

## I-097 - UTILIZAÇÃO DE RESINAS DE TROCA IÔNICA PARA REMOÇÃO DE NITRATO EM ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

### **Manuelle Karvat<sup>(1)</sup>**

Química Industrial pelo Centro Universitário Unifacear, Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pela UFPR-Curitiba, Especialista em Gestão de Projetos em Engenharia pela PUC-PR, Técnica em Meio Ambiente pelo CEEP-Curitiba. Atualmente trabalha na área de coordenação de projetos de tratamento de água e gases na empresa Union Equipamentos.

### **Karen Juliana do Amaral**

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ. Doutora em Engenharia Civil, Recursos Hídricos, COPPE/UFRJ, juntamente com o Instituto de Engenharia Sanitária, Gerenciamento da Qualidade de Água e de Resíduos da Universidade de Stuttgart (ISWA), Alemanha. Atualmente é pesquisadora da Universidade de Stuttgart no Brasil, professora do curso de pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) da Universidade Federal do Paraná, SENAI e Universidade de Stuttgart, no Brasil.

### **Uwe Bernd Menzel**

Engenheiro Civil pela Universidade de Stuttgart, Alemanha. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Stuttgart e Universidade de Hannover. Atualmente é chefe do departamento de Tecnologias de Tratamento de Efluentes Industriais no Instituto de Engenharia Sanitária, Gerenciamento da Qualidade de Água e de Resíduos da Universidade de Stuttgart (ISWA), Alemanha. Também atua como docente da matéria Tecnologias Industriais de Água nos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia Civil e Engenharia de Processos, bem como nos cursos de mestrado WAREM e WASTE na Universidade de Stuttgart e também no curso de pós-graduação Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) da Universidade Federal do Paraná, SENAI e Universidade de Stuttgart, no Brasil.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Christiano Schmitz, 417 - Xaxim - Curitiba - PR - CEP: 81810-290 - Brasil - Tel: (41) 3346-6434 - e-mail: [mkarvat91@gmail.com](mailto:mkarvat91@gmail.com)

### **RESUMO**

Água é um insumo essencial à vida, entretanto, por falta de saneamento básico em diversas regiões do Brasil, diversas fontes de água superficial e subterrâneas têm se tornado impróprias para fornecimento de água para consumo humano. Uma das formas de poluição ocorre com o lançamento de despejos irregulares de esgoto ou pelo uso de soluções simplificadas de disposição, que leva à infiltração de poluentes no solo e muitos destes acabam percolando. A amônia presente nesses despejos, por meio do ciclo do nitrogênio, se converte em nitrito e depois em nitrato, e dependendo do tipo de solo e do nível da contaminação, chega até o aquífero, comprometendo a qualidade da água ali existente. Um exemplo disso é o caso das águas subterrâneas da cidade de Nata, no bairro da Candelária, localizada no estado do Rio Grande do Norte, onde foram verificados níveis de nitrato acima do permitido pela Portaria do Ministério da Saúde, nº 2914, de 12 de dezembro de 2011 (10 mg/L NO<sub>3</sub>). A remoção deste componente pode ser realizada com a tecnologia de troca iônica, que se baseia no intercâmbio iônico utilizando princípio de afinidade química com a utilização de esferas de copolímeros de estireno e divinilbenzeno. Em um período de junho a novembro de 2016, para a obtenção de água potável a partir de um poço contaminado com Nitrato, no bairro da Candelária, em Natal, um filtro automático utilizando essa tecnologia foi instalado, operando com uma vazão de 12 m<sup>3</sup>/h, em leito fixo, utilizando filtro de areia como pré-tratamento. Nos meses de junho a novembro obteve-se eficiência média de 86 %. Realizando um cálculo de *Payback* da planta piloto, verificou-se um valor médio de 6,19 meses. Fazendo um estudo do custo da água desnitrificada pela planta piloto, observou-se um valor de R\$ 0,70 por m<sup>3</sup>, valor 13 vezes mais barato do que o cobrado pela companhia de saneamento local.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resinas de Troca Iônica, Nitrato, Remoção de Nitrato, Natal-RN.

## INTRODUÇÃO

A água é um insumo necessário à vida terrestre e um recurso estratégico para o desenvolvimento da vida (JÚNIOR E MELO, 2001). Devido à escassez de águas superficiais no nordeste brasileiro, a maior parte das regiões emprega águas subterrâneas para abastecimento público, como é o caso de Natal, RN, que utiliza a água do aquífero Dunas-Barreiras (FONSECA et al., 2006).

O crescimento urbano acelerado traz consequências que prejudicam a qualidade dos mananciais de água potável. Uma destas consequências é o lançamento de esgoto sanitário sem tratamento em locais de fácil penetração no solo (BUCCO et al., 2010).

No Brasil, os sistemas de sumidouros e fossas sépticas são muito utilizados devido ao seu baixo custo de construção e operação e em alguns locais é empregado como solução para destinação do esgoto substituindo o saneamento (TORRES, 2011).

Uma vez que o esgoto é jogado em sistemas de fossas sépticas e sumidouros (BROTTO E SILVA, 2014), os compostos nitrogenados acabam lixiviando até mananciais subterrâneos, que, no nordeste brasileiro, são fontes de abastecimento da população, já que a água superficial é escassa, ou inexistente.

O nitrato é uma das últimas formas de degradação da amônia, excretadas pelo ser humano em seus dejetos (MELO, QUEIROZ E HUNZINKER, 1998). Desta forma, sua presença caracteriza uma contaminação não recente, pois o nitrogênio encontra-se em seu último estágio de decomposição (THEODORO, THEODORO, MORI, 2011). Estas contaminações elevam a concentração de amônio ( $\text{NH}_4$ ) que se oxida até a forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) pela ação de bactérias nitrificadoras.

O padrão de potabilidade da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914 (BRASIL, 2011) estabelece um limite máximo de 10 mg/L  $\text{NO}_3\text{-N}$  para águas de abastecimento. Teores acima deste limite podem causar doenças como metahemoglobinemia (Síndrome do Bebê Azul) e câncer gástrico (CABRAL et al., 2007), além de estar relacionado com casos de cefaleia, taquicardia, e diminuição de ácido gástrico no estômago (FONSECA et al., 2006).

Sabe-se que a principal causa de contaminação provém da falta de sistema de saneamento básico no município de Natal. E que, passado o processo de decomposição da matéria orgânica presente nos efluentes, faz com que haja o surgimento do  $\text{NO}_3^-$  (JÚNIOR E MELO, 2001).

A metodologia mais usual aplicada para remoção de nitratos em águas residuais é através da degradação biológica do nitrogênio até seu estágio de oxidação final, em sua forma gasosa ( $\text{N}_2$ ), que é um gás inerte, sendo realizado em estações de tratamento, no qual consiste em etapa terciária ou complementar, vindo depois do tratamento preliminar (sólidos grosseiros), primário e secundário (tratamentos físicos e biológicos) (BROTTO E SILVA, 2014).

Entretanto, este tipo de remoção visa principalmente o tratamento de águas residuais com vários parâmetros de contaminação, realizados em várias etapas, não sendo específico para remoção do íon nitrato. Portanto, não se torna aplicável em águas para abastecimento oriundas de poços subterrâneos, contaminados somente por este poluente.

Tendo-se em vista a problemática do assunto abordado, é que se justifica o estudo, pesquisa e aplicação de alternativas viáveis e efetivas para remoção deste componente nocivo à saúde, que é encontrado em níveis não adequados para consumo humano, em águas subterrâneas da cidade de Natal, que devido à falta de mananciais superficiais, faz a captação de águas subterrâneas para abastecimento humano.

Portanto, se faz necessários estudos e testes em larga escala para confirmar a efetividade do método de remoção de nitratos com resinas de troca iônica, com a finalidade de consumo humano.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de resinas de troca iônica para remoção de nitrato em águas para abastecimento, verificando a remoção de Nitrato ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) por planta piloto de troca iônica com resina

seletiva na região de Natal-RN, observando a sua relação custo/benefício, para verificação de sua aplicação para abastecimento público.

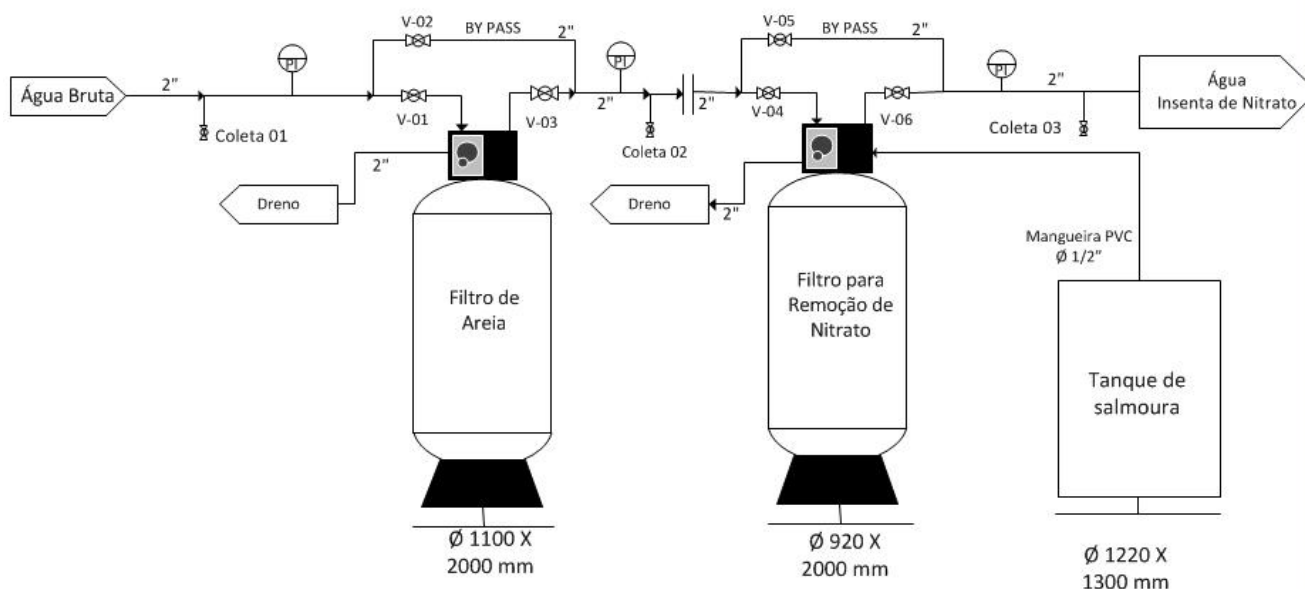
O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Union Equipamentos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A água tratada foi destinada para abastecimento de uma área comercial contendo lojas, cinema, e restaurantes, totalizando um fluxo de suprimento de aproximadamente 12 m<sup>3</sup>/h de água, isenta de nitrato.

O tratamento de água na localidade teve o intuito de tornar seu consumo nesta área comercial mais econômico, utilizando a água de poço já existente, e previamente outorgado pelo IGARN – Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte, com o conhecimento dos usuários de sua contaminação com nitrato.

A planta piloto baseou-se em remoção de nitrato em água contaminada através de tecnologia de troca iônica, na qual a água contaminada passa por um filtro de areia e depois um leito filtrante contendo resina em fluxo descendente, com operação automatizada por meio de válvula automática multi-vias como ilustra Figura 1.



**Figura 11 – Montagem do da Planta Piloto**

Previamente ao filtro de remoção de nitrato (FN) foi instalado um filtro de areia multicamadas (FM) de granulometrias diferentes, com o objetivo de remoção de turbidez, cor e sujidades de tamanho até 40 micra, uma vez que estas substâncias que tendem a tamponar os poros da resina, impedindo-a de realizar a troca iônica. Em casos extremos de contaminação da resina com matéria orgânica, pode ocorrer oxidação de sua estrutura polimérica, causando ruptura da esfera. Uma vez que a esfera se rompe, sua capacidade de troca iônica é inutilizada.

Para a construção do Filtro Multicamadas de areia (FM), foi utilizado 01 vaso de pressão de PRFV (Polietileno Revestido com fibra de vidro), com diâmetro externo de 1100 mm e altura total de 2000 mm, classe de pressão 100 psi, abaulado tanto na parte superior quanto na parte inferior, com estrutura autoportante em polietileno, formato trapézio tipo saia para sua suportação. Já para a montagem do Filtro para Remoção de Nitrato (FN), foi utilizado sistema similar ao Filtro Multicamadas, com diferença no tamanho do vaso, possuindo diâmetro externo de 920 mm e altura de 2000 mm.

Para mistura e armazenamento da solução de Salmoura, foi construído um tanque de polipropileno com, com diâmetro de 1,22 metros, altura total de 1,3 metros, e espessura de 6 mm totalizando 1519 L, provido de

conjunto agitador com motor 1/3 CV, pás tipo hélice em aço INOX 304 e haste também em INOX 304, com altura de 0,8 m.

A instalação da planta piloto foi realizada no centro da cidade de Natal, e dentro dos vasos de pressão foram colocados 900 L de Resina Aniônica de Troca Iônica seletiva no Filtro para Remoção de Nitratos (FN), com capacidade de troca de 0,9 meq/L, e cerca de 900 kg de Material filtrante para o Filtro de Areia Multicamadas (FM).

A operação de ambos os filtros foi realizada com auxílio de válvula automática rosqueada no topo de cada vaso, que controlou a operação de filtração na planta piloto, permitindo fluxos descendente e ascendente, inserção de produto químico durante regeneração no filtro de nitrato e também posterior enxágue dos leitos.

Já a operação da planta piloto também foi realizada por válvula automática localizada no topo do vaso, que controlou a operação de filtração dos Filtros, permitindo fluxo descendente, bem como os fluxos durante o momento de regeneração. Assim cinco funções foram realizadas: Operação, Retrolavagem, Sucção de Salmoura, Refil de Água e Enxágue. As operações trabalharam em etapas, assim, quando uma operação finalizava, a válvula realiza uma modulagem interna das vias de passagem de fluxo, alterando para outra operação, até todas as operações serem realizadas, iniciando se um novo ciclo de trabalho, ressaltando que as etapas de retrolavagem, sucção de salmoura, e enxágue fazem parte da regeneração da resina, e que o refil de água é um suporte para que a operação fique automatizada.

Para analisar a remoção de nitrato do FN foi feita sua verificação quantitativa por meio de análises laboratoriais, observando se a quantidade de saída da planta piloto obedecia a Portaria de Potabilidade do Ministério da Saúde, nº 2914 de 2011, ou seja, teor igual ou inferior a 10 mg/L de  $\text{NO}_3\text{-N}$ , observando o comportamento da planta piloto durante o período de estudo (de junho a novembro de 2016).

Para verificação da relação custo benefício da planta piloto foi avaliado o custo da água fornecida pela concessionária local, comparando com o custo operacional da planta piloto, relacionando valores de: custo do operador, energia da bomba para pressurização do sistema, valor de sal utilizado para regeneração, e custo da água extraída do poço, verificando ainda o valor de *Payback* simples da planta piloto, baseado na economia mensal.

## RESULTADOS OBTIDOS

Após uma avaliação inicial da qualidade de água do poço de estudo realizada em 06 de novembro de 2014, verificou-se que dois parâmetros analisados não se enquadravam na Portaria de Potabilidade nº 2914 do Ministério da Saúde: nitrato, que se apresentou 30% acima do limite permissível, e pH que se encontrou levemente ácido (5,98).

Ao coletar amostras na entrada e na saída da planta piloto para amostragem, pode-se verificar uma diferença significativa na coloração entre a entrada e a saída, mostrando que o FM conseguiu atingir seu objetivo de remoção de sujidades, tornando a água de amarelada a incolor (Figuras 2 e 3).



**Figura 2 – Coloração da Água Antes da Planta Piloto**



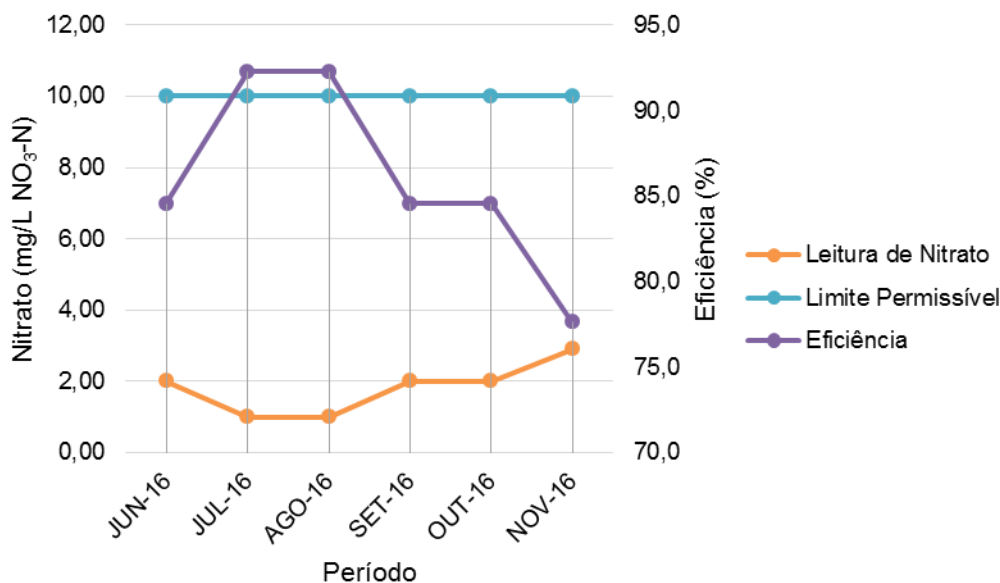
**Figura 3 – Coloração da Água Depois da Planta Piloto**

De acordo com o fabricante, a sujidade existente verificada por meio da Figura 3 poderia se acumular gradativamente nos poros da resina, causando um entupimento dos sítios ativos, ou uma ruptura das esferas, impedindo a troca iônica e diminuindo a eficiência do Filtro para Remoção de Nitratos.

As análises referentes às coletas feitas na saída do filtro durante etapa de remoção de nitrato, do mês de junho a novembro de 2016, mostraram que houve a remoção do teor de nitrato a níveis aceitáveis para consumo humano, segundo Portaria nº 2914 ( $\leq 10 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$ ) (BRASIL, 2011), conforme sintetiza a Tabela 1 e Figura 4.

**Tabela 1 – Resultados da Campanha de Nitrato de Junho a Novembro de 2016**

<b>Mês</b>	<b>Valor de Nitrato (<math>\text{mg/L NO}_3\text{-N}</math>) na Saída da Planta Piloto</b>
Junho	2,0
Julho	1,0
Agosto	1,0
Setembro	2,0
Outubro	2,0
Novembro	2,9

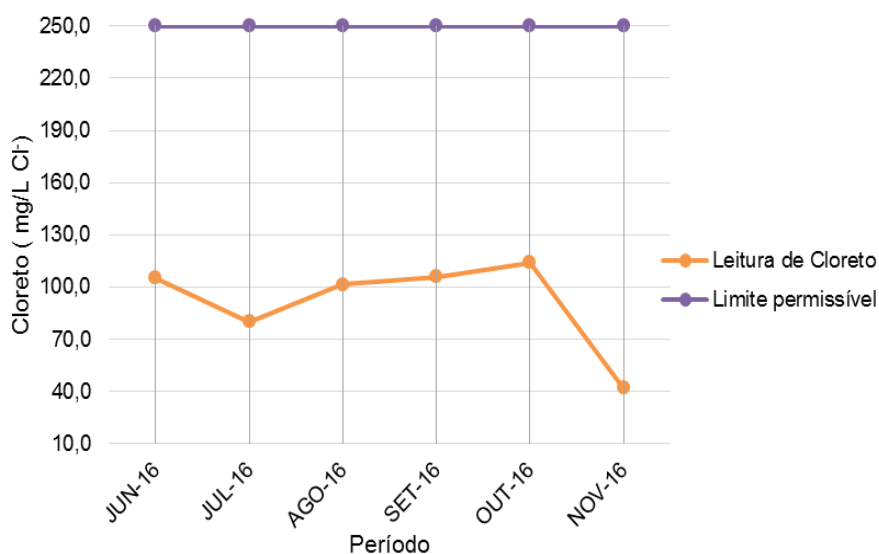


**Figura 4 – Variação de Nitrato e Eficiência no FN de Junho a Novembro de 2016**

Dentro das análises efetuadas, houve variação do teor de nitrato da saída do Filtro, de 1,0 a 2,9 mg/L de NO<sub>3</sub> obtendo-se eficiência de remoção de 78 a 92 % de eficiência (Figura 4).

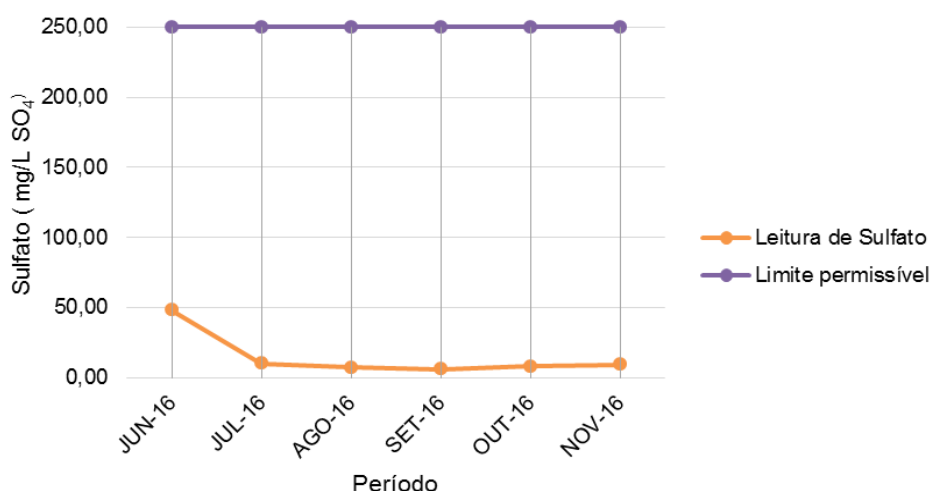
De acordo com o fabricante, a remoção de nitrato do equipamento só foi possível, pois este composto era iônico, pois se o nitrato fosse de origem orgânica, ou seja, ligado com cadeias carbônicas, a utilização da resina não seria efetiva.

Como no processo de troca iônica há a troca dos íons de nitrato pelos íons de cloreto, é normal observar um leve acréscimo no teor deste componente na saída da planta piloto, se comparado com seu valor de entrada (Figura 5). Entretanto este acréscimo não ocorreu de forma significativa, de forma a extrapolar os níveis da Legislação de Potabilidade, que estabelece valor de até 250 mg/L de Cl<sup>-</sup>.



**Figura 5 – Variação de Cloreto de Junho a Novembro de 2016**

Segundo Mahler, Colter e Hirnick (2007), a remoção de nitrato por meio de troca iônica é muito efetiva, exceto quando a água contém quantidade significativa de sulfato, que compete diretamente no processo de troca. Ao avaliar o teor de sulfato na saída da planta piloto, que é o principal íon concorrente do nitrato devido sua maior valência na última camada de elétrons, pode-se verificar que houve variação nos valores, mas durante todo o período (junho a novembro) o teor de sulfato ficou dentro do limite permissível por lei que é  $\leq 250 \text{ mg/L}$  de  $\text{SO}_4$  (Figura 6).



**Figura 6 – Variação do Sulfato de Junho a Novembro de 2016**

Com base nos valores gastos mensalmente, pode-se calcular o *Payback* da Planta Piloto, fazendo uma relação entre o valor gasto da planta piloto com a economia mensal de água da concessionária, resultando em 6,19 meses, conforme quadro 1.

**Quadro 1 – Payback da Planta Piloto**

Payback da Planta Piloto	
Valor de Investimento	R\$ 162.000,00
Valor Mensal de Energia	R\$ 415,62
Valor Mensal de Sal	R\$ 1.065,60
Valor da Mão de Obra	R\$ 142,00
Valor da Água da Concessionária*	R\$ 27.763,20
Economia Mensal	R\$ 26.139,98
<b>Payback da Planta Piloto**</b>	<b>6,19 meses</b>

\*Considerando consumo de  $2.880 \text{ m}^3$  mensais.

\*\*Já excluindo valor de operação.

Fazendo uma valoração do custo mensal do tratamento realizado com o equipamento, obtém-se, em um ciclo de 18 horas, um valor de R\$ 2.021,02, para produção de  $2.880 \text{ m}^3$  de água desnitrificada. Já fazendo a relação entre o custo e a produção, obtém-se um valor de R\$ 0,70 por  $\text{m}^3$ , um valor 13 vezes menor do que o valor cobrado pela concessionária local (CAERN) (R\$ 9,54  $\text{m}^3$ ), tornando a utilização da planta piloto economicamente mais viável do que a rede pública.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O poço fonte de estudo mostrou contaminação com Nitrato, e uma alteração no parâmetro de pH, estando os demais parâmetros analisados de acordo com a Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde;



O Filtro Multicamadas mostrou-se eficiente na remoção de cor, turbidez e sujidades, impedindo que estas se acumulassem no inferior das esferas de troca iônica, impedindo intercâmbio iônico.

Nos meses de Junho a Novembro de 2016 pode-se verificar eficiência de até 92 % da remoção de nitrato pela planta piloto utilizando tecnologia de troca iônica, mantendo seus níveis em acordo com a Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde sem que houvesse aumento no teor de cloreto de forma significativa;

Nos meses de Junho a Novembro de 2016, verificaram-se alterações nos teores medidos de sulfato e cloreto, mas que não foram significativas a ponto de comprometerem a eficiência na remoção de nitrato pela planta piloto;

Verificou-se *Payback* médio de 6,19 meses, viabilizando economicamente o projeto, gerando água um custo de R\$ 0,70 por m<sup>3</sup> de água tratada, sendo 13 vezes mais barato do que a companhia de saneamento municipal CAERN, tornando-se uma alternativa viável para tratamento de águas contaminadas com nitrato.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2011.
2. BROTTTO, M. E.; SILVA, L.C.M. . Nitrato em Água: Ocorrência e Consequências. 2014. Disponível em: <[http://www.creasp.org.br/institucional/meio\\_ambiente](http://www.creasp.org.br/institucional/meio_ambiente)>. Acesso em: 06 de abr. 2015.
3. BUCCO, S.; SKORONSKI, E.; PADOIN N.; BORTOLATTO, L.B.; OLIVEIRA, D.C. de; JOÃO, J. J.. Estudo da Remoção de Nitrato Presente em Água para Abastecimento Utilizando Biomassa do Bambu como Absorvente. 25ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. 2010. Disponível em: <<http://sec.sbq.org.br/cdrom/31ra/resumos/T1642-2.pdf>>. Acesso em 06 abr. 2015.
4. CABRAL ; RIGHETTO, A.M ; QUEIROZ, M. A., Comportamento do Nitrato em Poços do Aquífero Dunas/Barreiras nas Explorações Dunas e Planalto, Natal, RN, Brasil. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n3/v14n3a03>>. Acesso em: 06 abr. 2015.
5. FONSECA, A. L. DA.; ARAÚJO, A. L. C. DE.; MELO, J. L. DE S.; VALE, M. B.; CUNHA, O. A. A. DA; PEREIRA, R. Aproveitamento de Águas Contaminadas por Nitratos do Aquífero Dunas-Barreiras para Abastecimento Humano na Cidade de Natal/RN-Estimativa de Custo do metro cúbico da Água Desnitrificada. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, Anais... Natal, 2006.
6. JÚNIOR, E. R. DE C.; MELO, J. G. DE. O Papel da Estrutura Hidrogeológica na Contaminação das Águas Subterrâneas por Nitrato em Natal/RN. XII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Anais... 2001.
7. MAHLER, R.L.; COLTER, A.; HIRNICK, R.. Nitrate and groundwater. Quality Water for Idaho. University of Idaho, College of Agricultural and Life Sciences, 2007, CIS 872, p.1-4.
8. MELO, J. G. DE; QUEIROZ, M. A.; HUNZIKER, J. Mecanismos e Fontes de Contaminação das Águas Subterrâneas de Natal/RN por Nitrato. X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais... 1998
9. THEODORO, P. S. ; THEODORO, J. D. P. ; MORI, L. . Remoção de Nitrato por Meio da Eletrocoagulação das Águas do Rio Toledo. In: III ENDICT- Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica, 2011, Toledo-Pr. III ENDICT- Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica, 2011. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/toledo/estrutura-universitaria/diretorias/dirppg/anais-do-endict-encontro-de-divulgacao-cientifica-e-tecnologica/anais-do-iii-endict/REMO-c-aO%20DE%20NITRATO%20POR%20MEIO%20DA%20ELETROCOAGULA-c-aO%20DAS%20AGUAS%20DO%20RIO%20TOLEDO.pdf>> Acesso em: 06 abr. 2015.
10. TORRES, R. M. Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental; Meio Ambiente; Recursos Hídricos e Hidráulica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.