

I-202 - EMPREGO DO BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR PARA REMOÇÃO DE NITRATO EM AMOSTRAS DE ÁGUA SINTÉTICA

Tamires Sehnem⁽¹⁾

Acadêmica de Engenharia Ambiental, pela Universidade de Santa Cruz do Sul.

Liliane Marquardt⁽²⁾

Professora do Departamento de Engenharias da Universidade de Santa Cruz do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Rua João Sehnem, 64 - Independência - Santa Cruz do Sul - RS - 96815-350 - Brasil - Tel.: (51) 3717-3574 ou (51) 991015615 - e-mail: tamiressehnem@gmail.com

RESUMO

A escassez de recursos naturais e seus baixos reaproveitamentos vêm fazendo com que a comunidade acadêmica e científica busquem o desenvolvimento de novas alternativas para reduções de consumo. Neste contexto, considerando a baixa disponibilidade de recursos hídricos potáveis, somados a contaminação de nitrato gerada pela – entre outras fontes – demasiada utilização de fertilizantes, faz com que novas alternativas sejam desenvolvidas para tratamentos de água. Esta pesquisa buscou desenvolver uma solução de tratamento através da utilização do bagaço de cana de açúcar como meio filtrante para remoção de nitrato. Este material, além de estar amplamente disponível, suporta o fechamento do ciclo da produção agrícola, grande fonte geradora de contaminação que, por outro lado, contribuiria no tratamento. Em escala laboratorial, a contaminação da água foi realizada com a adição do composto nitrato duplo de sódio e potássio, o qual possui 15% de nitrogênio em sua composição. Diferentes níveis de pH foram testados, onde os melhores resultados foram com pH entre 6,5 e 7, apresentando uma média de remoção de 76%. Não o bastante, foram verificadas reduções acima de 90% na condutividade elétrica, mostrando que o bagaço pode ser considerado um meio filtrante de grande potencial. A utilização do bagaço da cana de açúcar é uma possibilidade relevante e bastante significativa, considerando que se trata de um material renovável, de baixo custo, não tóxico e altamente disponível. Este pode ainda ser convertido em adsorvente de valor agregado, como biochar e carvões ativados, aumentando sua taxa de adsorção.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Bagaço de Cana de Açúcar, Filtração, Nitrato.

INTRODUÇÃO

O constante aumento demográfico mundial vem provocando maiores exigências quanto às melhorias associadas às condições de vida da humanidade, o que ocasiona uma preocupação crescente sobre os recursos hídricos [1]. A água é um bem vital e apesar de ocupar a maior parte do espaço do Planeta, apenas 0,007% de sua porção dulcícola é acessível e passível de tratamento de menor custo [2]. Para o consumo humano, tornam-se obrigatórios estudos e aplicações de alguns processos de análise e tratamento, para garantir quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente [3].

A qualidade da água é determinada através de uma diversidade de parâmetros que compreendem características físicas, químicas e microbiológicas. As normas e legislações sanitárias são responsáveis por conter o valor da concentração a partir do qual o consumo de água pode oferecer riscos à saúde e ao bem-estar do ser humano [4-6]. Tais normas são embasadas na Organização Mundial da Saúde, que visa à prevenção de doenças e agravos transmitidos pela água [3].

Os recursos hídricos possuem fundamental importância em inúmeras práticas, dentre elas: doméstica, industrial, energética e agrícola. O uso agrícola destaca-se dentre os demais, pois mesmo que a água proveniente da chuva colabore com este ramo, ainda há grande desperdício deste bem durante o cultivo [7]. A agricultura é a base da economia do Brasil, que atualmente lidera a produtividade agrária na América Latina e Caribe. Além disso, apresenta índices de crescimento acima da média mundial [8].

O aumento da produtividade no setor agrário é proporcional ao crescimento populacional, porém, em decorrência disto, há maior utilização de fertilizantes (principalmente inorgânicos) para suprir estas exigências

[9]. Os fertilizantes são substâncias que possuem um ou mais nutrientes essenciais às plantas e culturas, e quando aplicados de forma correta, com a dose certa, época e local adequados, tendem a conseguir um aumento de produtividade [10].

Os fertilizantes inorgânicos mais comuns possuem em sua composição nitrogênio, fosfatos, potássio, magnésio ou enxofre [11]. Entretanto, dentre eles, os nitrogenados são os mais empregados, considerando que seu principal elemento é indispensável devido aos aminoácidos, proteínas, ácido desoxirribonucleico (DNA) e ácido ribonucleico (RNA) fornecidos [12]. O nitrogênio, ou azoto como também é conhecido, compõe aproximadamente 80% da atmosfera. Apesar disso, as plantas, animais e os seres humanos, não podem absorvê-lo diretamente do ar, as formas preferenciais de absorção são na forma de amônia solúvel em água ou nitrato, sendo em ambas as situações convertido por bactérias [13].

Em contrapartida, a utilização de nitratos proveniente da agricultura, como um produto de adubação excessiva, é uma das principais fontes de contaminação/poluição das águas no mundo, sendo um problema de caráter comum e amplamente documentado [14,15]. Além de contaminar lençóis freáticos, rios e lagos, a produção desses compostos usufrui de um alto índice energético e utiliza combustíveis fósseis como fonte [16]. As emissões geradas nesta etapa produtiva contribuem com o processo de agravamento do efeito estufa, incrementando ainda mais o aquecimento global [8].

A contaminação da água, por exemplo, está associada principalmente ao nitrato, que é a forma do nitrogênio mais abundante no solo e age de forma mais intensa em águas profundas [17]. Este fato ocorre devido ao íon NO_3^- possuir uma solubilidade elevada e grande capacidade de percolamento, sendo facilmente arrastado pela chuva e lixiviado através das camadas do solo, podendo causar a contaminação dos lençóis freáticos [18,19]. Este fato vem merecendo atenção especial, considerando que em muitos países as águas subterrâneas constituem uma fonte importante de abastecimento [20].

De acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente e o Ministério da Saúde, o azotato (nitrato) pode ter valor máximo permitido de 50 mg L^{-1} quando calculado como nitrato e 10 mg L^{-1} quando calculado como nitrogênio [4]. Esse padrão de potabilidade é regido pela Resolução de Diretoria Colegiada 274/2005 (para águas minerais) e Portaria 2914/2011 (que controla a qualidade de água para consumo humano) [5,6].

É de grande importância o conhecimento destes teores nas águas consumidas pela população, pois ao consumo deste composto em altos níveis estão associadas uma série de complicações que podem ser fatais, considerando que o nitrato reduz a capacidade de transporte de oxigênio do sangue [21]. Deve-se ter atenção redobrada com crianças menores de seis meses de idade, visto que o sistema gastrointestinal não está plenamente desenvolvido e a presença de algumas bactérias redutoras pode resultar na metamoglobina, conhecida também como síndrome do bebê azul (por ter maior ocorrência em crianças) [22,23]. Ainda, o consumo elevado de alimentos contendo nitrato ou ingestão de água com alta concentração deste íon relaciona-se vigorosamente com a incidência de câncer de estômago [24].

Neste contexto, tornam-se necessários estudos voltados ao tratamento dos meios hídricos, onde a utilização de recursos renováveis vem se intensificando de maneira a facilitar seu acesso, diminuir a escassez e obter níveis de potabilidade compatíveis com a legislação vigente [25].

De encontro a isso, uma infinidade de materiais vem sendo testados, como endocarpo de coco e fibra de banana, por exemplo, recursos muitas vezes acessíveis e pouco utilizados. Estes estudos baseiam-se em remoções biológicas e testes de filtração. Mesmo que o processo biológico apresente vantagens como baixo custo e alta eficiência, ele ocupa grande espaço para tratamento, demanda maior atenção em sua operação e, além disso, necessita de constante acompanhamento, devendo ser frequentemente abastecido com substrato para a sobrevivência das bactérias [17]. Já no processo de filtração, além de custos reduzidos, a área necessária é menor e torna-se possível interromper o processo e ativá-lo novamente a qualquer momento, tornando sua operação mais prática e simples [26].

Um recurso abundantemente disponível e com baixo – ou até nulo – aproveitamento é o bagaço da cana de açúcar [18]. Esta cultura agrícola possui extrema importância na história da humanidade devido às alterações nos planos econômicos, ecológicos e comerciais [27]. Trata-se de um recurso natural e renovável de onde podem ser obtidos: etanol, açúcar e energia, além dos subprodutos: vinhaça, bagaço, levedura seca e partículas

de cinza [28]. O interesse mundial em relação a este recurso tem aumentado significativamente nos últimos anos, devido seu impacto econômico para a produção de energia sustentável [25].

A utilização do bagaço de cana de açúcar trata-se de uma alternativa interessante do ponto de vista ambiental, considerando que é um material renovável, de baixo custo, não tóxico e altamente disponível. Estudos já mencionam fibras/bagaços como de cana de açúcar em esquemas de nano, micro e ultrafiltração, onde estas têm-se mostrado eficazes na remoção de disruptores endócrinos e metais [26].

Tal planta possui melhor desenvolvimento em climas tropicais e subtropicais, pois necessita de luz solar para seu crescimento, evolução germinativa, a rebentação e o progresso do vegetal. Por este motivo, adaptou-se muito bem nas Américas, tendo o Brasil como maior produtor universal [29].

Contudo, durante a extração do caldo de cana é gerada grande quantidade de bagaço. Sua estocagem não possui nenhuma técnica ou planejamento, ocupando grande área produtiva (Figura 1) e gerando envelhecimento deste material útil, já que é depositado aleatoriamente e não possui nenhum controle do tempo de armazenagem [30]. Ele in natura é composto, aproximadamente, por 44,5% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade, 2,5% de sólidos solúveis em água e 3% de teor de cinza [31].



Figura 1: Armazenamento do bagaço de cana de açúcar na zonal rural de Vera Cruz – RS.

Analisando a situação atual de desperdício deste material amplamente disponível, ao colocá-lo em perspectiva, é possível visualizar uma grande oportunidade de desenvolvimento de possibilidades para a aplicação deste resíduo, através de pesquisas e técnicas voltadas a este fim [32].

Em virtude disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a capacidade de remoção de compostos nitrosos em amostras de água sintética, por meio da utilização do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*). A aplicação deu-se pela confecção de um filtro em escala piloto, onde o bagaço foi o principal meio filtrante.

METODOLOGIA

O presente estudo testou e avaliou a capacidade do bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) de remover compostos nitrosos em amostras de água sintética. Para a realização deste estudo, foi utilizado um filtro em escala piloto, composto por areias e pedras, ambos com diferentes granulometrias e o bagaço de cana de açúcar, sendo este o principal meio filtrante a ser testado.

A metodologia idealizada no presente estudo levou em consideração principalmente o produtor rural, que poderia aproveitar o resíduo proveniente de sua produção, neste caso o bagaço de cana de açúcar, para tratar água contaminada com nitrato – contaminante proveniente da agricultura pelo uso demorado de fertilizantes.

FILTRO

Para facilitar a visualização das camadas filtrantes adotadas, o filtro empregado foi construído de estrutura acrílica. Este possui 60 centímetros de altura e uma área superficial equivalente a 40 centímetros quadrados,

permitindo maior contato entre a solução e os meios filtrantes, pois o despejo da amostra foi realizado manualmente, contemplando toda a área disponível. Deste modo, diminui-se a chance de ocorrência de caminhos preferenciais e a saturação do bagaço.

No fundo do filtro há uma declividade de 10° em direção à torneira utilizada para a coleta da água, permitindo maior aproveitamento da amostra.

MEIOS FILTRANTES

Todos os materiais empregados como filtrantes foram lavados com água deionizada, em função da tentativa de minimizar interferências durante a realização do procedimento experimental, pois se utilizou o mesmo solvente no preparo das amostras, na lavagem dos meios filtrantes e do filtro.

A lavagem dos materiais filtrantes foi realizada da seguinte forma: cada meio filtrante foi colocado em um balde que posteriormente foi cheio com água deionizada. Mexeu-se o material dentro desse solvente, trocou-se a água e repetiu-se o processo até que a água utilizada para lavagem ficasse menos turva. Após este processo, os materiais já poderiam ser colocados no filtro.

No caso do bagaço, além da lavagem houve um processo de submersão de 3 horas em água deionizada (Figura 2). A submersão, assim como a lavagem, foi realizada em um balde contendo água deionizada.



Figura 2: Bagaço de cana de açúcar no processo de submersão.

A determinação do tempo de retenção do bagaço em água deionizada foi baseada em testes realizados previamente. Foram estudados quatro períodos de imersão: 30 minutos, 1 hora, 2 horas e 3 horas. Percebeu-se que o tempo de submersão é proporcional a durabilidade do bagaço no filtro, ou seja, à medida que o período de submersão aumenta, a tendência do bagaço em mofar diminui.

Por se tratar do material objeto de teste e também obter uma maior área de contato, o bagaço da cana foi cortado em pedaços de aproximadamente 5 centímetros e disposto uniformemente no filtro para que não se obtivessem espaços, tampouco caminhos preferenciais. Posteriormente ele foi amassado, permitindo permanência superior da amostra durante seu percurso de filtração.

Foram adotados diferentes tamanhos de camadas para as areias e pedras, considerando que ambas possuem diferentes áreas de contato (areia > pedra). Na parte inferior do filtro foram colocados pedregulhos com a intenção de obter um fundo falso, facilitando a coleta da amostra.

A altura adotada para cada camada e a ordem disposta, está descrita na Tabela 1 e demonstrada na Figura 3, a seguir.

Tabela 1: Altura adotada para cada camada dos meios filtrantes.

Material	Diâmetro (mm)	Altura da Camada
Areia Fina	0,125 a 0,25	5 centímetros
Areia Grossa	0,5 a 1	5 centímetros
Bagaço	± 50	10 centímetros
Pedras Finas	4,8 a 9,5	10 centímetros
Pedras	9,5 a 19	10 centímetros
Pedregulhos	40 a 50	10 centímetros



Figura 3: Filtro em escala piloto com as camadas adotadas dispostas conforme Tabela 1.

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Para a execução do tratamento foi necessário o preparo de amostras de água contaminada com nitrato. A contaminação em escala laboratorial se deu através da mistura de água deionizada e diferentes concentrações (conforme Tabela 2) do composto de nitrato duplo de sódio e potássio (salitre potássico), que possui 15% de nitrogênio em sua fórmula. A temperatura em todas as situações se manteve entre 23 e 25 °C. Cada concentração foi denominada como 'Nitrato' e um número sequencial para facilitar sua identificação ao longo deste artigo.

Tabela 2: Concentrações adotadas em cada amostra.

Amostras	Concentração de Nitrato
Nitrato 1	6,5 mg L ⁻¹
Nitrato 2	8 mg L ⁻¹
Nitrato 3	9,4 mg L ⁻¹

PROCEDIMENTOS E ANÁLISES

Para uma melhor avaliação do comportamento do filtro durante a execução da filtração, o teste foi dividido em três etapas:

- Amostra referência;
- Amostras com diferentes faixas de pH; e
- Amostras com concentração crescente de nitrato.

Fez-se uma amostra referência de aproximadamente 10 mg L^{-1} de nitrato para testar a eficiência do procedimento. A passagem no filtro teve um tempo de contato de aproximadamente 5 minutos e de acordo com análise realizada na Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, apresentou resultado satisfatório, possibilitando a continuidade do experimento.

Na segunda etapa foram testadas diferentes faixas de pH – entre 6 e 7 – para apurar qual a faixa mais eficiente para a remoção do nitrato. Foram utilizadas soluções contendo de $2,2$ a $2,6 \text{ mg L}^{-1}$ de nitrato, conforme Tabela 3. Cada concentração foi denominada como ‘pH’ e um número sequencial para facilitar sua identificação ao longo deste artigo. Após a constatação da melhor faixa de pH, prosseguiu-se à etapa posterior e de maior relevância frente a este estudo.

Tabela 3: Concentrações e faixas de pH testadas.

Amostras	Concentração de Nitrato	pH
pH 1	$2,2 \text{ mg L}^{-1}$	6,59
pH 2	$2,3 \text{ mg L}^{-1}$	6,35
pH 3	$2,5 \text{ mg L}^{-1}$	6,23
pH 4	$2,6 \text{ mg L}^{-1}$	6,12

Após a preparação das amostras referentes ao último estágio da presente metodologia e antes da passagem destas pelo filtro, tornou-se necessária a correção do pH de cada uma, já que todas estavam fora da faixa que se mostrou mais eficiente para a remoção de nitrato da água, avaliada na segunda etapa. Quanto maior a quantidade do composto adicionada no preparo da solução, mais ácida se tornava a amostra, conforme pode ser visualizado na Figura 4. Por este motivo, a correção foi realizada com a adição de hidróxido de sódio (NaOH) em uma solução a 10%.

COMPARATIVO pH E CONCENTRAÇÃO DO SALITRE POTÁSSICO

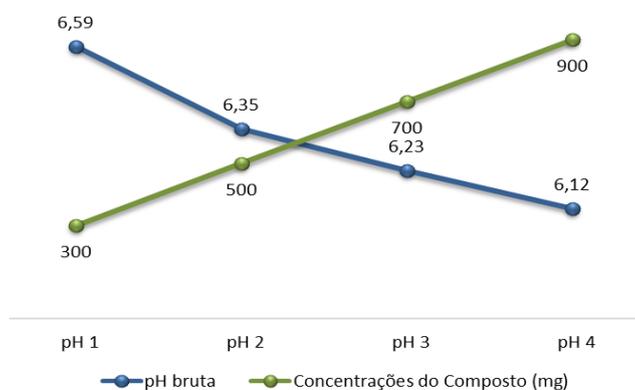


Figura 4: Gráfico de comparação entre o pH das amostras brutas da segunda etapa e a concentração do composto adicionada na sua preparação.

Quando atingida a faixa ótima de pH (de 6,5 a 7), o pHmetro foi mantido submerso na amostra por 30 minutos, com a intenção de verificar a estabilidade deste índice. Caso durante este período houvesse variação de dados, novos 30 minutos eram aguardados até que se tivesse valor estável para passagem no filtro, obtendo assim maior padrão nas amostras testadas.

Foram passadas três amostras no filtro, todas no mesmo dia, uma após a outra, de forma crescente, com intervalos de 10 minutos entre elas. As concentrações das amostras são as demonstradas na Tabela 2. Durante os intervalos, o filtro era banhado por água deionizada, com o objetivo de evitar sua rápida saturação.

As análises foram executadas para as amostras brutas e após o procedimento de filtração, possibilitando a verificação da eficácia do filtro e determinação da eficiência do material adotado. Assim como na amostra referência, as demais análises relativas à concentração de nitrato foram realizadas na Central Analítica da UNISC, sendo estas as mais expressivas para a conferência de efetividade do bagaço de cana de açúcar para a remoção de compostos nitrosos.

A metodologia utilizada pela Central para o cálculo de nitrato segue a Norma Brasileira NBR12620/1992 (Águas – Determinação de Nitrato – Métodos do Ácido Cromotrópico e do Ácido Fenoldissulfônico) e também o método analítico do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2012). O nitrato foi calculado como nitrogênio, com valor máximo permitido de 10 mg L⁻¹ para consumo humano, conforme padrões estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde.

Além das análises supracitadas, foram verificados o pH, a turbidez e a condutividade, testes executados através da utilização de pHmetro, turbidímetro e medidor de condutividade, respectivamente. A realização destas atividades foi conduzida pelo autor do presente estudo no Laboratório de Tratamento de Efluentes do curso de Engenharia Ambiental da UNISC e serviram como dados adicionais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após o preparo da amostra referência, foi encontrado um pH de 6,69 e uma concentração de 9,8 mg L⁻¹ de nitrato, calculado como nitrogênio. Assumindo-se esta premissa, foram elaboradas as amostras posteriores para estudo da faixa de pH mais eficiente para remoção de compostos nitrosos. Os dados obtidos através das análises realizadas estão demonstrados na Tabela 3.

Com a análise destes dados foi possível perceber que à medida que se tentava aumentar a concentração de nitrogênio através do incremento da quantidade do composto, o pH diminuía, ou seja, o aumento da concentração do composto na solução era proporcional a diminuição do pH. Por outro lado, o objetivo secundário, de aumentar a concentração de nitrogênio não era alcançado de forma relevante, pois se percebeu que a porcentagem deste elemento, contida na embalagem do produto não estava distribuída de maneira uniforme, dificultando o processo de preparação das amostras.

Na última etapa de avaliação da eficiência do filtro e do filtrante principal, aumentou-se a concentração do composto de forma significativa entre uma amostra e outra, com a intenção de obter valores distintos de nitrato entre elas. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 4: Concentração de composto adicionada para teste e concentração encontrada na amostra bruta.

Amostras	Concentrações do Salitre Potássico (mg)	Concentração Bruta de Nitrato (mg L ⁻¹)
Referência	100	9,8
pH 1	300	2,2
pH 2	500	2,3
pH 3	700	2,5
pH 4	900	2,6
Nitrato 1	2000	6,5
Nitrato 2	5000	8
Nitrato 3	10000	9,4

Conforme observado, comprovou-se o fato de que o acréscimo do salitre potássico – geralmente – influencia no aumento da concentração de nitrato, porém, não age da maneira esperada. Isso ocorre provavelmente por se tratar de um produto comercial que possui sua porcentagem de nitrogênio (15%) distribuída de forma heterogênea.

EFICIÊNCIA DO FILTRO

A primeira amostra filtrada – chamada de ‘referência’ – foi utilizada como primeiro dado de verificação da eficácia do procedimento experimental. O resultado inicial foi bastante satisfatório, apresentando uma remoção de nitrato equivalente a 94%. Ainda neste caso, verificou-se que a turbidez aumentou durante o processo de filtração, provavelmente pela presença da areia, que mesmo com a realização da lavagem, por se tratar de um material que possui a granulometria bastante pequena, é possível que a força de arraste tenha agido sob as partículas menores.

Os testes de pH mostraram que este parâmetro possui influência direta no objetivo principal desta metodologia, pois a eficiência do filtro teve uma queda de pelo menos 60% quando submetida a uma faixa mais ácida em relação ao intervalo pré estabelecido de tratamento (pH: 6-7). Escolheu-se uma faixa mais neutra para os ensaios, dado que não se encontrou qualquer referência relevante em relação a este critério e a remoção de nitrato em água.

Os valores ensaiados estão situados na Tabela 3 e projetados na Figura 5, onde a visualização dos dados atingidos permite melhor interpretação.

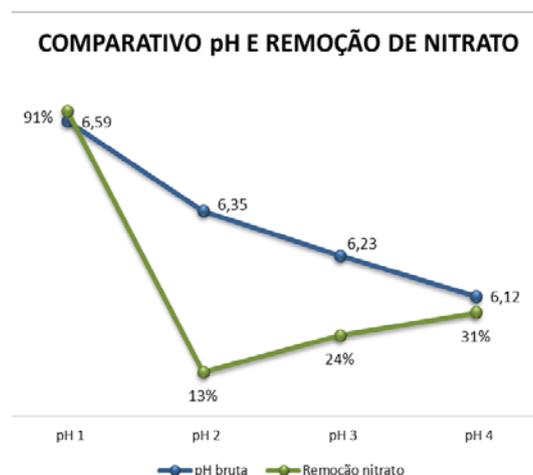


Figura 5: Gráfico comparativo entre as faixas de pH ensaiadas e a remoção obtida em cada uma.

Através destas informações verifica-se que na faixa mais neutra – acima de 6,5 – o sistema torna-se mais eficaz, resultando em uma remoção equivalente a 91% de nitrato. Por outro lado, nota-se que conforme a solução acidifica, a efetividade do experimento tende a aumentar, contudo, a eficiência não se compara a remoção obtida com um pH entre 6,5 e 7. Presume-se que esta situação está ligada ao fato de que um pH baixo no meio, possibilita uma maior geração de carga positiva livre na superfície do adsorvente, facilitando a adsorção de íons negativos como o NO_3^- [33].

A última etapa do ensaio, considerada de maior significância, resultou em uma média de remoção de 66%. A porcentagem de remoção alcançada com cada concentração está representada na Figura 6.

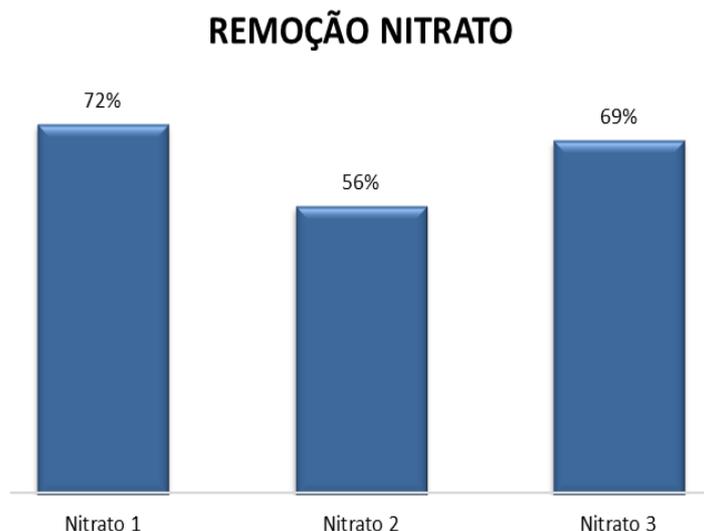


Figura 6: Gráfico de porcentagem de remoção alcançada através da última etapa do procedimento.

Avaliando o gráfico acima se observa que a remoção não apresentou resultados qualitativos tão efetivos quanto nos testes anteriores, contudo, ainda que não tenham proporcionado à mesma qualidade, podem ser considerados satisfatórios por terem alcançado uma média de 65,67%.

Uma das possibilidades desta queda no rendimento do filtro pode estar associada ao pH, uma vez que, nesta etapa foi necessária sua correção. Mesmo com a espera de 30 minutos após a estabilização do pH, constatou-se que, conforme Tabela 5, nas etapas 1 e 2 o pH mante-se o mesmo nas amostras brutas e filtradas, enquanto na etapa 3 ele aumentou. Desta forma, deduz-se que a solução, mesmo que estabilizada há certo tempo, ainda poderia estar reagindo com a base adicionada e fazendo assim, a eficiência do filtro reduzir de forma significativa.

Tabela 5: pH antes e após o procedimento de filtração.

Amostras	pH (Bruta)	pH (Filtrada)
Referência	6,69	6,69
pH 1	6,59	6,59
pH 2	6,35	6,35
pH 3	6,23	6,23
pH 4	6,12	6,12
Nitrato 1	4,91 → 6,87*	6,9
Nitrato 2	5,09 → 6,7*	6,73
Nitrato 3	5,2 → 6,86*	6,92

* Valor obtido após o ajuste de pH

Analisando todos os ensaios realizados na faixa de pH ideal – frente a esta metodologia – é possível assumir que o resultado final obtido é muito satisfatório, uma vez que a média de remoção chegou a 76%. Na Figura 7 segue um gráfico com os resultados das amostras brutas, filtradas e apresenta o percentual de remoção obtido.

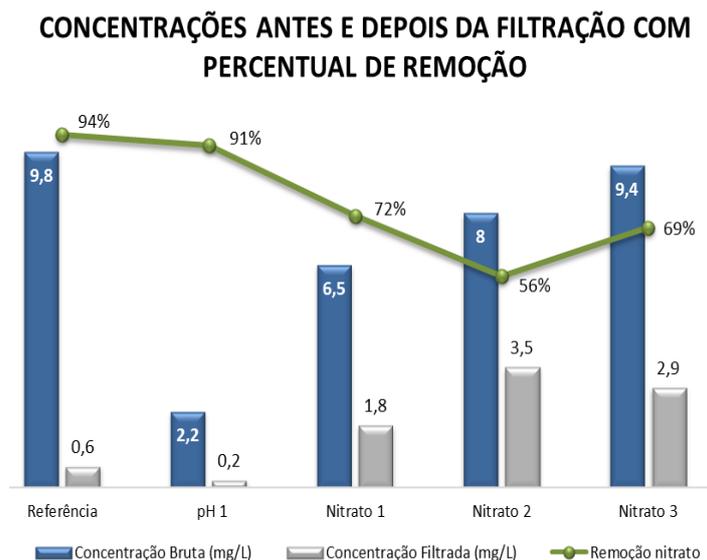


Figura 7: Concentrações obtidas antes e após a filtração com respectivo percentual de remoção, considerando apenas pH > 6,5.

Após análise de todo o procedimento, percebe-se que não foi possível alcançar valores de concentração de nitrato acima do permitido na Portaria 2914/2011. No entanto, os testes realizados demonstraram que o filtro com o emprego do bagaço de cana de açúcar possui relevância significativa quanto à remoção deste poluente.

O bagaço utilizado pode ainda ser convertido em adsorvente de valor agregado, como biochar e carvões ativados, tornando a fonte mais limpa e obtendo um material eficaz frente à remoção de poluentes do ar, do solo ou até mesmo da água, como neste estudo. Estes adsorventes vêm apresentando taxas de adsorção maior do que os adsorventes não modificados [34].

CONDUTIVIDADE

Outro parâmetro medido e ainda não mencionado foi a condutividade. Apesar de ser considerado um parâmetro adicional neste estudo, apresentou uma boa redução, com resultado médio de 16% nos testes de pH e 97% nas demais amostras. Isto pode estar ligado a concentração bruta de nitrato, que nos testes de pH estavam abaixo de 3 mg L⁻¹, ao passo que, nas demais encontravam-se acima de 6,5 mg L⁻¹.

A condutividade é um parâmetro que pode ser utilizado indiretamente como indicação da concentração de poluentes e a porcentagem atingida comprova de maneira direta a retenção de sais do composto adicionado na água às fibras do bagaço. Isto porque, à medida que sólidos dissolvidos são adicionados à água, sua condutividade aumenta, e dados os resultados encontrados com diminuição, o bagaço certamente reteve quantidade significativa de íons. Ainda, às altas condutividades estão relacionadas características de corrosão da água, que podem afetar os condutos de transporte hídrico [35].

A Tabela 6 apresenta os valores adquiridos através das medidas de condutividade e por consequência a redução de sais obtida.

Tabela 6: Condutividade obtidas antes e após o processo de filtração e a redução de condutividade adquirida.

Condutividade Bruta (uS)	Condutividade Filtrada (uS)	Redução Condutividade
110,5	2,68	98%
441	384	13%
597	424	29%
634	562	11%
747	655	12%
9530	544	94%
16940	491	97%
18470	480	97%

Este critério, bem como na amostra referência, apresentou aumento considerável em todas as demais. Como pode ser visto na Tabela 7. Entretanto, mostrou-se muito eficaz quanto à redução de coloração, como pode ser visto na Figura 8.

Tabela 7: Turbidez encontrada nas amostras antes e após a passagem no filtro.

Amostras	Turbidez Bruta (NTU)	Turbidez Filtrada (NTU)
Referência	0,4	47,13
pH 1	0,42	43,87
pH 2	0,4	44,08
pH 3	0,43	42,07
pH 4	0,43	42,9
Nitrato 1	6,7	15,37
Nitrato 2	6,87	16,59
Nitrato 3	6,93	18,02

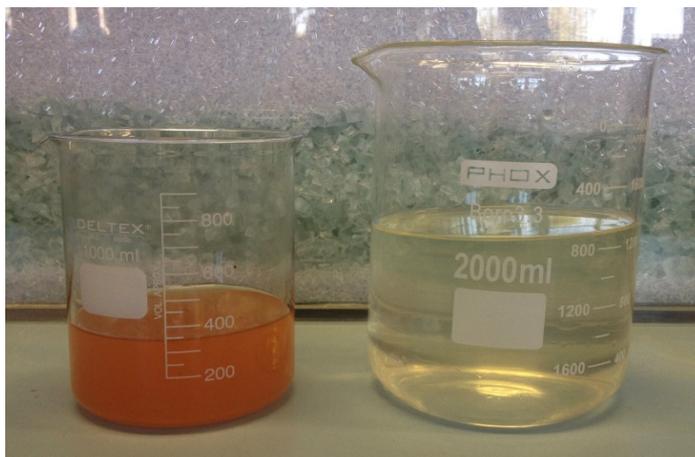


Figura 8: Demonstração da remoção de coloração obtida após a passagem de uma das amostras no filtro. Na imagem: Amostra bruta e filtrada, respectivamente.

CONCLUSÕES

Diante do exposto, percebeu-se que o bagaço de cana de açúcar, utilizado como material filtrante principal neste estudo apresentou um resultado final de grande relevância, obtendo uma média de 76% de remoção de nitrato, quando respeitada a faixa de pH ótima. Outro fator que merece destaque é a condutividade elétrica, que atingiu um percentual de 97% de redução em duas etapas de análise.

Apesar de o resultado encontrado ser bastante satisfatório, ressaltam-se algumas oportunidades de estudo e possíveis melhorias:

- Estudo de faixas ácidas de pH;
- Ensaio de concentrações mais elevadas (acima do estabelecido na Portaria 2914/2011);
- Utilização de outros poluentes; e
- Estudo de diferentes temperaturas.

Desta forma, percebe-se que é possível aumentar a eficiência do procedimento apresentado no decorrer deste artigo, seja através da incorporação de resíduos como o objeto principal deste estudo ou até mesmo através de sua modificação, diminuindo a dependência de outros insumos. Além disso, proporciona uma forma de aproveitamento produtivo, oferecendo diferentes tipos de destinação a estes produtos, considerando que muitas vezes são desperdiçados ou destinados de forma incorreta, por falta de informações ou pesquisas na área.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estud. av. São Paulo*, v. 22, n. 63, 2008.
2. FERREIRA, D. F. Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis – SC. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
3. 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.
4. _____. Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília – DF, 2005.
5. _____. Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Brasília – DF, 2011.
6. _____. Resolução RDC nº 274 de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico para Águas Envasadas e Gelo. Diário Oficial da União. Brasília – DF, 23 de Setembro de 2005.
7. BENIS, K.; FERRAO, P. *Potential mitigation of the environmental impacts of food systems through urban and peri-urban agriculture (UPA) - A life cycle assessment approach. J. of Cleaner Production*, 140 (2017), p. 784-795.
8. OLIVEIRA, M. E. D.; MORAES, S. O. *Modeling approaches for agricultural N₂O fluxes from large scale areas: A case for sugarcane crops in the state of São Paulo – Brazil. Agricultural Systems*, 150 (2017), p. 1-11.
9. LOGANATHAN, P.; VIGNESWARAN, S.; KANDASAMY, J. *Enhanced removal of nitrate from water using surface modification of adsorbents – a review. J. of Environmental Management*, 131, p. 363-374, 2013.
10. LIMA, Paulo César Ribeiro. *Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados e Produção de Etanol no Norte Fluminense*. Brasília, 2007.
11. ZHANG, Y.; ANGELIDAKI, I. *A new method for in situ nitrate removal from groundwater using submerged microbial desalination–denitrification cell (SMDDC). Water Research*, 47, p. 1827-1836, 2013.
12. CARVALHO, N. L.; ZABOT, V. Nitrogênio: nutriente ou poluente? *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 6, n. 6, p. 960-974, 2012.
13. FAGAN, E. B. et al. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja - Revisão. *Revista da FZVA. Uruguaiana*, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.
14. MISHRA, P. C.; PATEL, R. K. *Use of agricultural waste for the removal of nitrate-nitrogen from aqueous medium. J. Environ. Manage*, 90, p. 519-522, 2009.
15. BARTUCCA, M. L.; MIMMO, T. CESCO, S.; DEL BUONO, D. *Nitrate removal from polluted water by using a vegetated floating system. Sci. Total Environ*, 542, p. 803–808, 2016.

16. LÓPEZ, M.; PICADO, W. *Plantas, fertilizantes y transiciones energéticas en la caficultura contemporánea de Costa Rica. Bases para una discusión.* Revista de Historia, p. 65-66, 2012.
17. TORRES, Rafael Melo. Remoção biológica de nitrato em água de abastecimento humano utilizando o endocarpo de coco como fonte de carbono. 2011. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental; Meio Ambiente; Recursos Hídricos e Hidráulica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.
18. TANGSIR, S. et al. *Investigation on the performance of sugarcane bagasse as a new carbon source in two hydraulic dimensions of denitrification beds.* J. of Cleaner Production, 140 (2017), p. 1176-1181.
19. COSTA, Vilma Araújo da. Remoção de nitratos em água utilizando diferentes materiais e processos. 104 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.
20. CAO X.; et al. *A new method for water desalination using microbial desalination cells.* Environ Sci Technol, 43 (18), p. 7148-7152, 2009.
21. SCHNEIDER, A. C.; COSTA, A. H. R.; CORSEUIL, H. X. Remoção de nitrato de águas subterrâneas após biorremediação de gasolina com etanol. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2005.
22. NETO, A.R.P. Os nutrientes nitrato e nitrito como contaminantes ambientais e alternativas de determinação. Revista Virtual, v.2, n.2, p. 90-97, 2006.
23. MIZUTA, K. et al. *Removal of nitrate-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal.* Bioresource Technology, 95, p. 255-257, 2004.
24. OLLER-ARLANDIS, V.; SANZ-VLERO, J. *Cancer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años: una revisión sistemática.* Rev. Panam Salud Publica, 32 (6), p. 435-443, 2012.
25. PANDEY, A. et al. *Biotechnological potential of agro-industrial residues. II. Cassava bagasse.* Bioresource Technol, 74, p. 69-80, 2000.
26. MOURA, A. E.; NOVAIS, P. S.; HERNANDEZ, R. B. Desenvolvimento de dispositivo filtrante, para a remoção de manganês em águas de consumo humano. X ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO. Guarujá – SP, 2014.
27. BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. Revista Minerva, p. 297-305, 2009.
28. CORREA, J. C. C.; FERREIRA, F. F.; GUIMARAES, R. C. M. *Ecological bricks of sugarcane bagasse.* Ciência & Tecnologia: Fatec-JB, Jaboticabal, v. 5, 2013.
29. DRIEMEIER, C. *A computational environment to support research in sugarcane agriculture.* Computers and Electronics in Agriculture, 130, p. 13-19, 2016.
30. SANTOS, M. L. et al. *Study of the storage conditions of the sugarcane bagasse through thermal analysis.* Quim Nova, n. 34, p. 507-511, 2011.
31. SANTANA, M. A. E.; TEIXEIRA, D. E. Uso do bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas de aglomerados. Congresso Florestal Brasileiro e Congresso Florestal Panamericano, Curitiba – PR e São Paulo – SP, pág. 667 – 672, 1993.
32. CARVALHO, D. M. et al. *Isolation and characterization of acetylated glucurono arabinoxylan from sugarcane bagasse and straw.* Carbohydrate Polymers, 156 (2017), p. 223-234.
33. JOÃO, J. J. BORTOLATTO, L. B. MACHADO, D. B. Utilização de adsorventes natural na remoção de nitrato presente em água para abastecimento na avicultura. In: XVIII Simpósio Nacional de Bioprocessos, Caxias do Sul – RS, 2011.
34. HAFSHEJANIA, L. D. *Removal of nitrate from our solution by modified sugarcane bagasse biochar.* Ecological Engineering, 95, p. 101-111, 2016.
35. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (2009). Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo. Série Relatórios. Apêndice A – Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem.