

I-277 - AVALIAÇÃO DO USO DE ARGILA MONTMORILONITA NA ADSORÇÃO DE NITRATO EM FASE AQUOSA

José Fernandes Cavalcante⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia do Ceará (IFCE).

Eduarda Maria Farias Silva⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Instituto Federal do Ceará. Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Ana Káren da Silva Oliveira⁽³⁾

Cursando Técnico em Química pelo IFCE.

Hugo Leonardo de Brito Buarque⁽⁴⁾

Engenheiro Químico pela UFC. Licenciatura em Química pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutor em Física pela UFC. Docente do IFCE.

Patrícia Marques Carneiro Buarque⁽⁵⁾

Graduação em Tecnologia em Processos Químicos pelo IFCE. Mestre em Engenharia Civil pela UFC. Doutora em Engenharia Civil pela UFC. Docente do IFCE.

Endereço⁽¹⁾: Rua Raimundo Rodrigues Paiva, 14 – Duque de Caxias - Quixeramobim - CE - CEP: 63800-000 - Brasil - Tel: (88) 98802-0912 - e-mail: netoqxbce@gmail.com

RESUMO

Atividades humanas como a disposição inadequada de resíduos líquidos e sólidos, uso desenfreado de fertilizantes e a utilização de combustíveis fósseis, tem promovido alterações no ciclo natural do nitrogênio. A presença desse composto nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação em corpos hídricos e de possíveis condições sanitárias insatisfatórias. Assim, este estudo avaliou o uso potencial de uma nanoargila montmorilonita modificada com aminopropiltrietoxissilano e octadecilamino e de uma sílica gel modificada com 3-aminopropiltrietoxissilano como adsorventes para a remoção do ânion nitrato a partir de soluções aquosas sintéticas. Para isso, utilizou-se soluções sintéticas contendo 20 mg/L de nitrogênio na forma de nitrato (NO_3^- -N), a fim de comparar as porcentagens de remoção obtida com os materiais em estudo. A caracterização do melhor adsorvente foi realizada utilizando uma estimativa da carga da superfície do material, o Ponto de Carga Zero (PZC), com faixa de pH variando entre 1 e 12. Foram realizados ensaios para avaliar o efeito da dosagem do adsorvente (com massas de 50, 100, 150, 200, 250 e 300 mg) e efeito do pH (2, 4, 6, 8 e 10). Os resultados revelaram que a argila obteve maior eficiência de remoção. O pH ácido foi o mais favorável para a adsorção de nitrato na argila aminofuncionalizada. As remoções da nanoargila selecionada chegaram a aproximadamente 70% em determinadas condições experimentais, dessa forma é possível constatar que argilas aminofuncionalizadas podem ser utilizadas como adsorventes na remoção de nitrato de águas.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição Ambiental, Tratamento de Água, Ânion Nitrato, Sorção, Adsorventes Minerais.

INTRODUÇÃO

Processos como a disposição inadequada de resíduos urbanos e industriais, uso desenfreado de fertilizantes para aumentar o rendimento das culturas, produção de energia utilizando combustíveis fósseis e supressão florestal, tem promovido alterações no ciclo natural do nitrogênio, modificando as concentrações deste nos diversos reservatórios do ecossistema.

A presença de composto de nitrogênio em excesso nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação em corpos hídricos e de possíveis condições sanitárias insatisfatórias. Além de ser um dos nutrientes responsáveis pela eutrofização de corpos d'água como açudes, lagos, lagoas.

Concentrações elevadas de nitrato em fontes de água potável podem levar a um risco potencial para o ambiente e para a saúde pública. É possivelmente um dos contaminantes químicos mais difundidos nos recursos hídricos e tornou-se uma preocupação primordial em escala global (LOGANATHAN *et al.*, 2013; GOLIE E UPADHYAYULA, 2017). Principalmente porque apresenta-se altamente solúvel em água e pode facilmente ser lixiviado diretamente para mananciais que são utilizados para abastecimento público.

O excesso de íon nitrato em água potável, utilizada para consumo humano, está associado a efeitos adversos à saúde. Pode resultar em metemoglobinemia em recém-nascidos, bem como em adultos, além da formação potencial de nitosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (ALABURDA, 1998; BAIRD, 2011).

Devido à sua alta solubilidade e estabilidade, o nitrato possui baixa tendência para precipitação, portanto é difícil remover o íon utilizando o tratamento de água convencional. Existem diversas tecnologias avançadas empregadas para remoção de nitrato da água, estas incluem processos biológicos (desnitrificação, nitrificação), processos químicos como osmose reversa, eletrodialise, redução catalítica, troca iônica e adsorção (RAJESWARI *et al.*, 2016).

Destes processos destaca-se a adsorção, por sua simplicidade, facilidade de operação e custo reduzido, a depender do adsorvente utilizado. A adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos (DO, 1998; NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Assim, o presente projeto pretende avaliar, do ponto de vista técnico, a adsorção de nitrato utilizando uma nanoargila com superfície modificada com 0,5-5% aminopropiltriétoxissilano (APTES) e 16-35% octadecilamino, intitulada MAO, e uma sílica gel modificada com 3-aminopropiltriétoxissilano, intitulada SMA, avaliando a capacidade de adsorção destes materiais e selecionando a mais eficiente em termos de remoção, bem como caracterizar a superfície do material adsorvente com maior capacidade adsorptiva, por meio de seu Ponto de Carga Zero (PZC). Além disso, o estudo objetiva determinar o efeito da dosagem de adsorvente na remoção de ânion nitrato e ainda estimar o pH da solução na adsorção de nitrato de águas utilizando o adsorvente selecionado preliminarmente.

Servindo de base e estudos técnicos para as companhias de água e abastecimento da região do Sertão Central do Ceará. Com a perspectiva de inovar e otimizar o fluxograma de tratamento de águas praticado atualmente. De maneira a tornar o processo de remoção de nitrato viável, com um mecanismo simples, de fácil manutenção e eficiente.

METODOLOGIA

Materiais utilizados

Foi realizado um levantamento bibliográfico no intuito de escolher materiais adsorventes propícios para a remoção de nitrato das águas de mananciais contaminados. De acordo com a literatura, os adsorventes naturais modificados tem apresentado eficiência na remoção de nitrato a partir de soluções aquosas, o que justifica a preferência por esses materiais. Foram selecionados dois adsorventes, uma nanoargila comercial funcionalizada com octadecilamina (16% a 35%) e com aminopropiltriétoxissilano (0,5% a 5%) intitulada (MAO), da marca Sigma-Aldrich e uma sílica gel da marca Macherey-Nagel funcionalizada com o silanizante 3-aminopropiltriétoxissilano (APTES) da marca Sigma-Aldrich, intitulada (SMA).

As soluções adsorptivas utilizadas em todos os testes foram preparadas nas concentrações desejadas pela dissolução em água de nitrato de sódio (NaNO_3), marca Dinâmica Química Contemporânea Ltda. (pureza superior a 99%), previamente seco durante 24 h em estufa a 105°C, seguindo a recomendação do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, onde a partir desta foram realizados as demais soluções utilizadas nos testes adsorptivos. O pH da solução foi ajustado pela adição de HCL ou NaOH. Para o preparo das soluções e de todos os experimentos, utilizou-se água desionizada obtida através de um ultrapurificador.

Determinação da concentração de nitrato

A quantificação do nitrato em ensaios de batelada será conduzida por espectrofotometria ultravioleta a 220 nm, seguindo o método 4500-NO₃-B do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Para isso, tem-se utilizado um espectrofotômetro da marca *Thermo Scientific*, modelo Evolution 300. Foram utilizadas para as análises cubetas de quartzo com capacidade para 4 mL. Uma curva de calibração típica, na faixa de 0 a 7 mg/L de nitrato expresso como nitrogênio (NO₃⁻-N), é reproduzida na Figura 1.

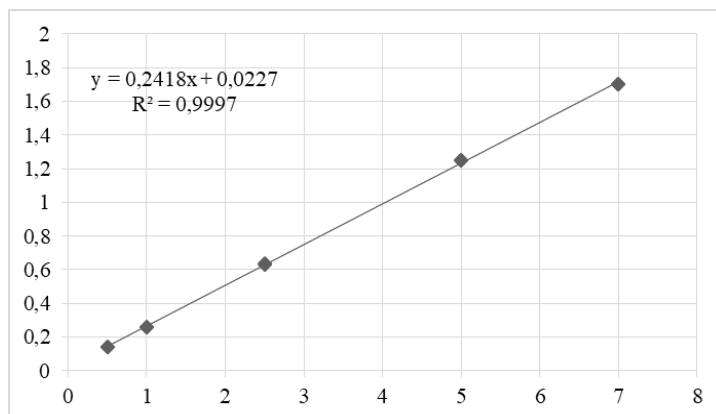


Figura 1: Curva de calibração espectrofotométrica a 220 nm para nitrato.

Caracterização da Argila

Ponto de Carga Zero

O ensaio do ponto de carga zero (PZC) foi realizado para a MAO, de acordo com o procedimento de Regalbuto e Robles (2004) denominada como “experimento dos 11 pontos”, de maneira a determinar o pH de mudança da carga superficial do adsorvente, o que pode ser útil na determinação das melhores condições para a adsorção do composto aniônicos ou catiônicos, visto que quando o pH da solução adsortiva é maior que o PZC, a superfície do adsorvente estará carregada negativamente e a adsorção de cátions será favorecida devido à atração eletrostática. Para os valores de pH inferiores ao PZC, a carga superficial do adsorvente será majoritariamente positiva, o que favorece, assim, a adsorção de ânions.

O procedimento consistiu em misturar 50 mg da MAO em 50 mL de solução aquosa sob 11 diferentes valores de pH inicial (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12), agitados por 24 h e medido o pH após o tempo decorrido. Os pHs iniciais foram ajustados com solução de HCL e NaOH em distintas concentrações e as medições foram conduzidas utilizando um medidor de pH de bancada. Fazendo-se o gráfico de pH final versus pH inicial, o PCZ é a faixa na qual o pH final se mantém constante, independentemente do pH inicial, ou seja, a superfície comporta-se como um tampão. Para sua determinação, foi feita a média aritmética dos valores de pH que mais se repetem.

Modificação da Sílica

A Sílica gel comum (SGC) foi modificada no intuito de melhorar suas características de adsorção. A sílica gel modificada com o 3-aminopropiltriétoxissilano (SMA) foi preparada por reação da SGC com o APTES, baseando-se no procedimento adotado por Lessa (2018). O fluxograma da funcionalização da sílica gel é apresentado na Figura 2. Portanto, foram utilizadas 2 g de SGC, previamente ativada a 150 °C por 18 horas, e colocados em contato, por 2 horas em temperatura ambiente (25 °C) e agitação de 240 rpm, com a solução modificadora de APTES (1:100). Posteriormente, filtrava-se a mistura em conjunto musseline, papel de filtro quantitativo e então o filtrado era colocado em estufa a 120 °C por 4 horas. O sólido seco era lavado com água deionizada, álcool etílico e acetona, nesta ordem, para remover o silanizante não reagente. O adsorvente lavado era novamente seco em estufa a 120 °C por 2 horas.

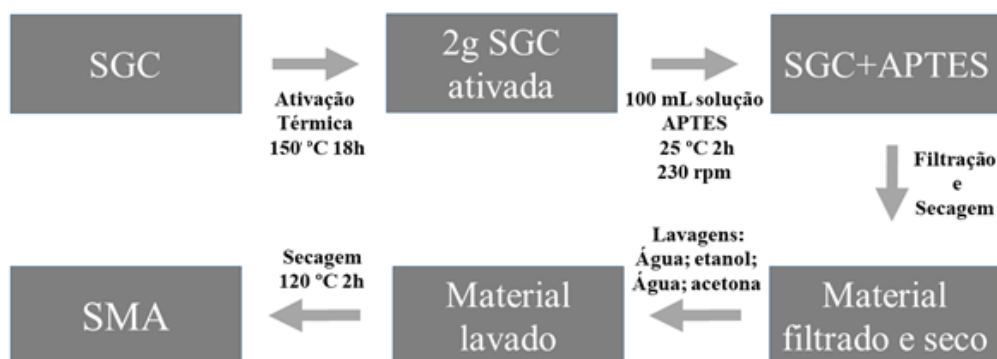


Figura 2: Fluxograma da funcionalização da SGC para obter a SMA.

Estudos de Adsorção

Inicialmente foram realizados testes preliminares para verificar a eficiência da remoção de nitrato com a argila e a sílica gel consideradas nesse estudos. A partir da seleção do melhor material adsorvente testes mais aprofundados puderam ser realizados.

Assim, os ensaios de adsorção foram conduzidos utilizando adsorventes com faixa granulométrica variando entre 63 a 200 μm , em frascos enlenmeyer de 250 mL em uma Mesa agitadora Orbital a 240 rotações por minuto (rpm). Todos os ensaios foram realizados em replicata ou duplicata. As amostras foram centrifugadas a 2000 rpm durante 15 minutos, posteriormente filtradas, em filtro para seringa Titan 3 da Thermo Scientific com poro de 45 μm e diâmetro de 17 mm, para então serem diluídas e realizada a leitura espectrofotométrica a 220 nm.

Testes preliminares de adsorção

Os testes preliminares foram realizados com o propósito de se verificar a viabilidade do uso dos materiais na adsorção. A partir deste, foi selecionado o melhor material adsorvente, em termos de porcentagem de remoção, para serem realizados testes mais específicos. Os ensaios em batelada foram conduzidos em frascos utilizando-se 100 mL da solução de nitrato com concentração de 20 mg/L de nitrato expresso em nitrogênio $\text{NO}_3^- - \text{N}$, além da adição de 100 mg dos adsorventes (MAO e SGA).

Posteriormente foram retiradas alíquotas de 12 em 12h, em um total de 48 h, para fazer a leitura espectrofotométrica, de maneira a verificar as variações na concentração inicial ao decorrer do tempo. Este teste indicou qual dos dois adsorventes obteve eficiência mais significativa na remoção de nitrato.

Determinação do efeito da dosagem do adsorvente

O efeito de massa adsorvente na remoção do nitrato foi estudada utilizando diferentes massas de argila, no intuito de definir qual quantidade utilizada nos testes será necessária para remover o contaminante de acordo com os padrões exigidos pelas legislação. Para isso, foram utilizadas seis massas diferentes (50, 100, 150, 200, 250 e 300 mg), contendo 50 mL de solução em cada frasco. As alíquotas foram retiradas após 24h. Como em todos os ensaios realizados, as amostras foram centrifugadas a 2000 rpm durante 15 minutos, filtradas e posteriormente diluídas em água desionizada.

Determinação do efeito do pH da solução

O pH da solução adsorvente é um dos fatores interferentes no processo de adsorção. Deste modo, estudou-se o efeito do pH na adsorção de nitrato através de ajustes no pH com soluções de HCl e NaOH para valores pré-determinados (2, 4, 6, 8 e 10). Nesse ensaio utilizou-se 250 mg de argila, quantidade determinada nos testes de dosagem de adsorvente, imerso em 50 mL da solução de nitrato. As amostras foram deixadas sob agitação (240 rpm) por 24 h, foram então, centrifugadas, filtradas e diluídas, com isso, calculou-se a porcentagem de remoção de nitrato em diferentes valores de pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ponto de Carga Zero

Uma importante caracterização para materiais adsorventes em meio aquoso é o ponto de carga zero (PZC). Esse parâmetro consiste na determinação de um valor de pH do meio em que um sólido apresenta carga eletricamente nula em sua superfície, isto é, o número de cargas positivas é igual ao número de cargas negativas (LESSA, 2018).

Na Tabela 1 estão dispostos os dados obtidos nos ensaios de PCZ feitos com a MAO. A tabela contém os valores de pH inicial (pHi), variando entre os 11 pontos considerados, contra os valores de pH final (pHf) do meio, obtidos após 24 h de contato do adsorvente com as soluções de pHi.

Tabela 1 – Tabela PZC obtida para a MAO.

pH Inicial	pH Final
1	1,2
2	1,94
3	2,7
4	4,36
5	4,83
6	5,24
8	5,42
9	5,64
10	5,71
11	6,39
12	10,15

Os valores obtidos de PZC indicaram uma mudança na carga superficial do adsorvente avaliado no valor de pH igual a 5,5. Ou seja, o adsorvente em meio aquoso ácido ($\text{pH} < 5,5$) tem sua carga superficial positiva, favorecendo a adsorção de contaminantes aniônicos, que é o caso do nitrato. Ao contrário, em $\text{pH} > 5,5$ as cargas superficiais da argila são predominantemente negativas, dessa forma a adsorção de cátions é potencializada, tais como metais pesados. O ponto de mudança de carga pode ser melhor observado na Figura 3.

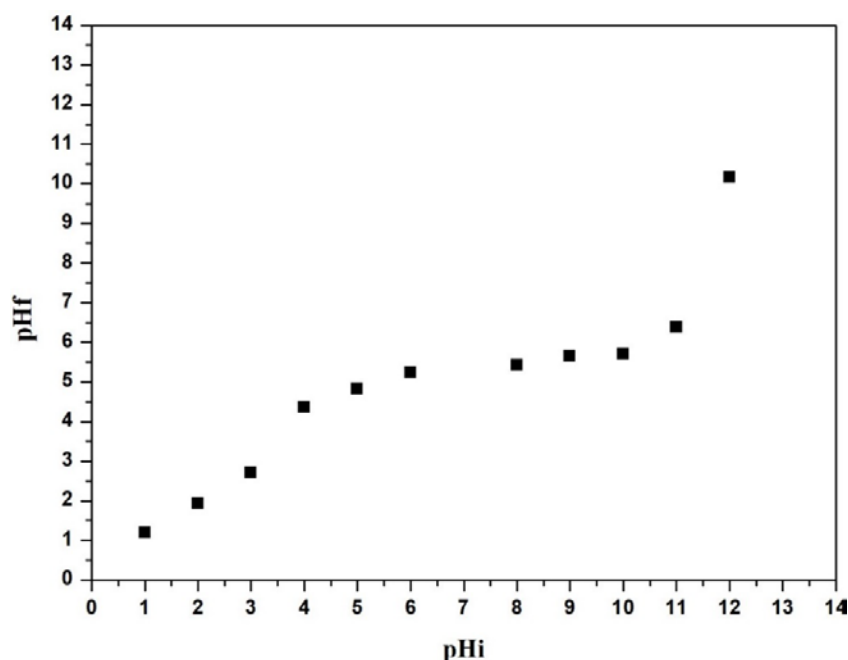


Figura 3 – Gráfico PZC obtido para MAO.

Comportamento semelhante foi observado por outros autores como: Faria (2015), que avaliou o PZC de uma argila montmorilonita acidificada e obteve um valor de pH 6,57. Observa-se que o PZC obtido é superior ao do material funcionalizado com octadecilamina e com aminopropiltrietoxisilano do presente estudo, essa variação no ponto de carga zero pode ser explicada devido a existência dos grupamentos amino.

Werneck (2018) encontrou um valor de pH 4,4 para uma argila bentonita in natura, o que indica que as modificações realizadas na superfície da argila resultam em variações em seu ponto de carga zero. Os valores encontrados na literatura são semelhantes ao PZC do presente estudo, corroborando a validade do experimento.

Testes preliminares de adsorção

O percentual de remoção de nitrato, nos testes de adsorção em batelada para os adsorventes modificados MAO e SMA para as concentrações de 20 mg/L nitrato, expresso como nitrogênio ($\text{NO}_3\text{-N}$) são apresentados graficamente na Figura 4.

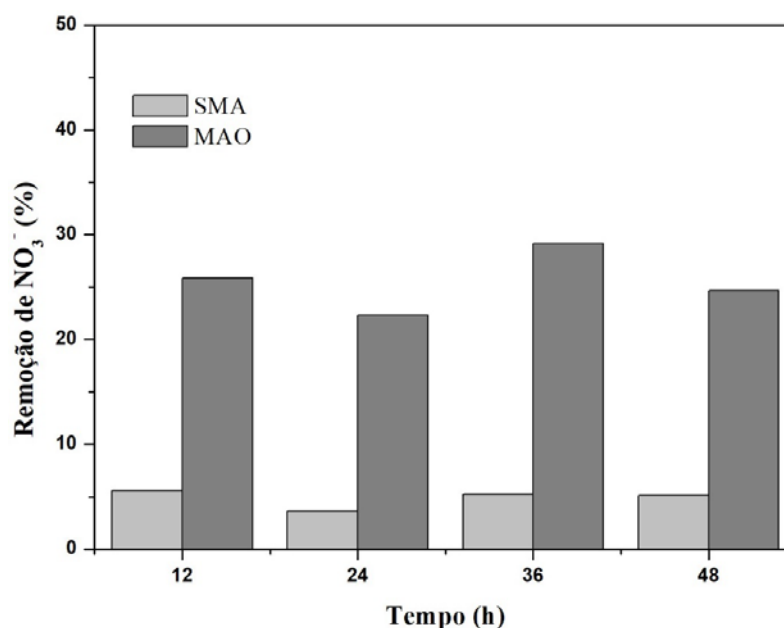


Figura 4 – Percentual de remoção de nitrato utilizando os adsorventes SMA e MAO.

O teste para a sílica modificada (SMA), indicaram uma baixa afinidade para a adsorção de nitrato em solução aquosa, com percentuais de remoção bem abaixo do esperado, não ultrapassando 6%, inclusive para a argila modificada (MAO), as quais obtiveram resultados menos significativos do que as citadas por Bhardwaj *et al.* (2012), Bagherifam *et al.* (2014) e Duarte (2016), visto que os percentuais de remoção obtidos nesse teste foram de aproximadamente 30%.

No entanto, dentre os adsorventes analisados o que demonstrou possuir maior seletividade para o ânion nitrato, foi a MAO, a qual merece ser analisada neste estudo. Logo, estudos mais detalhados como dosagem do adsorvente, efeito do pH e cinética, serão avaliadas ao longo deste estudo utilizando a argila, a fim de obter resultados mais significativos.

Determinação do efeito de dosagem do adsorvente

A capacidade de remoção de nitrato em solução aquosa foi determinada, relacionando-se a capacidade de remoção do adsorvente (MAO) em função da massa do adsorvente, para um volume de solução de 50 mL com concentração de 20,0 mg/L de nitrato, expresso como nitrogênio (NO_3^- -N) (Figura 5).

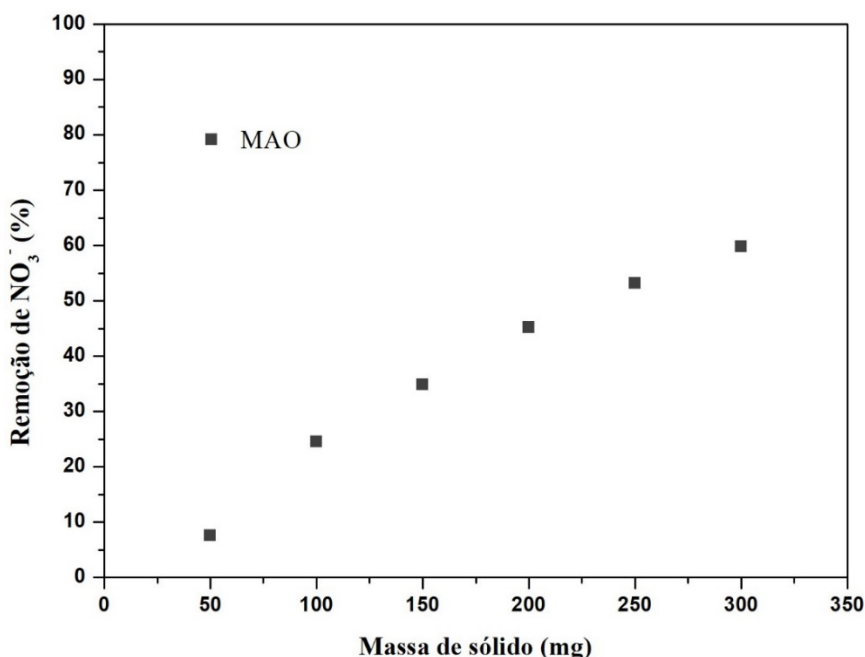


Figura 5 - Percentual de adsorção de nitrato em batelada usando diferentes massas (mg) do MAO.

Com o aumento da massa da argila aminofuncionalizada MAO (0,05 a 0,3 g) percebe-se que a porcentagem de remoção aumentou variando de 7,6 % a 59,8%. Percebe-se que a medida que ocorre um aumento da dosagem de adsorvente, uma maior porcentagem de remoção pode ser observada. Fato este, que ocorre devido a maior disponibilidade de sítios de interação presentes no adsorvente.

Através do teste de dosagem do adsorvente, foi possível inferir que a porcentagem de remoção da MAO (Figura 5) aumenta conforme aumenta a massa de adsorvente, chegando a 59,8% de remoção no valor de 0,3 g de adsorvente. Entretanto o experimento de dosagem do adsorvente tem por objetivo verificar se, com o aumento da dosagem do adsorvente é possível remover o poluente em níveis aceitáveis de acordo com a legislação vigente (NASCIMENTO *et al.*, 2014; DUARTE, 2016). Portanto no estudo em questão foi utilizado concentrações de montmorilonita de 0,25 g nos ensaios em batelada, o qual demonstrou remoções de nitrato acima de 50%, que é aceitável a níveis de potabilidade segundo a Portaria de Consolidação nº 05/17 do Ministério da Saúde para consumo humano.

Determinação do efeito do pH da solução

As porcentagens de remoção na adsorção de nitrato utilizando MAO a partir de soluções aquosas em valores de pH 2, 4, 6, 8 e 10 são mostradas na Figura 6. As maiores porcentagens de remoção, como previsto pelos ensaios de PCZ, foi observada em pH ácido (pH 4 e 6) chegando a 69,7%. Ainda assim, os valores obtidos nos pHs estudados não variaram consideravelmente, mantendo certa constância. Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura (HARO, 2012; KEHL, 2015).

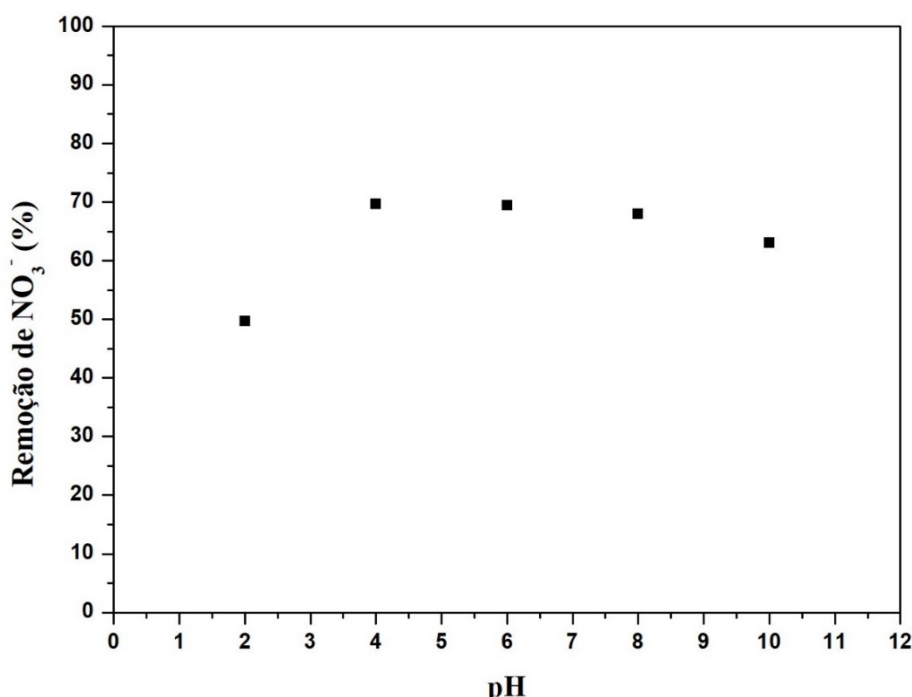


Figura 6 - Remoção do ânion nitrato por MAO em diferentes valores de pH.

Nos valores de pH ácido, as porcentagens de remoção são maiores visto que as moléculas de nitrato são aniônicas (carregadas negativamente), enquanto que os sítios de adsorção da argila de carga positiva, em pH ácido, são carregados positivamente

CONCLUSÕES

Por meio dos testes preliminares observou-se que a nanoargila com superfície modificada com aminopropiltrietoxissilano e octadecilamino demonstrou ser a mais eficiente, quando comparada a uma sílica modificada com 3-aminopropiltrietoxissilano, na remoção de nitrato por adsorção (aproximadamente 30%), nas condições de teste, sendo assim o adsorvente escolhido para a realização de estudos mais detalhados.

As melhores remoções foram encontradas em pH ácido, situação prevista pelo Ponto de Carga Zero detectado (5,5), visto que o nitrato tem sua superfície carregada negativamente.

Os experimentos de adsorção realizados, demonstraram que uma argila montmorilonita aminofuncionalizada consegue adsorver satisfatoriamente o nitrato em solução aquosa, com remoções de até 70%, possibilitando seu uso no tratamento de águas de abastecimento contaminadas com essa espécie química.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de Compostos de Nitrogênio em Águas de Poços. **Revista Saúde Pública**, v. 32, p. 160 – 165. São Paulo, 1998.
2. BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
3. BAGHERIFAM S.; KOMARNENI, S.; LAKZIANB A.; FOTOVAT A.; KHORASANI R.; HUANG W.; MA J.; HONG S.; CANNON FRED S.; WANG Y. Highly selective removal of nitrate and perchlorate by organoclay. **Applied Clay Science**, v. 95, p. 126-132, 2014.
4. BHARDWAJ, D.; SHARMA, M.; SHARMA, P.; TOMAR, R. Synthesis and surfactant modification of clinoptilolite and montmorillonite for the removal of nitrate and preparation of slow release nitrogen fertilizer. **Journal of Hazardous Materials**, v. 227, p. 292-300, 2012.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação n.º 5/2017**.

6. DOUNG, D. Do. **Adsorption analysis: equilibria and kinetics**. Imperial College Press, 1998.
7. DUARTE, Iara Jennifer M. **Argilas montmorilonitas modificadas aplicadas na adsorção do ânion nitrato em fase aquosa**. Fortaleza, 2016. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal do Ceará.
8. FARIA, L. A. S. **Síntese, caracterização e estudo do processo de adsorção de filmes de nanocompósitos de Pvd/Argila**. Ilha Solteira, 2015. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista.
9. GOLIE, W. M; UPADHYAYULA, S. An investigation on biosorption of nitrate from water by chitosanbased organic-inorganic hybrid biocomposites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 97, p. 489–502, 2017.
10. HARO, Nathalia K. **Avaliação da remoção de íons nitrato utilizando carvão ativado modificado com diferentes reagentes com o sólido sorvente**. 2011.44 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
11. KEHL, C. C. P. L. **Remoção de nitrato amoniacal por adsorção em carvão ativado**. Porto Alegre, 2015. Monografia (Graduação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
12. LESSA, R. S. F. **Remoção de corantes azos aniônicos por adsorção em sílica gel funcionalizada com 3- aminopropiltriethoxysilano**. Fortaleza, 2018. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará.
13. 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 – 374, 2013.
14. NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. 542 **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 543 2014.
15. RAJESWARI, A. AMALRAJ, A. PIUS, A. Adsorption studies for the removal of nitrate using chitosan/PEG andchitosan/PVA polymer composites. **Journal of Water Process Engineering**, v.9, p. 123 – 134, 2016.
16. REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. **The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation**. University of Illinois: Chicago, 2004.
17. WERNECK, G. O.; REIS, A. L.; DANIEL, K. T.; MELGAR, L. Z. Determinação do ponto de carga zero de adsorventes utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas. **15º Congresso Nacional de Meio Ambiente**. Poços de Caldas, 2018.