela técnica de precipitação por contato. Os resultados obtidos demonstram a eficiência da aplicação do software Defluoridation, destacando que a técnica de precipitação por contato é uma forma econômica e simples para o fornecimento de água.

### Abstract

The water's ingestion with high levels of fluoride causes a pathology called dental fluorosis, which results from the defective mineralization of the enamel matrix, directly associated with the ingested amount of water with high concentrations of fluorides. In this context, a defluoridation system by adsorption on bone activated carbon was developed, followed by contact precipitation through the addition of calcium and phosphorus salts. This system was constructed in a Poly Glass® tank with transparent high-density polyethylene coating, filled with 25 kg of bone activated charcoal of particle diameter equal to 20 x 50 mesh. For system designing, a software called Defluoridation was developed, which allows determining the system dimensions and the flow rates of reagent for the contact precipitation process. The system was applied in the groundwater treatment with fluoride concentration between 2.4 and 3.0 mg.L<sup>-1</sup>. In total, 30,000 L of water were treated, of which 13,000 L by the adsorption technique, and then 7,000 L, which were filtered to reach values close to the raw water, and 10,000 L by the contact precipitation technique. The results obtained demonstrate the application efficiency of the Defluoridation software, emphasizing that the technique of contact precipitation is an economical and simple way for water supplying.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i1.29089>

## 1. INTRODUÇÃO

O excesso de flúor em águas de abastecimento tornou-se um problema de âmbito nacional. Considerado o 13° elemento mais abundante na natureza e o mais eletronegativo dos halogênios (NARVAI, 2000; AMINI et al., 2008), o flúor combina-se com íons positivos como o cálcio ou potássio, por exemplo, formando compostos estáveis. Tais elementos estão presentes naturalmente no ar, no solo e na água, no qual, geralmente são liberados para

as águas subterrâneas por decomposição de rochas contendo flúor (BHATNAGAR et al., 2011; JAGTAP et al., 2012; ZOU e ASHLEY, 2014).

O flúor é um elemento importante para a calcificação do esmalte e um importante inibidor da cárie dental (LIMA et al., 2014). Contudo, a ingestão de água com níveis excessivos de flúor, acima de 1,5 mg.L<sup>-1</sup>, causa um distúrbio chamado de fluorose dental, levando à mineralização defeituosa do esmalte (BRASIL, 2011; CANGUSSU et al., 2002; ZOU e ASHLEY, 2014). Além da fluorose

dental, outras doenças podem ser originadas devido à alta concentração deste íon, como distúrbios gastrointestinais, fluorose esquelética, baixos níveis de hemoglobina, depressão, náusea, deformidade em glóbulos vermelhos, entre outras (TCHOMGUI-KAMGA et al., 2010; SINGH et al., 2016).

Segundo Loganathan (2013), Medellín-Castillo (2007) e Budyanto (2015), os principais métodos de desfluoretação são a adsorção, precipitação/coagulação, osmose reversa, eletrodialise e troca iônica. Os processos de tratamento de água baseados em adsorção para a remoção do excesso de íons fluoretos se mostraram promissores e adequadamente econômicos (OLADOJA et al., 2016). Ultimamente vem sendo realizados estudos que utilizam carvão ativado de osso como meio adsorvente na remoção de íons fluoretos (MEDELLIN-CASTILLO et al., 2014).

Estudos desenvolvidos por Costa (2013) mostram a evolução de um protótipo que utiliza carvão ativado de osso bovino na remoção do flúor de águas subterrâneas. No entanto, a vida útil do sistema de desfluoretação por adsorção é limitada devido à saturação do meio adsorvente. Sendo assim, a precipitação por contato foi introduzida como um método alternativo para a desfluoretação (ALBERTUS et al., 2000). A precipitação por contato é um método de desfluoretação que está fundamentado na adição de cálcio e fósforo, os quais reagem com o flúor, formando fluorita e fluorapatita como um precipitado na cor branca. Este sistema utiliza o carvão saturado utilizado anteriormente no processo de adsorção, agindo como catalisador (DAHI, 1997; COSTA et al. 2018).

Diante disso, o principal objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema de desfluoretação para o tratamento de águas subterrâneas, por adsorção em carvão ativado de osso e por precipitação por contato, onde o dimensionamento do sistema foi gerenciado pelo software *Defluoridation* (COSTA e HELFER, 2017), desenvolvido especificamente para essa finalidade.

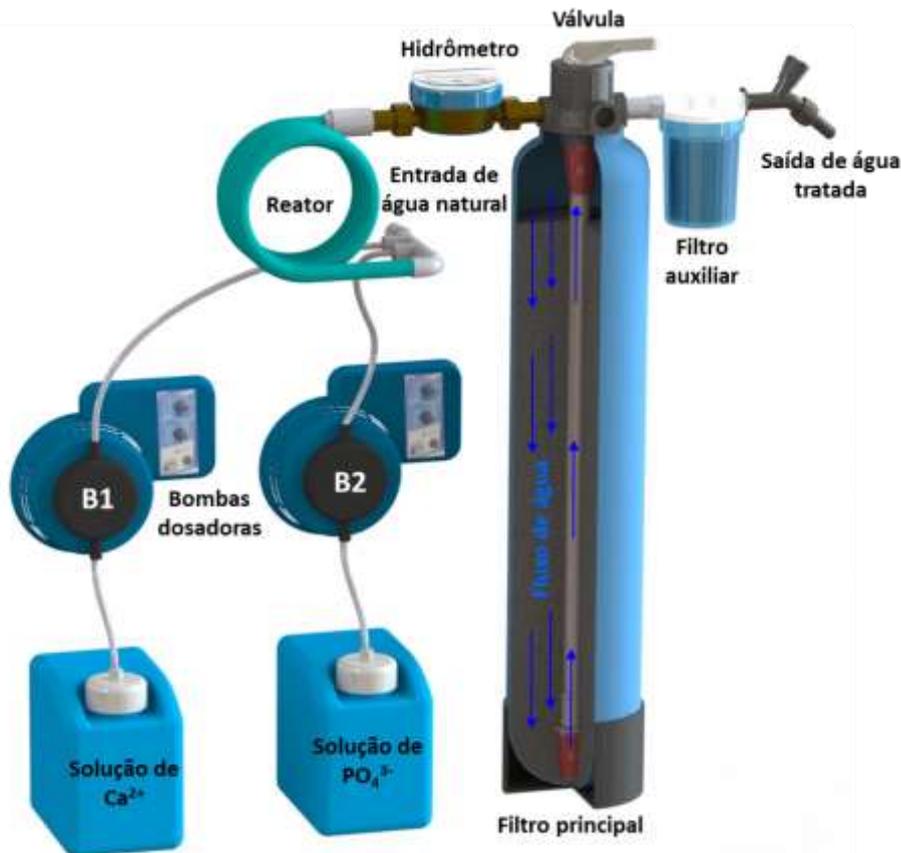
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Montagem do sistema de desfluoretação

Instalado na Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), o sistema de desfluoretação é constituído por um tanque de Poly Glass® com revestimento de polietileno transparente de alta densidade e encapsulado com polímero de engenharia, preenchido com 25 kg de carvão ativado de osso de diâmetro de partícula de 20 x 50 mesh, duas bombas dosadoras de reagentes, um filtro auxiliar de fibra de celulose e um reator em espiral. O meio adsorvente utilizado neste estudo foi o carvão ativado de osso bovino, produzido pela empresa Bonechar - Carvão Ativado do Brasil Ltda. O sistema de desfluoretação foi abastecido por água subterrânea com concentração de fluoreto entre 2,4 e 3,0 mg.L<sup>-1</sup>.

A Figura 1 apresenta uma ilustração deste sistema de desfluoretação, cuja descrição de seus componentes pode ser observada na Tabela 1.

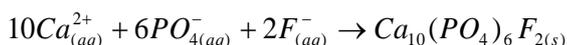
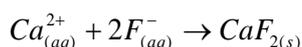
**Figura 1** – Ilustração do sistema de desfluoretação por adsorção e precipitação por contato, montado com 25 kg de carvão ativado de osso



**Tabela 1** - Descrição e função dos principais componentes do sistema de desfluoretação por adsorção e precipitação por contato

Componente	Função
Bomba dosadora B1	Dosar a solução de cálcio (Ca <sup>2+</sup> )
Bomba dosadora B2	Dosar a solução de fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )
Filtro auxiliar	Reduzir o risco de arraste de materiais particulados
Filtro principal	Responsável pelo processo de desfluoretação por adsorção e precipitação por contato
Hidrômetro	Monitorar o volume de água tratada
Reator	Misturar os reagentes no processo de precipitação por contato
Solução de Ca <sup>2+</sup>	Reagente para o processo de precipitação por contato
Solução de PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Reagente para o processo de precipitação por contato
Válvula	Controlar o fluxo da água nas funções: filtração, retrolavagem e lavagem

O processo de desfluoretação iniciou pelo mecanismo de adsorção sem o sistema de precipitação por contato até a saturação dos sítios do carvão por fluoreto. Em seguida, foram coletadas amostras até que a concentração de fluoreto apresentasse valores superiores a 1,5 mg.L<sup>-1</sup>, chegando a valores próximos ao da água bruta. Posteriormente, ao sistema de filtração, acoplaram-se duas bombas que injetaram cloreto de cálcio (2 g.L<sup>-1</sup>) e dihidrogenofosfato de potássio (2 g.L<sup>-1</sup>), causando a precipitação do fluoreto conforme as reações abaixo:

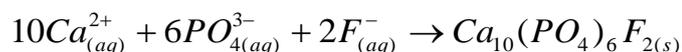


Os parâmetros avaliados durante o processo de adsorção e precipitação por contato foram fluoreto, pH, condutividade elétrica, turbidez, sódio, potássio, sólidos totais dissolvidos, fósforo e dureza total, conforme as metodologias analíticas descritas em (Apha, 2005).

## 2.2. Software e aplicativo *Defluoridation*

O sistema de desfluoretação foi dimensionado utilizando o software *Defluoridation* (COSTA e HELFER, 2017). Este software foi desenvolvido em Java (versão desktop) e Java e Swift (versão para smartphone), para auxiliar as equipes técnicas de unidades de saneamento no gerenciamento de sistemas de desfluoretação, permitindo quantificar a vazão de reagentes que deve ser ajustada no sistema em função da vazão e dos níveis de fluoreto na água natural e na água tratada (desejável).

O processo de precipitação está fundamentado na reação abaixo, em que para a remoção de 1 mg de fluoreto da água, deve ser adicionado o equivalente a 10,548 e 14,994 mg de Ca<sup>2+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectivamente.



Desta forma, a partir da caracterização do sistema de desfluoretação, o software retorna os valores de vazão das bombas dosadoras B1 e B2:

### Informações de caracterização:

- Fi – Concentração de fluoreto na água subterrânea natural (mg.L<sup>-1</sup>)
- Ft – Concentração de fluoreto (desejável) na água tratada (mg.L<sup>-1</sup>)
- Q – Vazão do sistema de abastecimento (L.h<sup>-1</sup>)
- C<sub>Ca</sub> – Concentração de cálcio na solução (mg.L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup>)
- C<sub>PO4</sub> – Concentração de fosfato na solução (mg.L<sup>-1</sup> de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)

### Informações de saída:

- Q<sub>Ca</sub> – Vazão da solução de cálcio (L.h<sup>-1</sup>) – Bomba B1
  - Q<sub>PO4</sub> – Vazão da solução de fosfato (L.h<sup>-1</sup>) – Bomba B2
- Equações:

$$Q_{Ca} = \frac{(Fi - Ft) \times Q \times 10,548}{C_{Ca}}$$

$$Q_{PO_4} = \frac{(Fi - Ft) \times Q \times 14,994}{C_{PO_4}}$$

O software tem isenção de licença para uso em sistemas de abastecimento público, administrados pelos governos Federal, estaduais e municipais.

As figuras 2 e 3 mostram como é feito o dimensionamento do sistema de desfluoretação, através do software e do aplicativo. O sistema foi projetado para o abastecimento de uma rede residencial. Para tanto foram consideradas as seguintes condições de responsabilidade:

- Número de pessoas do sistema de abastecimento como 5 pessoas;
- 200 L.dia<sup>-1</sup> de consumo de água por indivíduo;
- Concentração inicial (máxima) de flúor na água bruta de 4 mg.L<sup>-1</sup>;
- Concentração final (desejada) de flúor na água tratada de 0,5 mg.L<sup>-1</sup>;
- Concentração dos reagentes do sistema de 25 kg de carvão ativado: 2.000 mg.L<sup>-1</sup>.

Figura 2 – Ilustração da tela de dimensionamento através do software *Defluoridation*

DEFLUORIDATION V.1.03

**UNISC**  
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

## DESFLUORETAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Adsorção | Precipitação por Contato | Precipitação por Contato (Reagentes)

**Sistema de abastecimento**

Nº de pessoas

Consumo  L

**Concentração de fluoreto**

Inicial:  $F_i$   mg/L

Final:  $F_f$   mg/L

**Material adsorvente**

Tempo mínimo de contato  min

Porosidade

Densidade  kg/L

**Concentração das soluções**

Cálcio ( $Ca^{2+}$ )  mg/L

Fosfato ( $PO_4^{3-}$ )  mg/L

**RESULTADOS**

Vazão mínima  L/h

Volume diário  L

Volume da coluna  L

Volume mínimo do tanque  L

Massa de carvão  kg

Vazão de  $CaCl_2$   L/h

Vazão de  $K_2HPO_4$   L/h

Figura 3 - Imagens das telas do aplicativo instalado em um iPhone

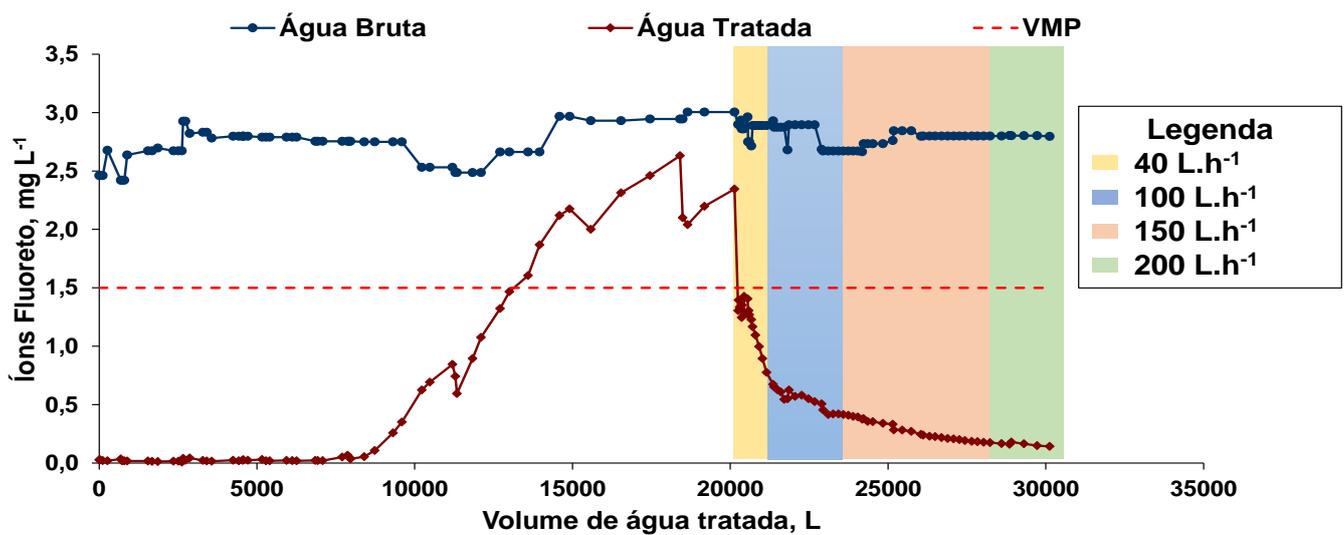


### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos no monitoramento da concentração de fluoreto na água subterrânea antes e após o

tratamento pelos sistemas de desfluoretação por adsorção e precipitação por contato.

Figura 4 - Resultados do monitoramento da concentração de fluoreto na água subterrânea bruta e tratada pelo sistema de desfluoretação por adsorção e precipitação por contato



O sistema iniciou pelo processo de adsorção, saturando após o tratamento de 13.000 litros de água. Posteriormente, deixou-se a água tratada atingir valores de fluoreto próximos à água bruta (natural), para a completa saturação do meio adsorvente, ou seja, para que os íons fluoretos ocupassem todos os sítios ativos que ainda estivessem livres. Neste período extra foram tratados mais 7.000 litros de água.

O processo de precipitação por contato iniciou quando 20.000 litros haviam sido tratados pelo sistema de adsorção. Foram estudadas quatro diferentes vazões, simuladas através do software, tais como, 40 L.h<sup>-1</sup>, 100 L.h<sup>-1</sup>, 150 L.h<sup>-1</sup> e 200 L.h<sup>-1</sup>. Aos 40 L.h<sup>-1</sup>, imediatamente a concentração dos íons fluoretos baixou para valores inferiores ao valor máximo estabelecido pela Portaria nº 2914/2011 (Brasil, 2011) e consecutivamente nas vazões 100 L.h<sup>-1</sup>, 150 L.h<sup>-1</sup> e 200 L.h<sup>-1</sup>, permanecendo desta forma até o fim do monitoramento do sistema. Ao todo, o sistema tratou 30.000 litros de água.

A formação da CaF<sub>2</sub> e Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub> não resultou na perda de carga do sistema de desfluoretação, constatando que é possível o tratamento de água de um volume consideravelmente excedente ao realizado neste trabalho. Cabe destacar que no tratamento de volumes maiores, é necessário executar procedimento de retrolavagem para remover o excesso de cristais de fluorita e fluorapatita formados no interior da coluna.

As tabelas 2 e 3 apresentam os resultados de tendência central

e dispersão das determinações de flúor, pH, condutividade elétrica, turbidez, sódio, potássio, fósforo, sólidos totais dissolvidos e dureza total durante o período de adsorção e em seguida por precipitação por contato. A concentração de fluoreto da água bruta no sistema de abastecimento por adsorção até a sua saturação variou entre 2,9 e 2,4 mg.L<sup>-1</sup> (2,7 ± 0,1), o qual se mostrou significativamente superior à água tratada (0,2 ± 0,4). Os resultados obtidos após a saturação do carvão não foram considerados, pois este é apenas um processo para que se possa dar início à precipitação por contato. Em seguida, com a adição dos reagentes observou-se que imediatamente a concentração de fluoreto (0,6 ± 0,4) decresce significativamente, permanecendo dentro do limite estabelecido pela legislação até o final do estudo (BRASIL, 2011).

Quanto aos demais parâmetros analisados não houve um acréscimo expressivo em função do processo de precipitação por contato, indicando que as alterações não comprometeram a potabilidade da água. Devido às características químicas do carvão ativado de osso, íons como sódio, potássio e fósforo dissolveram-se principalmente no início do desempenho do sistema (Costa, 2010). Através dos resultados atingidos, a água subterrânea bruta apresentou uma elevada alcalinidade e apesar do carvão ativado também apresentar característica alcalina, observou-se um pequeno decréscimo no pH com os reagentes adicionados. Contudo, nenhum dos parâmetros ultrapassou o valor máximo estabelecido pela Portaria (BRASIL, 2011).

**Tabela 2** - Resultados do monitoramento dos parâmetros referentes à água subterrânea bruta e tratada pelo sistema de desfluoretação por adsorção até a saturação do carvão (media, desvio-padrão, mediana, moda, máximo, mínimo e quartis (Q1, Q2 e Q3))

	Flúor, mg.L <sup>-1</sup>		pH		C.E., µS		Turbidez, uT		Na <sup>+</sup> , mg.L <sup>-1</sup>		K <sup>+</sup> , mg.L <sup>-1</sup>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg.L <sup>-1</sup>		STD, mg.L <sup>-1</sup>		Dureza, mg.L <sup>-1</sup>		
	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	
Média	2,7	0,2	9,1	9,2	546	585	0,0	0,0	94,2	103,2	0,4	4,9	0,06	3,38	396	425	2,7	2,2	
DP	0,1	0,4	0,2	0,2	100	261	0,0	0,0	16,4	73,8	0,9	25,2	0,05	3,93	73	189	1,0	1,6	
Mediana	2,7	0,0	9,1	9,2	524	535	0,0	0,0	92,0	85,0	0,2	0,2	0,04	2,10	380	388	3,1	2,3	
Moda	2,8	0,0	9,2	9,2	530	529	0,0	0,0	75,0	78,0	0,2	0,2	0,04	2,56	384	384	1,5	0,0	
Máx.	2,9	1,5	9,6	9,6	940	2260	0,0	0,0	130,0	544,0	4,0	178,0	0,24	20,38	682	1639	4,2	4,9	
Mín.	2,4	0,0	8,8	8,2	484	487	0,0	0,0	75,0	65,0	0,0	0,0	0,04	0,99	351	353	0,7	0,0	
n	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52
Q1	2,6	0,0	9,0	9,1	517	523	0,0	0,0	77,0	76,0	0,1	0,2	0,04	1,46	375	379	1,5	0,8	
Q2	2,7	0,0	9,1	9,2	524	535	0,0	0,0	92,0	85,0	0,2	0,2	0,04	2,10	380	388	3,1	2,3	
Q3	2,8	0,1	9,2	9,3	536	547	0,0	0,0	107,0	107,0	0,2	0,5	0,06	2,94	389	397	3,4	3,4	

Onde: AB – Água subterrânea bruta; AT – Água subterrânea tratada; C.E. – Condutividade Elétrica; Na<sup>+</sup> - Sódio; K<sup>+</sup> - Potássio; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - Fosfato e STD – sólidos totais dissolvidos.

**Tabela 3** - Resultados do monitoramento dos parâmetros referentes à água subterrânea bruta e tratada pelo sistema de desfluoretação por precipitação por contato (media, desvio-padrão, mediana, moda, máximo, mínimo e quartis (Q1, Q2 e Q3))

	Flúor, mg.L <sup>-1</sup>		pH		C.E., µS		Turbidez, uT		Na <sup>+</sup> , mg.L <sup>-1</sup>		K <sup>+</sup> , mg.L <sup>-1</sup>		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , mg.L <sup>-1</sup>		STD, mg.L <sup>-1</sup>		Dureza, mg.L <sup>-1</sup>		
	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	AB	AT	
Média	2,8	0,6	9,3	8,6	577	680	0,0	0,0	83,3	79,9	0,0	3,9	0,04	0,38	418	493	2,7	12,2	
DP	0,1	0,4	0,1	0,4	54	84	0,0	0,0	11,2	15,2	0,0	4,5	0,04	0,13	39	61	0,7	5,9	
Mediana	2,8	0,4	9,3	8,5	578	682	0,0	0,0	82,0	75,0	0,0	2,0	0,02	0,34	419	494	2,5	13,9	
Moda	2,8	0,2	9,3	8,5	507	715	0,0	0,0	82,0	75,0	0,0	0,0	0,00	0,31	368	518	2,2	2,1	
Máx	3,0	1,4	9,7	9,3	680	881	0,0	0,0	108,0	120,0	0,0	13,0	0,10	0,78	493	639	5,2	20,9	
Mín	2,7	0,1	9,2	7,9	489	532	0,0	0,0	58,0	57,0	0,0	0,0	0,00	0,17	355	386	2,0	2,1	
n	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
Q1	2,8	0,2	9,3	8,3	507	599	0,0	0,0	74,0	69,0	0,0	0,0	0,01	0,29	368	435	2,2	7,3	
Q2	2,8	0,4	9,3	8,5	578	682	0,0	0,0	82,0	75,0	0,0	2,0	0,02	0,34	419	494	2,5	13,9	
Q3	2,9	1,0	9,3	8,9	622	741	0,0	0,0	91,0	91,5	0,0	7,0	0,05	0,44	451	538	2,7	16,4	

#### 4. CONCLUSÃO

O software *Defluoridation* mostrou-se um meio prático e rápido para auxiliar os operadores do sistema de desfluoretação por precipitação por contato na determinação da vazão dos reagentes de cálcio e fósforo, em função da concentração inicial de fluoreto, a concentração final (desejável) e a vazão da rede de abastecimento. Este software está atualmente disponível para download em [www.unisc.br/ppgspi](http://www.unisc.br/ppgspi).

Através dos resultados obtidos neste estudo, comprovou-se a alta eficiência do carvão ativado de osso bovino na adsorção dos íons fluoreto da água. Contudo, identificou-se que o processo de precipitação por contato apresenta melhores resultados que o processo de adsorção, uma vez que a vida útil do sistema de tratamento é maior.

A adição de soluções de cloreto de cálcio e de dihidrogenofosfato de potássio não alteraram significativamente os parâmetros de potabilidade da água. Isto demonstra que este sistema de desfluoretação pode ser uma forma econômica e simples para abastecer comunidades, onde os poços de abastecimento apresentam níveis elevados de flúor na água.

#### REFERÊNCIAS

ALBERTUS, J.; BREGNHØJ, H.; KONGPUN, M. Bone char quality and defluoridation capacity in contact precipitation. *3rd International workshop on fluorosis prevention and defluoridation of water*, 2000. p.61-72.

AMINI, M. et al. Statistical Modeling of Global Geogenic Fluoride Contamination in Groundwaters. *Environmental Science & Technology*, v. 42, n. 10, p. 3662-3668, 2008/05/15 2008. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/es071958y> >.

APHA. American Public Health Association. *Standard methods: for the examination of water and wastewater*. 21 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914, de 12 de dezembro de 2011. *Diário Oficial União*, Brasília, v. 239, 39-46, 14 dez. 2011, Seção 1

BHATNAGAR, A.; KUMAR, E.; SILLANPÄÄ, M. Fluoride removal from water by adsorption—A review. *Chemical Engineering Journal*, v. 171, n. 3, p. 811-840, 2011/07/15/ 2011. ISSN 1385-8947. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711005845> >.

BUDYANTO, S.; KUO, Y.-L.; LIU, J. C. Adsorption and precipitation of fluoride on calcite nanoparticles: A spectroscopic study. *Separation and Purification Technology*, v. 150, n. Supplement C, p. 325-331, 2015/08/17/ 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586615300836> >.

BONECHAR - *Carvão Ativado do Brasil Ltda*. Disponível em:< <http://www.bonechar.com.br/>>. Acesso em 27 novembro 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914, de 12 de dezembro de 2011. *Diário Oficial União*, Brasília, v. 239, 39-46, 14 dez. 2011, Seção 1.

CANGUSSU, M. C. T. et al. *A fluorose dentária no Brasil: uma revisão crítica*. 2002. ISSN 0102-311X.

COSTA, A. B. D. *Água & Saúde* 1. 2010. 116.

COSTA, A. B. D.; HELFER, G. A. *Defluoridation*. 51 2017 000697-0 2017.

COSTA, A. B. D. et al. Desfluoretação de águas subterrâneas utilizando filtros de carvão ativado de osso. *Águas Subterrâneas*, v. 27, n. 3, p. 11, 2013.

COSTA, A. B. D. et al. *Remoção do excesso de flúor de águas naturais*. FUNASA, 2018 12p

DAHI, E. Development of the contact precipitation method for appropriate Defluoridation of water. *2nd international workshop on fluorosis prevention and defluoridation of water*, 1997. p.128-137.

JAGTAP, S. et al. Fluoride in Drinking Water and Defluoridation of Water. *Chemical Reviews*, v. 112, n. 4, p. 2454-2466, 2012/04/11 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/cr2002855> >.

LIMA, L. M. S. et al. Impact of dental fluorosis on the quality of life of children and adolescents. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 43, n. 5, p. 7, 2014.

LOGANATHAN, P. et al. Defluoridation of drinking water using adsorption processes. *Journal of Hazardous Materials*, v. 248-249, n. Supplement C, p. 1-19, 2013/03/15/ 2013. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389412012113> >.

MEDELLIN-CASTILLO, N. A. et al. Adsorption of Fluoride from Water Solution on Bone Char. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 46, n. 26, p. 9205-9212, 2007/12/01 2007. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1021/ie070023n> >.

MEDELLIN-CASTILLO, N. A. et al. Adsorption capacity of bone char for removing fluoride from water solution. Role of hydroxyapatite content, adsorption mechanism and competing anions. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 20, n. 6, p. 4014-4021, 2014/11/25/ 2014. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X14000318> >.

NARVAI, P. *Cárie dentária e flúor: uma relação do século XX*. 2000.

OLADOJA, N. A. et al. Preparation and characterization of a reactive filter for groundwater defluoridation. *Chemical Engineering Journal*, v. 283, n. Supplement C, p. 1154-1167, 2016/01/01/ 2016. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894715011419> >.

SINGH, J.; SINGH, P.; SINGH, A. Fluoride ions vs removal technologies: A study. *Arabian Journal of Chemistry*, v. 9, n. 6, p. 815-824, 2016/11/01/ 2016. Disponível em: <

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535214001269> >.

TCHOMGUI-KAMGA, E.; NGAMENI, E.; DARCHEN, A. Evaluation of removal efficiency of fluoride from aqueous solution using new charcoals that contain calcium compounds. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 346, n. 2, p. 494-499, 2010/06/15/2010. ISSN 0021-9797. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021979710001542>>.

ZOU, J.; ASHLEY, J. W. Fluorosis A2 - McManus, Linda M. In: MITCHELL, R. N. (Ed.). *Pathobiology of Human Disease*. San Diego: Academic Press, 2014. p.893-898.