

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Léo Patry
Ricardo Ribeiro da Cruz

Biorreator para a remoção de nitrato em desconformidade com a legislação de potabilidade em água de poço.

São Paulo
2020

Léo Patry
Ricardo Ribeiro da Cruz

Biorreator para a remoção de nitrato em desconformidade com a legislação de potabilidade em água de poço.

Trabalho de Conclusão de curso

Área de Concentração: Engenharia Química

Orientador: Prof. René Peter Schneider

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ribeiro da Cruz, Ricardo; Patry, Léo

Biorreator para a remoção de nitrato em desconformidade com a legislação de potabilidade em água de poço. R. da Cruz; L. Patry -- São Paulo, 2020.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Biorreator 2.Desnitrificação 3.Potabilidade.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

Resumo

PATRY, Léo. R. DA CRUZ. Ricardo. Biorreator para a remoção de nitrato em desconformidade com a legislação de potabilidade em água de poço. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020

O nitrato é o contaminante mais presente em águas subterrâneas pois é um nutriente presente na composição de fertilizantes. Tendo em vista que a agricultura é um dos setores mais fortes da economia brasileira, a contaminação de nitrato não tende a diminuir, sendo que em muitas das áreas rurais, afastadas dos centros, o tratamento é inadequado ou inexistente.

Neste trabalho tínhamos como objetivo desenvolver um biorreator que é capaz de despoluir água de poço contaminada com nitrato. Como forma de analisar o protótipo, ele irá ser testado em diferentes concentrações da fonte de carbono de entrada. Como fonte de carbono na entrada, foi utilizado etanol e nitrato de sódio como fonte do contaminante. Após o estabelecimento do sistema, buscou-se sua otimização e uma mudança de escala para adaptá-lo a uma situação real.

Entretanto, devido ao advento da pandemia de COVID-19, o trabalho necessitou ser interrompido e, assim, foram deixadas sugestões de experimentos para dimensionar as influências de parâmetros como contaminação de etanol e presença de oxigênio na coluna de desnitrificação. Assim, dos resultados que foram coletados, pôde se concluir que a coluna de desnitrificação apresenta biofilme, mas ainda não satisfaz os requisitos de potabilidade presentes na legislação vigente.

Palavras-chave: Biorreator. Desnitrificação. Potabilidade.

Abstract

PATRY, Léo. R. DA CRUZ. Ricardo. Biorreator for nitrate remotion when in disagreement with current legislation of potability of groundwater . Tese (Doutorado) – Trabalho de Conclusão de Curso – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020

The nitrate is the most present contaminant in groundwater, because it is in the composition of great part of fertilizers. Given that agriculture is one of the strongest sectors of brazilian economy, the contamination doesn't tend to decrease, and in many rural areas, away from urban centers, the groundwater treatment is inadequate or nonexistent.

In this project it had as objective develop a biorreator able of clean up nitrate contaminated well groundwater, making it drinkable. As a form of analyze the prototype, it will be tested in differents carbon concentrations at the input current. Ethanol and NaNO_3 were used as carbon and nitrate sources and the denitrifying bacteria were selected through inoculation. After setting up the definitive system, it was searched its optimization and adaptation to a real situation.

However, due to the advento of the COVID-19 pandemic, it was necessary stop this project and, then, experiments to scale the influences of parameters like etanol contamination and the presence of oxigen in the column were suggested. So, it was possible to conclude from the data that was collected, that the column presents biofilm, but does not satisfact the potability requirements presented in the acurrent legislation.

Keywords: Biorreator. Denitrification. Potability.

Lista de Figuras

Figura 1 - Ciclo do nitrogênio.....	9
Figura 2 - Etapas de desnitrificação.....	11
Figura 3 - Esquema de biorreator de biofilme.....	12
Figura 4 - Etapas da formação de um biofilme.....	13
Figura 5 - Perfis de concentração no limite de um biofilme.....	13
Figura 6 - Esquema de bombeamento utilizado no experimento.....	16
Figura 7 - Equipamentos utilizados no controle de vazão.....	16
Figura 8 - Desempenho da coluna em regime permanente para diferentes concentrações de etanol.....	18
Figura 9 - Esquema para testar a influência da presença de oxigênio na eficiência da coluna de desnitrificação.....	19
Figura 10 - Esquema para testar a influência da contaminação do etanol na eficiência da coluna de desnitrificação.....	19

Sumário

1. Introdução.....	8
2. Revisão Bibliográfica	
2.1. Contaminação de nitrato e desnitrificação.....	9
2.2. Tratamento atual e uso de biorreatores de biofilme.....	11
3. Materiais e Métodos.....	15
4. Resultados e discussão.....	17
5. Conclusão.....	20
6. Referências.....	21

1. Introdução

O nitrato é o contaminante encontrado com mais frequência na água subterrâneas^[1]. Em concentrações superiores a 10mg/L, valor adotado como limite de potabilidade pela SABESP^[2], pode causar metahemoglobinemia - também conhecida como síndrome do bebê azul - e câncer. Entretanto, pouco se sabe a respeito das consequências decorrentes do consumo a longo prazo desse contaminante, e de seus efeitos sinérgicos com pesticidas e/ou contaminantes microbianos^[3], com os quais é mais naturalmente associado.

Um dado recente levanta preocupação com o aumento dos níveis de íon nitrato na água potável em território nacional^[4], particularmente em água de poços em localidades rurais, sendo a principal fonte deste nitrato a lixiviação de terras cultivadas para os rios e fluxos de água.

Amplamente utilizado em fertilizantes agrícolas, ele também possui como fontes a criação de animais, os sistemas de saneamento in situ, tanques sépticos e fossas rudimentares. Esse estado tende a se agravar na medida que o setor agrícola contribui com grande parte da economia nacional, assim, o uso intensivo de agrotóxicos tende, a longo prazo, elevar esses níveis de contaminação.

Dentre as técnicas de tratamento de água, utilizam-se filtros de troca iônica e técnica de osmose reversa para remoção de nitrato de água subterrânea, modelos que muitas vezes não estão acessíveis às pessoas de regiões rurais, justamente onde a contaminação ocorre mais expressivamente.

Paralelamente, biorreatores vêm sendo usados para o tratamento de efluentes residenciais e industriais, sendo escolhidos em detrimento de técnicas tradicionais, como a de lodo ativado. Sua utilização proporciona vantagens como a ocupação de menos espaço e a produção de efluentes de alta qualidade, por exemplo^[6].

Como biorreatores, os chamados biorreatores de biofilme surgem como opção simples para remediar o problema, pois dispõem de várias formas de se organizar o sistema e a escolha do material de suporte influencia diretamente nisso. O material pode ser inerte (espuma de poliuretano) ou podem servir atuar também como fonte de carbono (bagaço de cana).

Deve-se ressaltar também que como o processo é anaeróbio, a presença de oxigênio dissolvido no efluente acaba por diminuir a eficiência do processo de degradação do contaminante^[7]. Além disso, a fonte de carbono, caso não seja consumida, pode vir a ser tornar um contaminante na saída do biorreator.

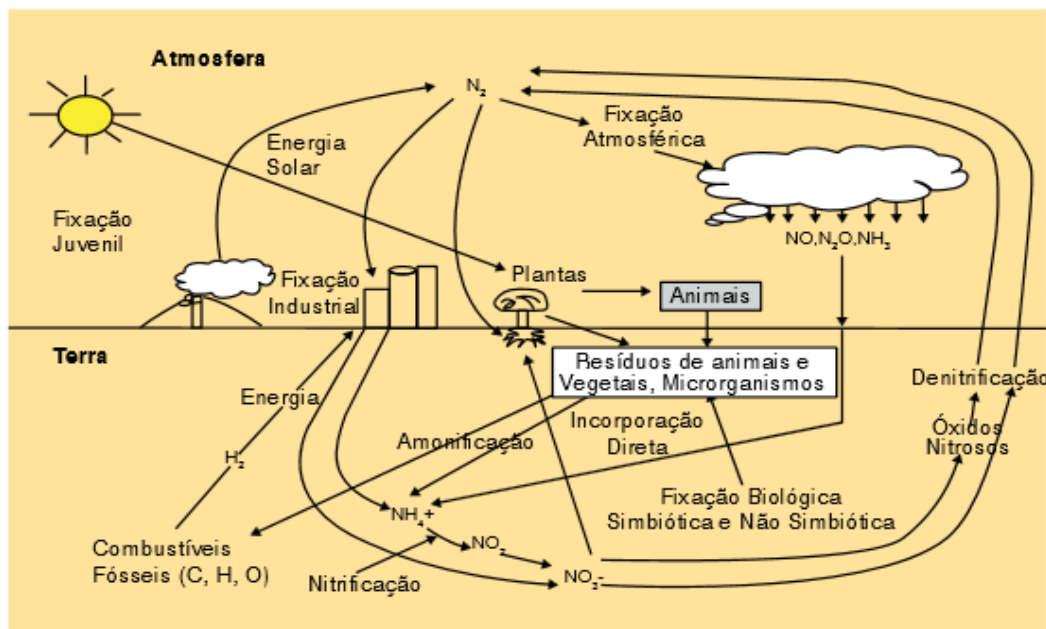
Nesse trabalho de conclusão de curso, buscou-se se desenvolver um biorreator com o propósito de se degradar nitrato de poço, analisando diferentes tipos de materiais de suporte e conformações do sistema a fim de se maximizar a eficiência de degradação.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Contaminação de nitrato e desnitrificação

O nitrogênio, elemento químico com maior porcentagem molar na atmosfera na forma de gás (N_2), também é presente na forma de outras substâncias na biosfera, em que o conjunto de transformações dos compostos nitrogenados está contido no ciclo do nitrogênio, como mostrado na figura 1 [8].

Figura 1 - Ciclo do nitrogênio



Fonte: VIEIRA, Rosana F. *Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas* [8]

Observa-se, a partir da figura, que a presença de nitrogênio no solo se dá através de: amônia, nitrito, nitrato e óxidos nitrosos. Também pode-se notar que grande parte das transformações que esse elemento passa para chegar ao solo ocorre naturalmente, diretamente da atmosfera - por incorporação direta, - pela amonificação ou através da fixação biológica do nitrogênio [8]. Entretanto o processo não natural é responsável por, aproximadamente, 10 % da entrada de N na terra, em termos globais, e a produção industrial contribui com a maior porção.

Dentro do escopo do processo natural, a amonificação ocorre em organismos heterótrofos, aeróbios ou anaeróbios, cuja fonte de carbono é de origem vegetal. Nesse processo, compostos orgânicos de nitrogênio são convertidos em inorgânicos. Primeiramente, ocorre o processo enzimático de quebra dos compostos em pedaços menores, os quais podem ser absorvidos pelos microrganismos, ou mineralizados até amônio (NH_4^+).

Já a fixação biológica ocorre pela ação de organismos de vida livre e em associações com diferentes graus de complexidade com as plantas, em que o gás nitrogênio (N_2) é transformado diretamente em amônia, utilizando-se da enzima nitrogenase, como visto na reação presente na expressão 1 [8], em que P representa

uma molécula de fosfato. A enzima é importante para poder se quebrar a tripla ligação presente na molécula gasosa.

Nitrogenase

↓



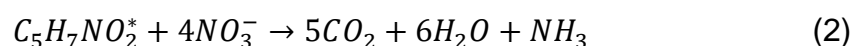
Quando o processo se dá em organismos associados a leguminosas, esse processo é chave para a sustentabilidade agrícola devido ao seu reduzido impacto no ambiente, em relação à utilização de fertilizantes nitrogenados. A produção desses fertilizantes, envolve, em alguma etapa, a síntese química da amônia através do processo Haber-Bosch, a qual gera grandes quantidades de CO₂, um gás de efeito estufa^[8].

Em uma etapa sequencial, a amônia é oxidada a nitrato através da nitrificação, realizada por microrganismos quimiotróficos, tanto do domínio Bacteria, quanto do domínio Archaea, ocorrendo de diferentes formas no interior desses organismos. Atualmente acredita-se que o cultivo intensivo de terras, ainda que sem a aplicação de fertilizantes ou esterco, facilite a oxidação do nitrogênio para nitrato em matéria orgânica em decomposição no solo pelo aumento da aeração e umidade. A forma reduzida de nitrogênio se oxida no solo para nitrato, a qual, sendo móvel, migrará para a água subterrânea, onde dissolve-se na água e é diluída.

Aliando-se à contaminação proveniente do setor agrícola e de rejeitos industriais, existe a contaminação resultante da falta de saneamento básico em grande parte das residências brasileiras. Embora tenha havido um avanço na abrangência do serviço, 49% da população nacional ainda carece desse serviço^[4], fazendo com que uma grande quantidade de compostos orgânicos seja inadequadamente despejado no solo.

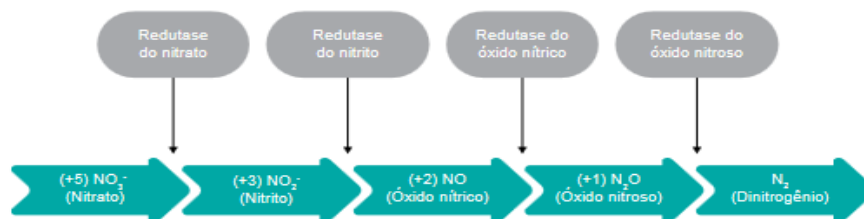
Já o processo de desnitrificação em si é definido classicamente como o conjunto de reações químicas que caracterizam a redução microbiológica de nitrato para óxido nitroso (N₂O) ou N molecular (N₂). Essa definição é considerada insatisfatória, atualmente, uma vez que está bem estabelecido que os óxidos gasosos de N são também produzidos durante a nitrificação e durante a redução microbiana do nitrato para amônio.

Sendo assim, define-se a desnitrificação como uma redução respiratória do nitrato ou nitrito para as formas gasosas de NO, N₂O ou N₂, acoplada à fosforilação durante o transporte de elétrons. Isto significa que na ausência de oxigênio para a respiração aeróbia normal, os microrganismos adotam o nitrato como acceptor terminal de elétrons, naquilo que é denominado, respiração anaeróbia, como exemplificado na expressão 2^[9]. Ela compreende uma sequência de reações de redução do nitrogênio, como visto na figura 2^[8], com suas respectivas enzimas.



* C₅H₇NO₂ = Composição típica de célula bacteriana

Figura 2 - Etapas de desnitrificação^[8]



Fonte: VIEIRA, Rosana F. *Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas*^[8]

A desnitrificação de nitrato para nitrogênio gasoso, N₂, e o consumo de nitrato pelas plantas podem ocorrer em áreas florestadas que separam as fazendas de agricultura dos fluxos de água, portanto, baixando o risco de contaminação em áreas com significativa vegetação. Áreas rurais com alto aporte de nitrogênio, solos bem drenados e de pouca vegetação são um risco particular para a contaminação de nitrato em águas subterrâneas. Apesar da diversidade de bactérias desnitrificadoras presentes no solo, elas são dominadas por membros do gênero *Pseudomonas*. As bactérias desnitrificadoras compreendem cerca de 0,1 a 5 % da população de microrganismos total dos solos.

Vários fatores do meio podem afetar a eficiência do processo de desnitrificação, como a presença de oxigênio, pH, temperatura, a qualidade e quantidade de fontes de carbono, por exemplo. O primeiro é bastante decisivo, uma vez que, com altas concentrações de O₂, o metabolismo aeróbico dos desnitrificadores é favorecido, de modo que a redução do NO₃⁻ não ocorre.

Tendo em vista o processo de desnitrificação, se deseja que a quantidade de oxigênio dissolvido no interior de um biorreator seja tão pequena quanto possível. Plosz et al^[7] constatou que a presença de oxigênio dissolvido não afeta somente o metabolismo das bactérias desnitrificantes, mas também afeta, em quantidade suficiente, cineticamente o processo, agindo como inibidor na taxa da reação.

A temperatura influencia tanto no crescimento bacteriano, quanto na atividade enzimática do processo, em que o processo ocorre entre 0°C e 50°C com seu valor ótimo entre 35°C e 50°C. Já o pH também tem influência sobre a atividade enzimática, sendo que valores próximos à neutralidade são preferenciais ao processo.

2.2. Tratamento atual e uso de biorreatores de biofilme

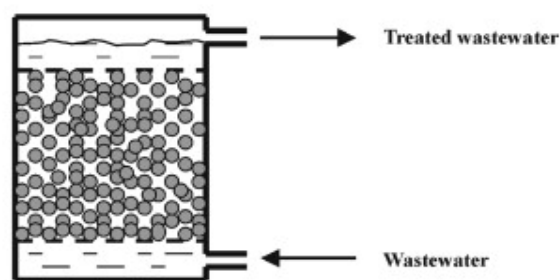
Existem poucas técnicas convencionais que podem ser aplicadas ao tratamento de águas para abastecimento contaminadas por nitrato. O principal processo que pode ser aplicado para remoção de nitrato é a troca iônica, a qual possui elevados custos, e, assim, novas técnicas mais acessíveis começaram a ser implementadas.

O interesse em desenvolver tecnologias com base biológica tem aumentado consideravelmente, sendo que existem várias formas de se configurar um reator biológico e a janela de aprimoramento econômico desses processos ainda é considerável^[9]. O sistema de lodos ativados é um exemplo de tratamento biológico, em que se exige uma alta qualidade do efluente tratado, porém com uma elevada área necessária para tratamento.

Biorreatores podem ser definidos como um recipiente em que ocorre cultivo de microrganismos sob controle das condições ambientais, como pH, temperatura e oxigênio dissolvido. Há diversos tipos de biorreator, em que as configurações variam, em sua maioria, na forma que o oxigênio é introduzido e na configuração dos microrganismos dentro dele.

Como foco desse trabalho, um reator de biofilme se é nomeado dessa forma pela condição em que ocorre o crescimento de microrganismos em seu interior. Esses ficam imobilizados em seu interior, agregados a um material de suporte, onde ocorre a formação do biofilme. Na figura 3^[11], encontra-se um esquema de biorreator de biofilme utilizado para tratamento de água contaminada, em que o material de suporte é esférico,

Figura 3 - Esquema de biorreator de biofilme



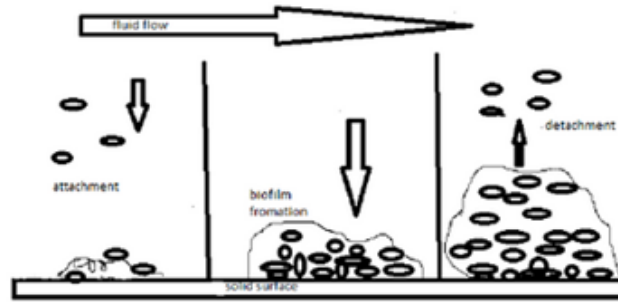
Fonte: Luis F. Melo, 20 - Biofilm formation and its role in fixed film processes^[11]

Biofilmes consistem de três componentes, o microrganismo em si, uma matriz polimérica extracelular e uma superfície para adesão. A matriz é constituída de substâncias excretadas pelas próprias bactérias e tem como funções a manutenção dos microrganismos juntos e presos ao material de suporte. Além disso, eles conseguem prender nutrientes escassos e proteger as bactérias de substâncias biocidas.

A figura 4^[12], ilustra as principais etapas não desenvolvimento do biofilme, sendo a primeira a adesão ao material de suporte, seguida do crescimento até a fase final, em que o biofilme entra em regime permanente, em que microrganismos se agregam e desagregam do biofilme constantemente. Características do biofilme são determinadas tanto por fatores genéticos quanto do meio em questão.

O escoamento dentro do reator possui grande influência sobre a estrutura do biofilme, em que a estabilidade e densidade desses tende a ser maior em um meio capaz de realizar maior força de cisalhamento e/ou com maior colisão entre partículas. O inverso também é válido, em que biofilmes formados em meios com menor “força de separação” tendem a ser mais porosos, heterogêneos e frágeis.

Figura 4 - Etapas da formação de um biofilme



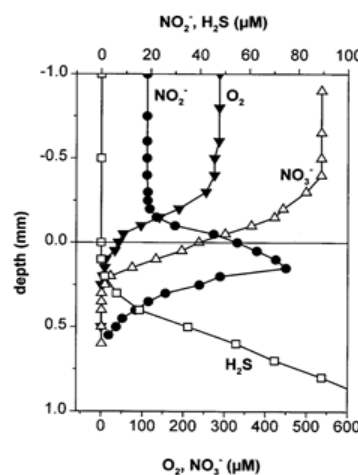
Fonte: Br, Veena & Shetty, Vidya & Saidutta, M B. (2013). *Characterisitcs of biofilms in bioreactors-A review*.^[12]

No caso de um processo de desnitrificação, estabelece-se um perfil de concentrações dos compostos nitrogenados na região do biofilme. Em suma, forma-se uma camada limite na interface, em que, como o nitrato é primeiramente convertido em nitrito no processo, a concentração desse último é maior em regiões próximas ao biofilme, vindo a diminuir já no interior desse. Na figura 5^[13], mostra-se um perfil de concentrações no biofilme de um processo de desnitrificação de um efluente industrial.

Na condição da figura, os microrganismos da região mais externam do biofilme possuem metabolismo aeróbio, assim, a concentração de O_2 diminui até se tornar nula no interior. Já no interior, as bactérias são anaeróbias, utilizando NO_3^- e SO_4^{2-} como aceptores finais de elétrons, fazendo com que a concentração de H_2S comece a aumentar - segundo a reação presente na expressão 3^[17] - em seu interior e a de nitrato diminuir.



Figura 5 - Perfis de concentração no limite de um biofilme



Fonte: de Beer D, Schramm A, Santegoeds CM, Kuhl M.. *A nitrite microsensor for profiling environmental biofilms*.^[13]

Já o material de suporte pode tem muita influência sobre a estrutura do biorreator, em que ele pode ser constituído de material inerte, ou pode conter a fonte de carbono. Enquanto, na primeira forma, o sistema irá necessitar de uma fonte externa de carbono, no segundo o sistema não necessita. Entretanto, para o segundo caso, a espessura do biofilme pode dificultar a distribuição de nutrientes para os microrganismos de sua superfície.

A utilização de materiais verdes, como bagaço de cana, como material de suporte em biorreatores, mostra que há oportunidades de tornar o processo ainda mais sustentável. Para o tratamento de cromo^[16], a utilização de bagaço levou a resultados encorajadores, e dada sua condição de derivado da produção de etanol, sua utilização como material de suporte representar uma alternativa mais vantajosa economicamente,

3. Materiais e Métodos

Primeiramente, buscou-se um método analítico para avaliar a presença de nitrato em soluções aquosas. Optou-se por fazer as análises por espectrofotometria com radiação ultravioleta, em que o comprimento de onda característico para o nitrato é 220 nm. Além disso, para avaliar a presença de matéria orgânica na solução é avaliada utilizando o fator da absorbância da solução no comprimento de onda de 275 nm como comparativo.

$$V = V_1 - 2V_2 \quad (3)$$

Na expressão 3, V_1 representa a absorbância da solução quando submetida ao comprimento de onda de 220 nm; V_2 representa a absorbância para o comprimento de 275 nm. Caso se obtenha um valor V de 10% menor do que o valor de V_1 , o método de análise não deve ser usado, pois isso indica que há excesso de matéria orgânica na solução^[18]. Para as análises desse trabalho, foi utilizado um espectrofotômetro UV-vis (Varian Cary 50).

Outro fator, foi o método de cultivo das bactérias atuantes na desnitrificação das soluções. Decidiu-se, realizar o cultivo através da criação de inóculos a partir de uma porção de água do Lago da Biologia (USP) e de uma amostra de reator UASB de ETE (estação de tratamento de esgoto). A partir dessas porções, foi feito o cultivo a partir do controle da solução com a concentração de 2 g/L de etanol e 1 g/L de nitrato em frascos SCHOTTs fechado.

O biorreator, por sua vez, foi estruturado utilizando um tubo cilíndrico de PVC, com aproximadamente 50 cm de comprimento e 5,7 cm de diâmetro. Utilizou-se espuma de polipropileno, comercializada para filtragem com 20 ppi como material de suporte para formação de biofilme. O sistema foi estruturado de forma semelhante à figura 6, utilizando um reservatório contendo água de torneira concentrados com nitrato a 40 mg/L, e a concentração de etanol foi variada.

Para os ensaios, utilizou-se água de torneira, e, como reagentes disponibilizados pela Universidade de São Paulo, nitrato de sódio 99% e etanol absoluto. O bombeamento foi realizado através de sifonamento, e a vazão foi variada através de estrangulamento das mangueiras e controlada por um gotejador, equipamentos mostrados na figura 7. A formação do biofilme foi feita com bombeamento e recirculação dos inóculos utilizando a vazão de 15 gotas/min durante um período de uma semana.

Figura 6 - Esquema de bombeamento utilizado no experimento. (a) - Reservatório contendo água contaminada e etanol. (b) - Coluna de PVC.. (c) - Espuma de filtragem que preenche a coluna. Reservatório da água já tratada. Os elementos estão conectados por mangueiras de silicone.

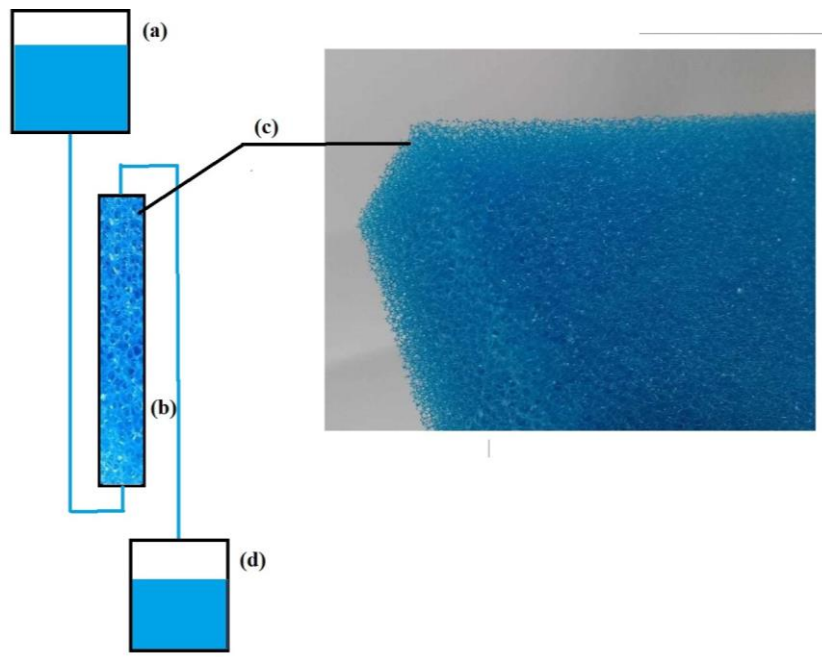
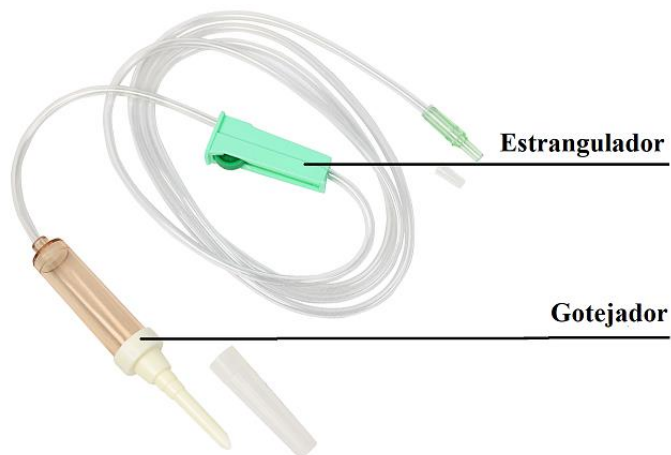


Figura 7 - Equipamentos utilizados no controle de vazão



4. Resultados e discussão

Foi realizada uma curva de calibração para a concentração de nitrato no espectrofotômetro, representada no gráfico presente na tabela 1, construída a partir da equação 4, a qual foi validada pois a diferença entre os valores de V e V1 não ultrapassou 10%. Esses dados possibilitaram a criação a equação de calibração presente na equação 3, em que C representa a concentração de nitrato e A representa a absorvância.

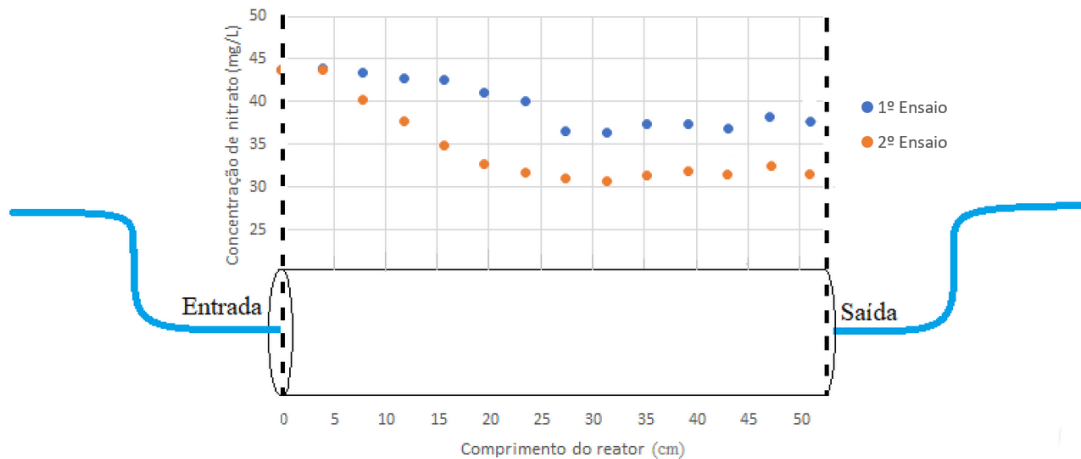
Tabela 1 - Dados coletados para construção da curva de calibração

Concentração (mg/L)	V ₁	V ₂	V	$\frac{(V_1 - V)}{V_1}$
0,5	1.975E-3	0.0010	0.0297	0.0616
1,0	3.358E-3	0.0017	0.0530	0.0589
5,0	1.5753E-2	0.0088	0.2602	0.0630
10,0	3.8524E-2	0.0185	0.5787	0.0602
20,0	6.6102E-2	0.0361	0.9939	0.0678
40,0	0.1519	0.0719	2.1700	0.0621

$$C \text{ (mg/L)} = 18.591 \cdot A + 0.091 \quad (4)$$

Paralelamente, o sistema de bombeamento foi montado e foram realizados dois ensaios de tratamento de água contaminada na coluna, em que se variou a concentração de etanol. Para os ensaios, foi construído o perfil de concentração de nitrato no reator em regime permanente, como visto no esquema da figura 8. para isso, coletaram-se amostras de água em diferentes pontos do reator.

Figura 8 - Desempenho da coluna em regime permanente para diferentes concentrações de etanol.



Percebe-se que o desempenho da coluna não está de acordo com os padrões da potabilidade, uma vez que a concentração de nitrato deve estar abaixo de 10 mg/L. Entretanto, a variação do comportamento nos dois ensaios evidencia influência da concentração da fonte de carbono no meio reacional.

Nota-se também que a região final da coluna se mostrou menos eficiente na degradação em ambos os ensaios. Uma hipótese para isso é a presença de oxigênio na coluna, reduzindo a eficiência das reações de desnitrificação. Outra hipótese para esse mau desempenho é a possibilidade de haver contaminação da solução no reservatório devido. Ambas as hipóteses não puderam ser testadas pois o advento da pandemia de coronavírus impediram que os experimentos pudessem ser realizados.

Entretanto, formas de se testar essas hipóteses foram discutidas. Para testar se a influência da presença de oxigênio no meio reacional, discutiu-se utilizar uma coluna preliminar, contendo bactérias aeróbias a fim de diminuir a concentração de oxigênio que chega na segunda coluna, onde de fato seria realizada a degradação de nitrato, como observado na figura 9.

Já para se testar se a contaminação de etanol, sugeriu-se criar um outro reservatório, sendo esta somente com etanol, porém com alta concentração. O controle da concentração da mistura ocorreria também por meio do controle da vazão e a mistura seria efetivada por uma coluna de anéis de raschig, como exemplificado na figura 10.

Figura 9 - Esquema para testar a influência da presença de oxigênio na eficiência da coluna de desnitrificação

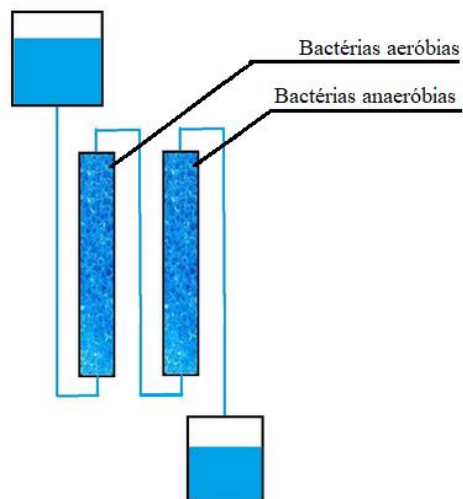
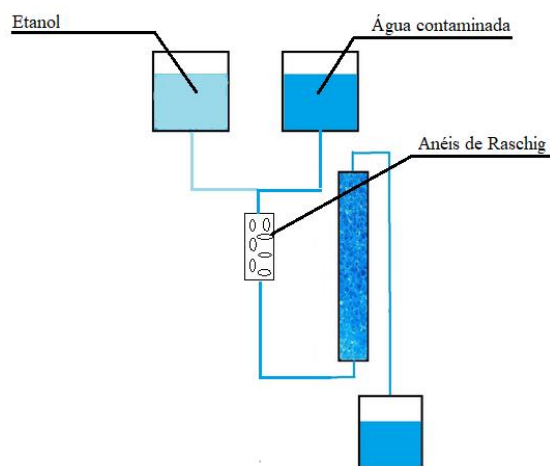


Figura 10 - Esquema para testar a influência da contaminação do etanol na eficiência da coluna de desnitrificação



5. Conclusão

A partir dos resultados obtidos nesse trabalho, conclui-se que ainda há muitas adaptações e testes a serem realizados no sistema em questão. Pôde-se observar que houve formação de biofilme na coluna, entretanto, sua efetividade na degradação de nitrato não satisfaz as normas de potabilidade vigentes. Entretanto, o advento da pandemia de COVID-19 impossibilitou a realização dos experimentos sugeridos.

Assim, sugere-se que, para futuros estudos nessa área, os parâmetros de concentração de oxigênio na coluna e a possível contaminação de etanol sejam melhor controlados e suas respectivas influências melhor caracterizadas. Para isso, propusemos novos esquemas para o sistema.

6. Referências

- [1] VARNIER, Claudia; HIRATA, Ricardo. contaminação da água subterrânea por nitrato no parque ecologico do tietê - SÃO PAULO, BRASIL. Rev. Águas Subterrâneas. Nº 16. Maio 2002
- [2] SABESP. PORTARIA Nº 2.914. DEZEMBRO DE 2011. Disponível em <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/PortariaMS29141212201.pdf>. Acesso em 20/11/2019.
- [3] Bouchard, D.C., Williams, M.K. and Surampalli, R.Y. (1992), Nitrate Contamination of Groundwater: Sources and Potential Health Effects. Journal - American Water Works Association, 84: 85-90. doi:[10.1002/j.1551-8833.1992.tb07430.x](https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1992.tb07430.x)
- [4] SILVA, Leila C.M.;BROTTO, Maria E. Nitrato em água: ocorrência e consequências. Escola Superior de Química. Faculdade Oswaldo Cruz. Disponível em <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjPkeS4jfXIAhX2FbkGHUI8CSgQFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.crea.sp.org.br%2Fbiblioteca%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F09%2FNitrato-em-agua-1.doc&usq=AOvVaw18YSVh87VjYODO_yAHs6ke>. Acesso em 20/11/2019.
- [5] LITER, tratamento de água. Disponível em <<https://liter.com.br/o-que-e-o-nitrato/>> Acesso em 20/11/2019. .
- [6] Iorhemen OT, Hamza RA, Tay JH. Membrane Bioreactor (MBR) Technology for Wastewater Treatment and Reclamation: Membrane Fouling. *Membranes (Basel)*. 2016;6(2):33. Published 2016 Jun 15. doi:10.3390/membranes6020033
- [7] Benedek Gy. Plósz, Andrea Jobbágy, C.P.Leslie Grady, Factors influencing deterioration of denitrification by oxygen entering an anoxic reactor through the surface, *Water Research*, Volume 37, Issue 4, 2003, Pages 853-863, ISSN 0043-1354.

[8] VIEIRA, Rosana F. Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas, 1ª Edição Embrapa. Brasília/BR – DF.2017. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175460/1/2017LV04.pdf>> Acesso em 20/11/2019.

[9] FLECK, Leandro. EYNG, Eduardo. REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM EFLUENTES LÍQUIDOS: UMA REVISÃO. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Rev. Eixo v. 4, nº 2, Brasília/BR – DF. Jul-Dez/2015

[10] PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Sistema de lodos Ativados. Disponível em <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/sistema-lodos-ativados/>>. Acesso em 20/11/2019.

[11] Luis F. Melo, 20 - Biofilm formation and its role in fixed film processes, Editor(s): Duncan Mara, Nigel Horan, Handbook of Water and Wastewater Microbiology, Academic Press, 2003, Pages 337-349, ISBN 9780124701007.

[12] Br, Veena & Shetty, Vidya & Saidutta, M B. (2013). Characterisitcs of biofilms in bioreactors-A review.

[13] de Beer D, Schramm A, Santegoeds CM, Kuhl M.. A nitrite microsensor for profiling environmental biofilms. Appl Environ Microbiol 63: 973-977

[14] Yuting Pan, Liu Ye, Bing-Jie Ni, Zhiguo Yuan, Effect of pH on N₂O reduction and accumulation during denitrification by methanol utilizing denitrifiers

[15] C.M. Ho, S.K. Tseng, Y.J. Chang, Autotrophic denitrification via a novel membrane-attached biofilm reactor, Lett. Appl. Microbiol. 33 (2001) 201–205

[16] Wan Ahmad, Wan Haslinda & Jong, Bor Chyan & Zakaria, Zainul & Ahmad, Wan. (2015). Sugarcane bagasse as nutrient and support material for Cr(VI)-reducing biofilm. International Biodeterioration & Biodegradation. 102. 10.1016/j.ibiod.2015.03.007.

[17] J. M. Odom, Rivers Singleton Jr. The Sulfate-Reducing Bacteria: Contemporary Perspectives. Springer, New York, NY. ISBN 978-1-4613-9265-1. Series Print ISSN 1432-0061

[18] P. M. Swamy, Laboratory Manual on Biotechnology, Rastogi Publications, 2008, 1ª Edição.