DOI: 10.22411/rede2016.1002.04

REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA ISSN: 1982-5528

Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br Fortaleza, BRA

A CONTAMINAÇÃO DE MANANCIAIS DE ABASTECIMENTO PELO NITRATO: O PANORAMA DO PROBLEMA NO BRASIL, SUAS CONSEQUÊNCIAS E AS SOLUÇÕES POTENCIAIS

The contamination of fresh water by nitrate: the background of the problem in Brazil, the consequences and the emerging solutions

Darleila Damasceno Costa[1]
Aniela Pinto Kempka[2]
Everton Skoronski[3]

RESUMO:

A contaminação de águas subterrâneas por nitratos provém principalmente do uso excessivo de fertilizantes e da disposição de resíduos animais, urbanos e industriais. Isso pode causar riscos potenciais à saúde para crianças e mulheres grávidas, limitando assim o uso direto dos recursos de água subterrânea para o consumo humano. As técnicas capazes de eliminação de nitrato são de troca iônica, osmose reversa e eletrodiálise. Existe um interesse considerável no desenvolvimento de técnicas alternativas de tratamento para remover o nitrato de águas contaminadas que ofereçam bons resultados e um custo efetivo. Diversos métodos químicos e biológicos vêm sendo submetidos a avaliação para tal efeito. Este artigo objetiva divulgar os problemas relacionados à contaminação por nitrato em águas para abastecimento, bem como as tecnologias que podem ser empregadas para resolução deste problema ambiental e de saúde pública.
Palavras chave: Nitrato. Potabilidade. Águas subterrâneas.

ABSTRACT:

The contamination of underground water by nitrates are due the non-controlled use of fertilizers and, the disposal of animal rejects and urban or industrial wastes. These activities could cause health risks to children and pregnant, and due this, the amount of drinking water is limited around the Brazil. The methodologies for nitrate removal include ion-exchange, reverse osmosis and, electrodialysis. Regarding these problems, there are a tremendous interest in the developing of alternative technical for water treatment that drives the operations for cheaper and effectiveness process concerning the nitrate removal. In this way, currently, several proposals have been evaluated. The aim of this article is to divulgate the problems related to nitrate contamination of fresh water, affecting the quality of drinking and, the technologies which could be applied to this environmental and, public health problem.
Key words: Nitrate. Potability. Groundwater.

[1] Graduada em Química e aluna do mestrado em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. darleila.costa@udesc.br

[2] Dra. Eng. Química, professora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e do Programa de programa de Pós-Graduação em Ciência de Tecnologia de Alimentos da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. aniela@ceo.udesc.br

[3] Dr. Eng. Química, professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC. skoronski@cav.udesc.br

INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas, devido à sua disponibilidade e abundância, servem como fonte de água potável na maioria dos países do mundo. Em muitos casos é a única fonte de abastecimento em comunidades rurais e áreas industriais, desempenhando importante papel no desenvolvimento econômico (SINGH et al., 2015; ZHANG e ANGELIDAK, 2013). No entanto, nos últimos anos, as atividades industriais e agrícolas têm aumentado consideravelmente, resultando na geração de poluentes tóxicos, tais como ânions inorgânicos, íons metálicos, substâncias químicas e orgânicas sintéticas (BARTUCCA et al., 2016; BHATNAGARA e SILLANPÄÄB, 2011).

Um grande número de ânions inorgânicos tem sido encontrado em concentrações potencialmente nocivas em inúmeras fontes de água potável. Destes, o nitrato (NO_3^-) é uma preocupação ambiental em escala global. Devido à sua alta solubilidade em água, é, possivelmente, o contaminante mais difundido na água subterrânea do mundo resultando numa séria ameaça para o abastecimento de água potável (HOU et al., 2015; SINGH et al., 2015; BHATNAGARA e SILLANPÄÄB, 2011; GANESAN et al., 2013).

O nitrogênio é um importante elemento nas reações biológicas. Os compostos de nitrogênio estão presentes no meio ambiente fazendo parte de um ciclo onde pode se apresentar como nitrogênio gasoso (N_2), como compostos nitrogenados na sequência de oxidação de nitrogênio na forma de amônia NH_4^+, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), sendo esses processos vitais na cadeia alimentar (LOGANATHAN et al., 2013; PATIL et al., 2013; VESILIND e MORGAN, 2013; FONSECA, 2008).

Quando as bactérias atuam sobre a matéria orgânica nitrogenada libera diversos resíduos para o meio ambiente, entre eles a amônia. Quando a amônia combina-se com a água do solo, forma hidróxido de amônia que, ionizando-se, produz NH_4^+, (íon amônio) e OH^- (hidroxila). Os íons amônio presentes no solo são absorvidos pelas plantas ou são aproveitados por bactérias do gênero *Nitrosomonas e Nitrosococcus* (BAIRD e CANN, 2011; KINDLEIN, 2010; FONSECA, 2008).

A oxidação microbiana do íon amônio ocorre em dois diferentes estágios, envolvendo diferentes bactérias nitrificantes quimioautotróficas, que utilizam amônio ou nitrito como uma fonte de energia, oxigênio como aceptor final de elétrons, amônio como fonte de nitrogênio e carbonato como fonte de carbono. O primeiro estágio do processo é a oxidação do íon amônio a nitrito, conforme Reação 1 (FRANCO NETO, 2011).

$$NH_4^+ + 1{,}5\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O \qquad \text{(Reação 1)}$$

Em um segundo estágio, o nitrito é oxidado a nitrato. A oxidação dos íons amônio produz nitritos como resíduos nitrogenados (nitrosação), que são liberados para o meio ambiente. Os nitritos liberados pelas bactérias nitrosas são absorvidos e utilizados como fonte de energia por bactérias quimiossintetizantes do gênero *Nitrobacter*. Os nitratos são formados através da oxidação dos nitritos (Reação 2). Quando liberados para o solo, os nitratos podem ser absorvidos e metabolizados pelas plantas (KINDLEIN, 2010; FONSECA, 2008).

$$NO_2^- + 0{,}5\ O_2 \rightarrow NO_3^- \qquad \text{(Reação 2)}$$

O nitrato é encontrado naturalmente em águas subterrâneas em baixas concentrações, porém o aumento destas concentrações pode ocorrer devido as atividades humanas, através da aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos e o uso de sistemas de saneamento *in situ* (BARTUCCA et al., 2016; LI et al., 2015).

O aumento global no uso de fertilizante à base de nitrogênio ao longo das últimas décadas também levou a aumento da lixiviação e do escoamento deste elemento ameaçando a qualidade da água, especialmente em áreas agrícolas, onde as elevadas concentrações de nitrato são comuns. Embora o aumento do uso de fertilizantes seja importante para rendimento da colheita da produção de alimentos, em face do aumento da população, são levantadas várias questões quanto à sustentabilidade destas práticas e sua influência na deterioração adicional da água superficial e de lençois freáticos (BUROW et al., 2010). O nitrato possui grande mobilidade no solo e é extremamente solúvel na água podendo, assim, facilmente contaminar as águas subterrâneas (ENSIE e SAMAD 2014; BARBOSA, 2005).

As principais fontes de contaminação por nitrato derivado de atividades humanas nas águas subterrâneas são os excrementos de animais; fertilizantes nitrogenados e efluentes domésticos. A aplicação de resíduos animais para a fertilização do solo é uma fonte potencial de contaminação por nitrato em águas de muitos países. Também a criação de grandes quantidades de animais em confinamento (gado, suínos e cavalos) gera problemas de contaminação (BARBOSA, 2005).

O ciclo do nitrogênio nem sempre está apto para assimilar o excesso de nitrogênio sintético. O excesso é carreado para as águas subterrâneas, rios e lagos, podendo causar a eutrofização, o que favorece a proliferação exagerada de algas e plantas aquáticas (LOGANATHAN et al., 2013; PATIL et al., 2013; WICK et al., 2012; BARBOSA, 2005; BUTTIGLIERI et al., 2005). Na eutrofização das águas subterrâneas por contaminação com nitratos está a origem de sérios problemas sociais e econômicos (MORGHI et al., 2015).

Sistemas sépticos para a disposição de efluentes domésticos, do tipo fossas, são as principais e mais frequentes fontes de contaminação dos solos e águas subterrâneas. Estes sistemas estão muitas vezes localizados sobre aquíferos não-confinados, os quais são utilizados como fonte de abastecimento de água. A expansão da população urbana para áreas rurais, ao redor das cidades, não supridas por sistemas de coleta de efluentes, tem aumentado significativamente a utilização de fossas (TORRES, 2011; SOUSA, 2004).

Na China e Espanha, essa contaminação ocorre principalmente por fontes difusas, com um aumento considerável de nitrato nas águas subterrâneas devido às práticas agrícolas. Em países subdesenvolvidos, a contaminação ocorre por fontes pontuais em decorrência da disposição inadequada de resíduos e efluentes de atividades industriais e domésticas (TORRES, 2011). No Brasil, a Portaria n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, estabelece o valor máximo permissível de 10 mg/L de N ou 45 mg/L de NO_3^- (BRASIL, 2011).

Como consequência da eutrofização, pode haver redução da penetração de luz na água, alterando o ambiente subaquático. Além disso, a própria respiração e os resíduos de plantas e algas mortas depositados no fundo provocam a redução na disponibilidade de oxigênio, culminando com a mortandade de peixes e outros organismos (LOGANATHAN et al., 2013). O excesso de nitrato na água pode afetar a saúde animal ocasionando problemas nos ruminantes (bovinos e ovinos) e alguns monogástricos (equinos) que apresentam certas bactérias no trato digestivo que convertem nitrato em nitrito, levando a uma forma de envenenamento (RESENDE, 2002).

A saúde humana pode ser comprometida, pois a ingestão de água com altas concentrações de nitratos e nitritos pode estar relacionada com a incidência de câncer do estômago e do esôfago. Pode também resultar na chamada "síndrome do bebê azul" especialmente perigosa para os bebês menores de seis meses de idade. A criança apresenta-se azulada devido ao quadro de anaerobiose provocado pela ineficiência no transporte de O_2.

Desta forma, este artigo tem como objetivo divulgar os problemas relacionados à contaminação por nitrato em águas para abastecimento, bem como as tecnologias que podem ser empregadas para resolução deste problema.

Contaminação de águas por nitrato no Brasil e suas consequências no organismo humano

O consumo de nitrato por meio das águas de abastecimento, está relacionado a indução à metahemoglobinemia, especialmente em crianças (MORGHI et al., 2015; ENSIE e SAMAD, 2014; BIGUELINI e GUMY, 2012; SHRIMALI e SINGH, 2001). É uma doença que resulta da redução do nitrato a nitrito no estômago dos lactentes, onde o líquido gástrico é menos ácido que o dos adultos. O nitrito combina-se no sangue com a hemoglobina, obtendo-se metahemoglobina, que não tem a capacidade de fixar o oxigênio durante a passagem pelos pulmões e, por conseguinte, de o transportar para as células. A insuficiência de oxigênio pode levar à paralisia cerebral e ao óbito, caso não haja um tratamento adequado, sobretudo em lactentes com menos de 3 meses. A falta de oxigênio na corrente sanguínea provoca mudança de cor na pele do bebê, que se torna azul, por isso essa doença é comumente designada de "síndrome do bebê azul". Teores de nitrato elevados aumentam o risco de doença também em grávidas (principalmente na 30ª semana de gravidez), hemodializados e doentes com diminuição de ácido gástrico no estômago ou com metahemoglobinemia congênita (SANT'ANNA JUNIOR, 2010; FONSECA, 2008).

Outro tipo de enfermidade que pode estar relacionada a ingestão de grandes quantidades de nitratos nas águas é o risco de desenvolvimento do câncer gástrico ocasionado pela formação de nitrosaminas carcinogênicas (LI et al., 2015; MELO NETO et al., 2013 SHRIMALI e SINGH, 2001).

As nitrosaminas e nitrosamidas podem surgir como produtos de reação entre o nitrito ingerido ou formado pela redução bacteriana do nitrato, com as aminas secundárias ou terciárias e amidas presentes nos alimentos. O pH ótimo para a reação de nitrosaminação é entre 2,5 a 3,5, faixa semelhante à encontrada no estômago humano após a ingestão de alimentos. Tanto as nitrosaminas como as nitrosamidas estão relacionadas com o aparecimento de tumores em animais de laboratório (BIGUELINI e GUMY, 2012).

Um problema adicional está ligado à possibilidade de as pessoas intoxicarem-se ao consumirem água de mananciais eutrofizados, que contenham toxinas produzidas por algas que crescem excessivamente nesses ambientes (RESENDE, 2002).

Embora seja estabelecido o limite de 10 mg/L de nitrato para água destinada ao abastecimento humano, devido à capacidade do organismo em reverter o processo, produzindo nitrito por redução de nitrato, o uso contínuo de água contaminada por nitrato, mesmo em concentrações inferiores a estabelecida, pode trazer danos, devido o efeito cumulativo no organismo humano (MIGLIORINI, 2002).

A literatura referente aos estudos sobre a avaliação de compostos de nitrogênio em águas de poços no Brasil é muito precária, bem como a divulgação de estudos epidemiológicos com respeito à metahemoglobinemia e a ocorrência do desenvolvimento de alguns tipos de câncer, devido à ingestão de teores elevados de nitrato, são praticamente inexistentes (BIGUELINI e GUMY, 2012).

O aumento da contaminação das águas por compostos nitrogenados vem merecendo atenção especial, uma vez que está se tornando um problema mundial, devido a sua ampla e diversificada procedência (SANTOS, 2011). No entanto, estudos específicos da contaminação de aquíferos por nitrogênio são ainda bastante restritos no Brasil, sobretudo quando o tema é tem enfoque mais detalhado. A partir da experiência de outros países, é de se acreditar que haja problemas e que a contaminação atinja várias áreas, principalmente em virtude da grande vocação agrícola do país.

O Município de Natal-RN é um exemplo característico de impactos de atividades urbanas em águas subterrâneas situadas sob o seu domínio. O processo de contaminação das águas subterrâneas de Natal por nitrato encontra-se num estágio bastante acentuado e tem sido motivo de preocupação por parte da população que a consome, tendo em vista que, em uma

área expressiva da cidade, os teores de nitrato são superiores ao limite estabelecido. Durante os últimos dez anos, 38 poços do sistema público de captação d'água tiveram de ser desativados devido a alta concentração de nitrato registrada nas suas águas (MELO et al., 2011).

No município de Parintins, situado na porção leste do Estado do Amazonas, fronteira com o Pará, todo o fornecimento público de água para consumo humano provém de captação subterrânea, por meio de poços tubulares. Em estudo realizado sobre a qualidade da água subterrânea deste local, as concentrações de nitrato apresentaram-se acima dos limites estabelecidos para a maioria dos poços estudados, com valores variando de 11 a 49 mg/L. A causa dos altos teores de nitrato, principalmente nos poços mais rasos da zona urbana de Parintins, está ligada à falta de um sistema de captação e tratamento dos esgotos na cidade, o que leva à infiltração dos resíduos líquidos desses esgotos, despejados em fossas ou a céu-aberto, até os níveis superiores do aquífero, contaminando-o (MARMOS e AGUIAR, 2006).

Em uma pesquisa executada na cidade de Presidente Prudente-SP, que objetivava delimitar zonas de contaminação das águas subterrâneas por nitrato e caracterizar a associação destas zonas com a expansão da área urbana, foi percebido que a contaminação por este íon em águas subterrâneas é um dano ambiental significativo. A pesquisa constatou o comprometimento da potabilidade em 38 dos 134 poços selecionados. Este número representa uma proporção de 28,36%, o que caracteriza uma situação preocupante quanto à qualidade da água captada (GODOY et al., 2004).

No Ceará, as águas provenientes de poços são a única fonte de abastecimento para a população de algumas regiões do Estado. Em estudo para avaliar a qualidade microbiológica e química das águas para consumo humano provenientes de poços e correlacioná-la com o nível de esgotamento sanitário de diversas localidades, foi concluído que 7,8% das amostras de poços analisados ultrapassaram os níveis de nitrato permitido na legislação para consumo humano (COSTA et. al., 2012).

O Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas. Os estudos regionais são poucos e, os que existem, encontram-se defasados. A maior parte dos estudos de qualidade da água subterrânea publicados mais recentemente têm caráter mais localizado.

Em 2007, a Agência Nacional de Águas (ANA) realizou um estudo sobre o panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Este estudo avaliou além de outros parâmetros, a contaminação dos principais sistemas aquíferos brasileiros por nitrato. Os resultados revelaram que em grande parte dos aquíferos, as concentrações encontradas foram superiores ao limite estabelecido pelo Ministério da Saúde.

O sistema aquífero Missão Velha aflora no extremo sudeste do Estado do Piauí. Em 57 pontos monitorados, 14 apresentaram valores de nitrato acima do limite para potabilidade. O uso principal é para abastecimento doméstico, destacando-se as cidades de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, no Ceará (ANA, 2007).

O sistema aquífero Exu, assim como o Missão Velha, pertence à Bacia Sedimentar do Araripe. Aflora em partes dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. O uso principal do manancial é para o abastecimento doméstico. Fontes de água relacionadas ao Exu apresentaram concentrações de nitrato acima dos valores de potabilidade (ANA, 2007).

O sistema aquífero Barreiras tem grande participação no abastecimento de várias capitais brasileiras, particularmente das capitais litorâneas nordestinas de São Luís, Belém, Fortaleza, Natal e Maceió. Em Belém, o sistema aquífero Barreiras apresentou valores de nitrato acima do padrão da legislação vigente. As altas concentrações de nitrato estão relacionadas à contaminação por efluentes líquidos (principalmente esgotos domésticos) das águas superficiais que interagem com as águas subterrâneas, à presença de fossas negras e inexistência de saneamento básico. Ainda no Estado do Pará, na cidade de Santa Izabel, o

sistema aquífero Barreiras é amplamente utilizado para abastecimento da população, apresentando, entretanto, elevadas concentrações de nitrato que foram consideradas como provenientes de esgotos domésticos. Na Região Metropolitana de Fortaleza, a concentração de nitrato atinge até 530 mg/L na área urbana. Na Região Metropolitana de Natal, Em grande parte do município, são encontradas concentrações de nitrato chegando a mais de 60 mg/L. Essa contaminação é atribuída ao sistema de saneamento com disposição local de efluentes domésticos (ANA, 2007).

O Sistema aquífero Bauru-Caiuá ocupa grande parte do oeste do Estado de São Paulo. Os principais usos são o abastecimento humano e industrial. Foi observada a presença de elevadas concentrações de nitrato no aquífero. As principais fontes de contaminação são de origem antrópica difusa, representadas pela aplicação de fertilizantes e insumos nitrogenados, utilização de fossas negras, vazamentos das redes coletoras de esgoto e influência de rios contaminados na zona de captação de poços (ANA, 2007).

O aquífero Jaciparaná é utilizado para abastecimento da cidade de Porto Velho. Os teores de nitrato dos poços analisados variaram de 0,64 a 26,43 mg/L. A contaminação foi atribuída à elevada densidade populacional associada ao uso de fossas. Na zona urbana de Manaus, foi avaliada a qualidade da água subterrânea em 120 poços selecionados em seis bairros e obteve-se concentrações de nitrato fora dos padrões de potabilidade (ANA, 2007).

Processos de tratamento utilizados na remoção de nitrato

Devido à sua elevada estabilidade e solubilidade, o nitrato tem uma baixa tendência para a precipitação e adsorção, e, portanto, é difícil remover este íon da água utilizando as tecnologias convencionais de tratamento de água, sendo necessáros tratamentos especiais para a diminuição da concentração a níveis aceitáveis (LOGANATHAN et al., 2013). Existem técnicas de descontaminação das águas dentro do aquífero, com a injeção de produtos que provocam a desnitrificação, mas essas técnicas estão ainda no campo da pesquisa. O que as empresas concessionárias de água têm feito é mesclar águas contaminadas com outras em que a concentração de nitrato é menor, permitindo fornecer águas com teores de nitrato inferiores, caracterizadas como não contaminadas (MELO et al., 2011).

A preocupação com a contaminação da água por nitrato resultou no desenvolvimento de várias técnicas de purificação com base nos processos físico-químicos e biológicos utilizados para remover ou reduzir a quantidade de poluentes tóxicos encontrados. Dentre os vários métodos disponíveis, os que têm sido mais utilizados são: troca iônica, tecnologia de membranas, adsorção e tratamento biológico (ZHANG e ANGELIDAK, 2013; SHRIMALI e SINGH, 2001). Na Tabela 1 são mostradas as características dos principais processos de remoção de nitrato.

Tabela 1: Comparação entre os principais processos de remoção de nitrato de água para consumo humano.

PROCESSOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS	REFERÊNCIA
Físico-químico (Troca iônica)	• Alta eficiência quando outros íons não interferem; • Remoção de nitrato mesmo quando as concentrações já são baixas; • Podem remover altas concentrações de nitrato	• Produz salmoura concentrada necessitando de pós-tratamento; • Necessita de tratamento para evitar a obstrução do leito fixo; • Inibição de outros íons	BHATNAGARA; SILLANPÄÄB, 2011; EBRAHIM; ROBERTS, 2013
Físico-químico (Ultrafiltração Osmose reversa Eletrodiálise)	• Alta eficiência na remoção; • Podem remover altas concentrações de nitrato	• Substituição da membrana devido à saturação; • Produz alta concentração de salmoura	RAVNJAK et al., 2013; ZHANG et al., 2009
Biológico (Desnitrificação)	• Transformação de nitrato em gás nitrogênio inofensivo; • Melhor custo-benefício comparado com outros processos; • Remoção de nitrato contínua e estável; • Não há necessidade de fazer pausas intermitentes no reator para manutenção/reparação	• Necessidade de doador de elétrons; • Liberação de sólidos suspensos; • Necessita de longo tempo para partida; • Vulneráveis as condições ambientais e metabólicas	OVEZ et al., 2006

Fonte: Adaptado de TORRES (2011).

A troca iônica consiste na passagem de água contaminada por uma coluna preenchida com resina com grupos funcionais neutralizados por ânions de bases fortes, que são trocados pelo contaminante até a exaustão completa da resina. Este processo é muito atraente, pois o seu controle é fácil, a sua automação é simples e as temperaturas típicas não afetam a sua operação. No entanto, a troca iônica requer um fornecimento contínuo de substâncias químicas (BARBOSA, 2005).

A tecnologia de membranas é um método que necessita de um pós-tratamento de salmoura gerada antes da descarga. O princípio da remoção dos íons neste método baseia-se na passagem forçada da água contaminada, pela aplicação de pressão superior à osmótica, por uma membrana semipermeável, que filtra o íon nitrato. No entanto, o processo não é seletivo, pois remove muitos íons junto com o nitrato. Este apresenta sensibilidade à presença de componentes orgânicos, suspensos, partículas coloidais, variações no pH, exposição ao cloro e elevada quantidade de sólidos totais dissolvidos, sendo necessário o pré-tratamento da água (BARBOSA, 2005).

A adsorção tem sido empregada com sucesso para remoção de nitrato de água. Consiste num processo que compreende a transferência de massa entre adsorvente (material sobre cuja superfície ocorre a adsorção) e adsorbato (substância adsorvida). Para o processo de adsorção ser eficiente é necessário o adsorvente ser de alta seletividade, alta capacidade, longa vida e preferencialmente estar disponível em grandes quantidades a um baixo custo (IMMICH et al., 2009; BARBOSA, 2005).

Os processos físico-químicos são eficientes na remoção de vários íons e sais específicos, mas possuem custo elevado. Além disso, produzem grande quantidade de resíduos que são constituídos por grandes concentrações de nitratos e por outros íons presentes na água, por exemplo, cloro, sulfato e hidrogenocarbonetos (TORRES, 2011; SOUSA, 2004).

A desnitrificação biológica é um processo amplamente estudado para remoção de nitrato das águas residuais. A utilização desta técnica para tratamento de água para abastecimento foi implementada recentemente na Alemanha e nos Estados Unidos, por exemplo, e apresenta diversas vantagens sobre os métodos de osmose reversa e troca iônica. Dentre os benefícios destaca-se a capacidade de remoção seletiva do nitrato, a conversão do poluente num composto inócuo (nitrogênio molecular), além de o custo-benefício ser maior que nos outros processos (TORRES, 2011).

A desnitrificação consiste na redução biológica dos nitratos ou nitritos a nitrogênio molecular em ambiente anóxico (ambiente biológico com pouco ou nenhum oxigênio dissolvido em que está presente nitrato e nitrito), em que os nitratos e os nitritos funcionam como aceitador final na cadeia de transporte de elétrons, quando uma fonte orgânica de carbono está disponível. As bactérias utilizam o oxigênio dos nitratos e dos nitritos para metabolizar estruturas celulares. A bactérias desnitrificantes pode ser heterotróficas (utilizam carbono orgânico como sua fonte de carbono) ou autotróficas (utilizam carbono inorgânico como fonte de carbono) (FRANCO NETO, 2011; REZAEE et al., 2010).

O tipo de doador de elétrons é a principal diferença entre os processos heterotróficos e autotróficos de remoção biológica de nitrato. As bactérias heterotróficas podem utilizar diferentes compostos de carbono como doadores de elétrons. As fontes de carbono externas mais comumente usadas são o metanol, o etanol e o acetato. Efluentes de indústrias de produtos alimentares, como o melaço e a cerveja, efluentes da destilação do vinho, lixiviados de resíduos alimentares, resíduos de suinicultura e lamas hidrolisadas, são alguns exemplos de substratos orgânicos que podem ser utilizados como fonte de carbono na desnitrificação (MOHSENI-BANDPI et. al., 2013).

Os principais processos biológicos usados no tratamento de águas podem ser divididos em duas grandes categorias: tratamento com biomassa suspensa ou tratamento com biomassa fixa. Nos processos de biomassa suspensa, os microrganismos responsáveis pelo tratamento são mantidos em suspensão por processos apropriados de mistura. No processo de biomassa fixa os microrganismos responsáveis pelo biotratamento de poluentes, como o nitrato, estão aderidos a um material inerte formando um biofilme. Os materiais usados como suporte bacteriano incluem rochas, cascalho, areia e vários tipos de plástico e outros materiais sintético (TORRES, 2011).

Processos através da combinação de desnitrificação biológica, eletrodiálise e redução química têm sido investigados. Destes, a redução química usando partículas metálicas tais como ferro e alumínio tem atraído bastante atenção. Redução de nitrato por partículas de ferro metálico é geralmente realizada em condições de pH relativamente baixo (de preferência pH <4), pois reduz a taxa de corrosão de ferro. Para melhorar a eficiência da redução, partículas de ferro em escala nanométrica estão sendo investigados devido à maior reatividade da área de superfície. No entanto, os altos custos associados com o armazenamento, preparação e estabilidade e rápida oxidação das nano partículas de ferro na condições ambientais eem água limitam suas aplicações em larga escala (HOU et al., 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da necessidade de tecnologias de remoção de nitratos, tendo em vista a evolução da poluição dos mananciais superficiais e subterrâneos com substâncias nitrogenadas, trabalhos científicos até então relacionados a este assunto, ainda são escassos, visto que envolvem matérias pertencentes a empresas com patentes dos mesmos, além de se tratar de técnicas bastante onerosas, como exemplo as unidades de troca iônica e membranas, que apresentam aplicação restrita devido ao custo.

Existem poucos procedimentos convencionais que podem ser aplicados ao tratamento de águas para abastecimento contaminadas por nitrato. Dessa forma, novas técnicas que apresentam uma boa eficiência para remoção de nitrato e sejam viáveis economicamente devem ser exploradas.

As pesquisas em remoção de nitrato estão voltadas para melhorar a eficiência e reduzir custos, otimizando as estratégias de tratamento disponíveis ou buscando programar novos processos e possivelmente novos organismos capazes de converter nitrogênio amoniacal em nitrogênio gasoso. A remoção biológica de nitrato tem demonstrado ser uma abordagem promissora, pois se trata de um método mais avançado, seletivo e, sobretudo mais econômico do que os métodos físico-químicos.

Haja vista a crescente demanda de água potável, face ao aumento da população e paralelamente ao avanço da poluição, constatada pelo aumento crescente, ao longo dos anos, dos teores de NO_3^- em diversos partes do Brasil, pretende-se o desenvolvimento de um projeto utilizando uma cultura pura de bactéria desnitrificante (*Pseudomona* sp*.)* na remoção de nitrato de água contaminada, realizando controle das variáveis do processo.

Embora diversos estudos relatem a utilização de bactérias desnitrificantes na remoção de nitrato, a aplicação de culturas puras e um acentuado controle das variáveis do processo ainda são lacunas que necessitam ser exploradas. O trabalho irá explorar a otimização do processo biológico de forma a garantir uma menor necessidade de esforços para o pós-tratamento físico-químico. Assim, a combinação destes processos

de forma controlada pode apresentar maior perspectivas para aplicação em campo, sobretudo em municípios que já encaram a contaminação da água para consumo por nitrato.

AGRADECIMENTOS

PROMOP- Programa de Bolsas de Monitoria de Pós-Graduação da Universidade do Estado de Santa Catarina -UDESC

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, ANA. 2007. 124p.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARBOSA; Cátia Fernandes. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema Seropédica-RJ** [dissertação]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Campinas; 2005.

BARTUCCA, M. L; MIMMO, T; CESCO, S; BUONO, D. D. Nitrate removal from polluted water by using a vegetated floating system, **Science of the Total Environment**, v. 542, p. 803-808, 2016.

BHATNAGARA, A; SILLANPÄÄB, M. A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, p. 493–504, 2011.

BIGUELINI, C. P; GUMY, M. P. Saúde ambiental: índices de nitrato em águas subterrâneas de poços profundos na região sudoeste do Paraná**. Revista Faz Ciência,** v. 14, n. 20, p. 153-175, 2012.

BRASIL. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. 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.

BUROW, K. R.; NOLAN, B. T.; RUPERT, M. G; DUBROVSKY, N. M. Nitrate in groundwater of the United States, 1991-2003. **Environmental Science Technology,** v. 44, p. 4988-4997, 2010.

BUTTIGLIERI, Gianluigi; MALPEI, Francesca. Denitrification of drinking water sources by advanced biological treatment using a membrane bioreactor. **Desalination**, v. 178, p. 211-218, 2005.

COSTA, Cecília Leite; LIMA, Renata Felix de; PAIXÃO, Costa Germana; PANTOJA, Lydia Dayanne Maia. Avaliação da qualidade das águas subterrâneas em poços do estado do Ceará, Brasil. **Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 33, n. 2, p. 171-180, 2012.

EBRAHIM, Shelir; ROBERTS, Deborah J.. Sustainable nitrate-contaminated water treatment using multi cycleion-exchange/bioregeneration of nitrate selective resin. **Journal of Hazardous Materials**, v. 262, p. 539– 544, 2013.

ENSIE, B; SAMAD, S. Removal of nitrate from drinking water using nano SiO_2–FeOOH–Fe core–shell. **Desalination** v. 347, p.1–9, 2014.

FONSECA, Andréa Lessa. **Uso da tecnologia de troca iônica no tratamento de águas contaminadas com Nitrato do Aqüífero Dunas-Barreiras, Natal/RN** – Brasil. Natal, 2008. 129 p. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química.

FRANCO NETO, I. F. **Estudo dos processos de nitrificação e desnitrificação numa Estação de Tratamento de Águas Residuais**. Lisboa-PT. 2011. 176p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) – Universidade Nova de Lisboa.

GANESAN, P; KAMARAJ, R; VASUDEVAN, S. Application of isotherm, kinetic and thermodynamic models for the adsorption of nitrate ions on graphene from aqueous solution. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, p. 808-814, 2013.

GODOY, Manoel Carlos Toledo Franco de; BOIN, Carlos Norberto; SANAIOTTI, Daniele Cristina; SILVA, da Joel Batista. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente – SP, Brasil**. Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 63, n.2, p. 208-214, 2004.

HOU, Mingtao; TANG, Yang; XU, Jie; PU, Yuan; LIN, Aijun; Zhang, Lili; XIONG, Jinping; YANG, Xiao Jin; WAN, Pingyu. Nitrate reduction in water by aluminum–iron alloy particles catalyzed by copper. **Journal of Environmental Chemical Engineering** v.3, p. 2401-2407, 2015.

IMMICH, Ana Paula Serafini; SOUSA, Antonio Augusto Ulson de; ARRUDA, Selene Maria de; SOUSA, Guelli Ulson de. Adsorption of Remazol Blue RR from Textile Effluents Using Azadirachta indica Leaf Powder as an Alternative Adsorbent. **Adsorption Science & Technology**, v. 27, p. 461-478, 2009.

KINDLEIN, C. P. **Determinação do teor de nitratos e nitritos na água de abastecimento do município de Nova Santa Rita.** Canoas, 2010. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Unilasalle, Centro Universitário La Salle.

LI, Baohua; PAN, Xiangliang; ZHANG Daoyong; Lee, Duu-Jong; AL-MISNED, Fahad A.; MORTUZA, M. Golam. Anaerobic nitrate reduction with oxidation of Fe(II) by Citrobacter Freundii strain PXL1 – a potential candidate for simultaneous removal of As and nitrate from groundwater. **Ecological Engineering**, v. 77, p. 196-201, 2015.

LOGANATHAN, P; VIGNESWARAN, S; KANDASAMY, J. Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents a review. **Journal of Environmental Management**, v.131, p. 363-74, 2013.

MARMOS, José Luiz; AGUIAR, Carlos José Bezerra de. Avaliação do nível de contaminação das águas subterrâneas da cidade de Parintins, Amazonas, Brasil. **Geologia médica no Brasil**, Rio de Janeiro, p. 169-173, 2006.

MELO NETO, Raimundo Renato; SANTOS, *Francisco Klebson Gomes; LEITE, Ricardo Henrique de Lima; NÓBREGA, Geraldine Angélica Silva da; RIOS, Rafael Barbosa.* Nitrate removal from water using cashew bagasse chemically modified**. Revista Verde,** Mossoró, v. 8, n.4, p. 08-16, out./dez. 2013.

MELO, José Geraldo de; VASCONCELOS, Mickaelon Belchior de; ALVES, Rafaela da Silva; SOARES, Nadia C. Problemas de manejo de águas subterrâneas em ambientes urbanos: o caso do Município de Natal, RN. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, 2011, Maceió-Al. **Anais**... Maceio: Centro Cultural e de Exposições Ruth Cardoso, 2011.

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios contaminam o meio ambiente:** um estudo de caso. Cuiabá: Editora da UFMT, 2002.

MOHSENI-BANDPI, A; ELLIOTT, D. J; ZAZOULI, M. A. Biological nitrate removal processes from drinking water supply-a review. **Journal of Environmental Health Sciences & Engineering**, v. 11, p. 1-11, 2013.

MORGHI, M.; ABIDAR, F; SOUDANI, A.; ZERBET, M; CHIBAN, M.; KABLI, H; SINAN, F. Removal of nitrate ions from aqueous solution using chitin as natural adsorbent. **International Journal of Research in Environmental Studies,** v. 2, p. 8-20, 2015.

OVEZ, B.; OZGEN, S.; YUKSEL, M. Biological denitrification in drinking water using Glycyrrhiza glabra and Arunda donax as the carbon source. **Process Biochemistry**, v. 41, p. 1539–1544, 2006.

PATIL, I. D.; HUSAIN, M.; RAHANE, V. R. Ground water nitrate removal by using 'Chitosan' as an adsorbent. **International Journal of Modern Engineering Research**, v. 3, p. 346-349, 2013.

RAVNJAK, Matjaz; VRTOVŠEK, Janez; PINTAR Albin. Denitrification of drinking water in a two-stage membrane bioreactor by using immobilized biomass. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 804–808, 2013.

RESENDE, Á. V. **Agricultura e Qualidade da Água**: Contaminação da Água por Nitrato. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. 29p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 57).

REZAEE, A.; GODINI, H.; DEHESTANI, S.; Kaviani, S.. Isolation and characterization of a novel denitrifying bacterium with high nitrate removal: *Pseudomonas stutzeri* **Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng**, v. 7, p. 313-318, 2010.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes:** fundamentos e aplicações. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

SANTOS, H. R. **Lixiviação de nitrato em colunas de solo com diferentes densidades aparentes e fontes de efluente líquido de tratamento de**

esgoto doméstico. Minas Gerais, 2011. 62 p. Dissertação (Mestrado em Produção vegetal no semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal.

SHRIMALI, M.; SINGH K. P.. New methods of nitrate removal from water. **Environmental Pollution**, v. 112, p. 351- 359, 2001.

SINGH, Prabhat Kumar; BANERJEE, Sushmita; SRIVASTAVA, Arun Lal; SHARMA, Yogesh Chandra. Kinetic and equilibrium modeling for removal of nitrate from aqueous solutions and drinking water by a potential adsorbent, hydrous bismuth oxide. **The Royal Society of Chemistry,** v. 5, p. 35365-35376, 2015.

SOUSA, A. F. **Identificação, caracterização e estudo do crescimento e da capacidade de desnitrificação de uma bactéria marinha isolada de um filtro biológico**. Porto, 2004. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Zoologia e Antropologia Faculdade.

TORRES, R. M. **Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono.** Natal, 2011. 42 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia Programa de Pós Graduação em Engenharia Sanitária.

VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M.. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Cengage Learning, 2013.

WICK, K; HEUMESSER, C; SCHMID, E. Groundwater nitrate contamination: factors and indicators. **Journal of Environmental Management**, v. 111, p. 178-186, 2012.

ZHANG, Y.; ANGELIDAK, I I. A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalinationedenitrification cell (SMDDC). **Water Research**, v. 47, p. 1827-1836, 2013.

ZHANG, Yanhao; ZHONG, Fohua; XIA, Siqing; WANG, Xuejiang; LI, Jixiang. Autohydrogenotrophic denitrification of drinking water using a polyvinyl chloride hollow fiber membrane biofilm reactor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 203–209, 2009.