

VIABILIDADE DO USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS EM FILTRO DE ÁGUA PARA REÚSO¹

THE IMPORTANCE OF ALTERNATIVE MATERIALS TO WATER FILTRATION AND ITS REUSE

**André Gonçalves Panziera², Noeli Julia Schüssler de Vasconcellos³,
Valduíno Estefanel³, Sandra Cadore Peixoto³ e Alexandre Swarowsky⁴**

RESUMO

Com o precário saneamento básico brasileiro associado ao desperdício de água, torna-se essencial encontrar meios de reaproveitar os recursos hídricos. Assim, objetivou-se, neste trabalho, testar a eficácia de materiais alternativos como recheio de um filtro biológico aerado de pequena escala, frente a amostras de águas de diferentes qualidades. Foram feitas doze réplicas iguais do filtro, confeccionadas com politereftalato de etileno, membrana geotêxtil, casca de arroz, serragem, carcaça de pneu e areia fina. Foram filtradas amostras de água coletadas do Arroio Esperança e da Estação de Tratamento de Efluentes, ambos de Santa Maria - RS. A vazão do sistema de filtração foi de 0,461 m³ h⁻¹. Constatou-se que os materiais utilizados foram eficazes no tratamento de água. A reaeração da água promovida pelo sistema implicou a redução de coliformes termotolerantes, e a remoção dos sólidos totais dissolvidos influenciou na diminuição do nitrato e na demanda bioquímica de oxigênio.

Palavras-chave: filtração, recursos hídricos, reaproveitamento.

ABSTRACT

Because of Brazilian inadequate sanitation, along with water-wasting habits, it is essential to find ways of reusing water resources. Thus, the objective of this study was to test the efficiency of alternative materials, such as filling an aerated biological filter of small scale, considering different qualities of water samples. Twelve identical replicas of the filter were made of polyethylene terephthalate, geotextile membrane, rice hulls, sawdust tire carcass and fine sand. Water samples from Esperança Stream and Wastewater Treatment Plant were filtered, both located in Santa Maria, RS. The flow of the filtration system was 0.461 m³ h⁻¹. The results have shown that all the materials used in the water treatment were effective. The reaeration of the water samples, as promoted by the system, resulted in fecal coliform reduction, and the removal of total dissolved solids influenced the reduction of nitrate and biochemical oxygen demand.

Keywords: water resources, reuse, filtration.

¹ Trabalho de Iniciação Científica.

² Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano.

³ Professores colaboradores - Centro Universitário Franciscano.

⁴ Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: alexandre@unifra.br

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais intensamente utilizados. Os principais destinos desse recurso são o abastecimento urbano, industrial e a irrigação (PIMENTA et al., 2012). A precária infraestrutura sanitária nacional é um dos elementos que mais dificulta o desenvolvimento social e econômico. Os dados mais alarmantes se referem a saneamento básico e tratamento de efluentes: 52,2 % das cidades brasileiras não têm tratamento de efluentes, e as perdas na distribuição de água chegam a 50%, (IBGE, 2008; RICHTER et al., 2008; QUEIROZ et al., 2012; FREITAS; HENKES, 2015). Unindo essas informações à cultura de desperdício de água, a falta dela torna-se um problema cada vez mais aparente e intenso.

A redução da poluição, da contaminação e do desperdício torna-se imprescindível, bem como o uso de tecnologias economicamente viáveis que visam ao saneamento ambiental (MATOS et al., 2010), como o reaproveitamento da água. Águas de reúso são os recursos hídricos descartados por edificações e indústrias, que ainda se encontram dentro dos padrões exigidos não para consumo, mas para utilização (BRASIL, 2005). O tipo de reúso difere a partir da modalidade pretendida, o que, pela NBR 13969, se divide de acordo com o nível de contato humano junto à água (ABNT, 1997). Já as classes de qualidade e padrões de lançamento das águas de reúso podem ser enquadrados nas conformidades do fixado nas resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011 (BRASIL 2005; 2011).

Informações sólidas sobre a eficácia de materiais alternativos para recheio do tratamento de água para reúso poderiam ser os pressupostos básicos para promover a reutilização das águas. Rebouças et al. (2011) obtiveram diminuição de 31% da cor de um corante industrial com o uso de resíduo de construção civil como recheio para filtração; Souza et al. (2010) constataram remoção orgânica de 90,30% e 82,37% de turbidez ao utilizar filtro anaeróbio de bambu no tratamento de esgoto doméstico e Tonetti et al. (2012) observaram uma redução próxima a duas unidades logarítmicas na densidade de coliformes totais e *E. Coli*, utilizando filtros de areia para produção de água de reúso.

A reutilização da água é uma medida que poderia ser mais aplicada mediante o incremento de estudos sobre materiais para recheio de filtros de água para reúso. Tais materiais permitiriam a construção de meios filtrantes com um custo mais baixo e a reutilização da água que seria descartada, para fins não potáveis, sanitariamente mais seguros para atividades de simples recirculação, como no meio doméstico, por exemplo. Em função disso, o objetivo neste trabalho foi testar a eficácia de materiais alternativos como recheio de um filtro biológico aerado de pequena escala, frente a amostras de águas de diferentes qualidades.

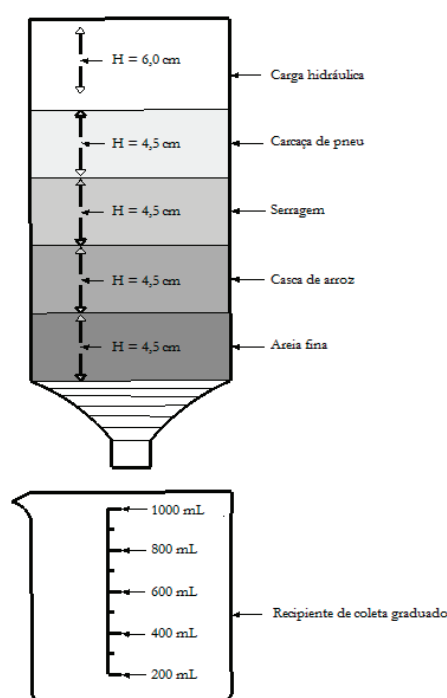
MATERIAL E MÉTODOS

SISTEMA FILTRANTE

Os materiais utilizados na confecção do sistema filtrante foram o politereftalato de etileno (PET), membrana geotêxtil, casca de arroz, serragem, carcaça de pneu e agregado miúdo (areia fina). Todos esses materiais, com exceção da brita e da areia fina, passaram pelo moedor Marconi, e a tritura foi de 4mm. Posteriormente, os materiais foram peneirados para que suas dimensões fossem semelhantes.

Doze réplicas idênticas de filtros foram montadas (Figura 1). Para a montagem desses módulos, os materiais filtrantes foram colocados dentro de uma garrafa pet, intercalados cada um por uma camada de membrana geotêxtil previamente recortada no formato cilíndrico. Cada camada de material dentro de cada garrafa foi cuidadosamente preparada e compactada, com altura de 4,5cm em todas as réplicas. A carga hidráulica utilizada foi de 6,0cm.

Figura 1 - Ilustração do sistema filtrante com os materiais alternativos.



Com todos os filtros montados, realizou-se a lavagem prévia de cada sistema com o uso de água destilada. A compactação exercida foi pela carga hidráulica da água destilada. Após a lavagem e a secagem dos materiais dentro dos filtros, foi iniciado o processo de filtragem. Cada repetição de filtragem foi feita no mesmo filtro, perfazendo três repetições para cada uma das águas coletadas. Não houve mais de uma passagem de efluente por filtro testado. Após cada processo, os materiais foram encaminhados para um local correto de descarte.

AMOSTRAS D'ÁGUA

Para a coleta das amostras d'água, foram escolhidos dois locais em zona urbana com características diferentes, pois se procurou uma diversidade de efeitos de qualidade da água para avaliar a eficácia do sistema filtrante. O primeiro local escolhido foi nas águas do Arroio Esperança, afluente do Arroio Cadena, sub-bacia do Rio Vacacaí, e o segundo local de coleta foi na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria - RS, que é do tipo lodo ativado com aeração prolongada.

Todas as coletas foram realizadas em diferentes locais na extensão do arroio, sempre em torno de 1m da margem e aproximadamente 20cm da superfície da água, utilizando um amostrador de 5L. Anteriormente a coleta, todos os recipientes coletores passaram por desinfecção com álcool 70%.

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Para efeito de análise, foram consideradas águas Pré e Pós tratamento. Para a análise anterior a passagem pelo filtro (pré-tratamento), foi extraída da amostra de 5L uma sub-amostra de 1L. Após, os 4L restantes foram percolados pelo sistema filtrante, onde se coletou um novo volume de 1L da água filtrada (pós-tratamento). Sendo assim, foram realizadas um total de doze análises laboratoriais de todos os parâmetros, seis para cada água, três antes (pré-tratamento) e três depois (pós-tratamento) do processo de filtração de cada amostra.

As variáveis determinadas pré e pós-tratamento foram o oxigênio dissolvido (OD), coliformes termotolerantes (CT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos totais dissolvidos (STD), nitrogênio total, turbidez e cor aparente. O OD foi determinado com o uso de um oxímetro Digimed DM-4P, e, para este parâmetro, visou-se à reaeração da amostra após passar pelo sistema. Os CT foram determinados pelos procedimentos de Alexander (1982), enquanto para o restante dos parâmetros obteve-se alícerces em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1995). A variável nitrogênio total, após o processo de análise, foi transformada para nitrato, pois é a forma apresentada na legislação. Para tanto, foram utilizadas as equações propostas por Macêdo (2003).

Para discutir a eficácia do sistema filtrante, foi utilizado o artigo 4º da Resolução CONAMA nº 357/2005, que classifica as águas doces do território nacional por meio de indicadores previamente determinados (BRASIL, 2005); as seções II e III da resolução CONAMA nº 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes (BRASIL, 2011); e a NBR 13969, que trata de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos (ABNT, 1997). Os resultados foram analisados estatisticamente, ou seja, as filtrações foram comparadas entre si por meio de delineamento inteiramente casualizado, sendo um experimento fatorial 2x2 (dois corpos d'água e duas filtrações) pelo teste F, considerando o nível de significância de 5%, com três repetições cada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

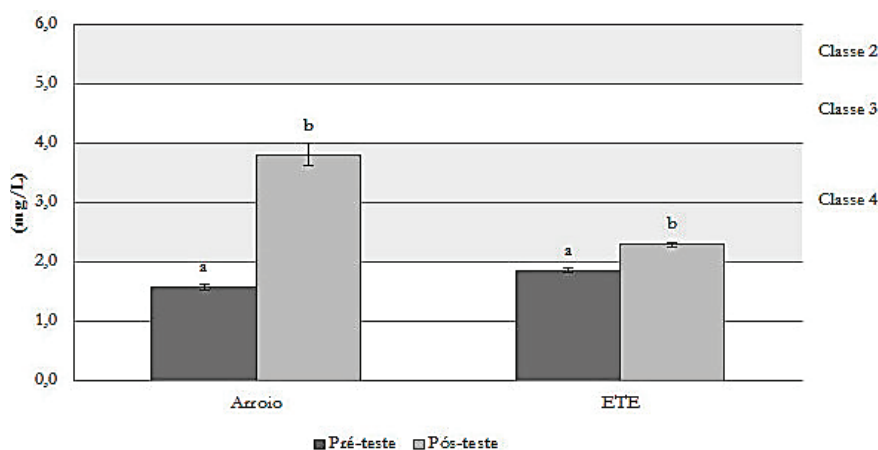
VAZÃO DO SISTEMA FILTRANTE

A vazão média do sistema filtrante foi de $0,461\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, com desvio padrão de $0,11\text{m}^3\text{h}^{-1}$. Kemerich e Ruoso Junior (2010) avaliaram a vazão máxima de um sistema filtrante composto de areia e esponja de poliuretano para água da chuva e obtiveram um valor médio de $1,68\text{m}^3\text{h}^{-1}$. Brandão et al. (2000), utilizando bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de café, fino de carvão vegetal, sabugo de milho e serragem de madeira como materiais filtrantes em sistema filtrante de 100mm de diâmetro, encontraram valores entre 100 e 150cmh^{-1} . Comparado ao valor de vazão encontrado nesta pesquisa, a capacidade do sistema pode ser suficiente para atender a produção de água de reúso para instalações hidrossanitárias individuais, inclusive no meio rural. Para evitar a queda da vazão, deve-se proceder periodicamente uma limpeza do filtro, ou trocá-lo, pois o impedimento de 1 a 5% do fluxo pode acarretar uma variação significativa em uma rede hidráulica (KELLER; BLIESNER, 1990; NAKAYAMA; BUCKS, 1981).

OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Os teores de OD foram estatisticamente superiores após o processo de filtragem, melhorando as condições da água. Na água coletada no arroio Esperança, o OD dobrou de concentração após a filtragem em relação ao pré-tratamento (Figura 2). Indispensável para o desenvolvimento de vida aeróbia do meio hídrico, aumentando-se o OD eleva-se o potencial de estabilização da matéria orgânica para águas de reúso. Logo, isso significa que a reaeração exercida pelos materiais alternativos utilizados foi estatisticamente eficaz.

Figura 2 - Variação do teor de oxigênio dissolvido antes e depois da filtragem das amostras de água coletadas no arroio Esperança e na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria, comparadas com os valores de referência para classificação de corpos receptores da resolução 357 de 2005 do CONAMA (BRASIL, 2005).



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5% pelo teste F.

Comparando o aumento da reaeração exercida pelo sistema (superior a 2 mg L^{-1}), com a NBR 13969 (ABNT, 1997), foi possível enquadrar os dois tipos de amostra de água na classe 4. Nessa classe, é recomendado o reúso em pomares, cereais, forragens, pastagens e outros cultivos por meio de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Tais indicações da norma brasileira estão de acordo com a comparação do pós-tratamento com a resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005), que enquadrou os resultados da qualidade de ambas as águas na classe 4, cuja recomendação é para harmonia paisagística.

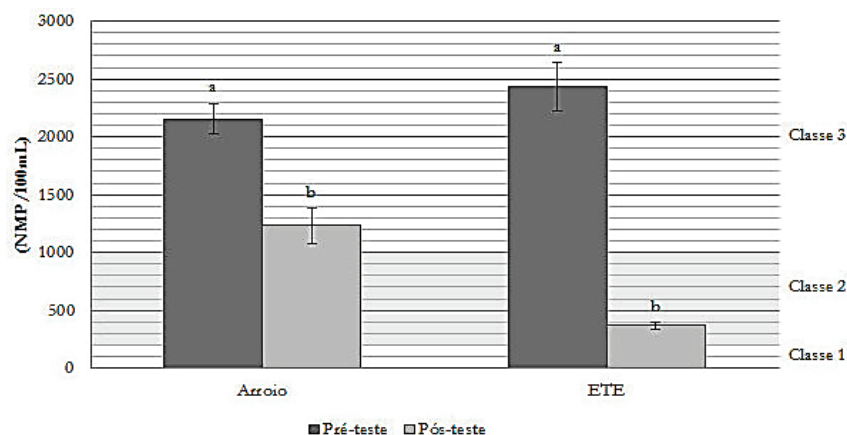
Minello et al. (2010) sugeriram que, quando se tratar de oxigênio dissolvido, devem ser estudados fatores externos que interfiram no equilíbrio do meio. Assim, torna-se possível afirmar que a elevação do OD pode ter ocorrido por pequenos fatores como: (1) Grande quantidade de poros no filtro; (2) passagem do volume de água a ser tratado no sistema filtrante, provocando a oxigenação.

COLIFORMES TERMOTOLERANTES

A densidade de coliformes termotolerantes nas amostras das águas coletadas nos dois locais foi amplamente reduzido, sendo estatisticamente inferior após ambas as filtrações. Outros pesquisadores constataram resultados de remoção de coliformes em sistemas filtrantes com materiais alternativos. Em estudos de análise da eficácia do tratamento bacteriano por meio da passagem de água por sistema filtrante de cerâmica com aderência de prata, Bielefeldt et al. (2009) constataram a redução de 10^6 CFU mL^{-1} de *Escherichia Coli* para uma faixa de 20 a 41 CFU mL^{-1} . Estudos realizados por Magalhães et al. (2006), utilizando bagaço de cana-de-açúcar triturado como material para sistema filtrante de águas residuárias da suinocultura, obtiveram valores nulos após os testes com diluição de *Streptococcus fecalis* de até 10^3 , 10^4 e 10^5 NMPg^{-1} de sólidos totais.

A quantidade de coliformes termotolerantes tende a ser alterada pela concentração de OD na água (SEIDEL, 2012). Após o processo de filtração, os valores encontrados permitiram constatar que houve uma relação inversamente proporcional entre esses dois parâmetros, o que está em acordo tanto com a assertiva de Seidel (2012) como com a eficácia dos materiais alternativos propostos por Magalhães et al. (2006) e Bielefeldt et al. (2009). A possível explicação é que a reaeração da água restringe o desenvolvimento de parte do diversificado grupo das bactérias termotolerantes, em que apenas um pequeno conjunto se configura como anaeróbicas facultativas, enquanto que as demais são anaeróbicas estritas. Nesse caso, o OD predominou mais nas águas tratadas, inibindo as bactérias, cujas condições ambientais de sobrevivência são desfavoráveis, acarretando na intensa redução constatada (Figura 3).

Figura 3 - Variação da densidade de coliformes termotolerantes antes e depois das filtrações das amostras de água coletadas no arroio Esperança e na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria, comparadas com os valores de referência para classificação de corpos receptores da resolução 357 de 2005 do CONAMA (BRASIL, 2005).



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5 % pelo teste F.

Embora nas amostras de água coletadas na ETE, anteriores ao tratamento, a concentração de coliformes era de 300 NMP 100mL⁻¹ a mais que as amostras coletadas no arroio, sua redução foi mais efetiva, diminuindo sua densidade em aproximadamente 3700NMP 100mL⁻¹. Essa variação desproporcional pode estar associada às coletas dos sistemas filtrantes. Isso porque a amostragem de CT não está sistematicamente arranjada no volume de água tratado, o que pode permitir essa discrepância.

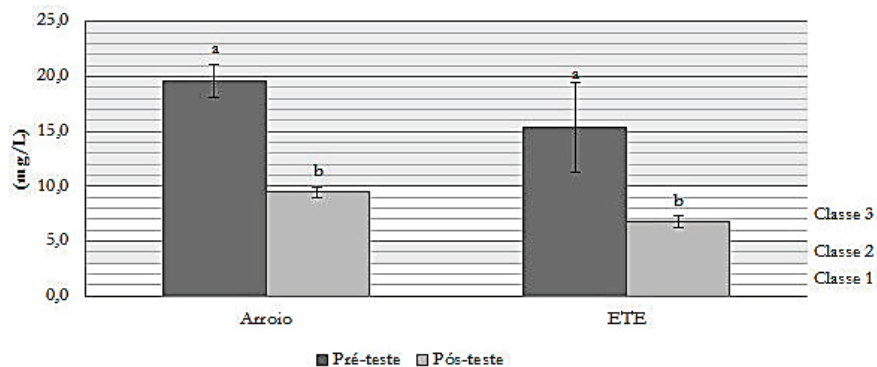
A quantidade de coliformes termotolerantes, após a filtração das amostras, ficou em média 4 vezes maior do que a concentração mínima prevista na resolução 357 de 2005, que permite, para rios de classe 1, valor médio de 1000 NMP 100 mL⁻¹. Contudo, para classe 2, os valores ficaram dentro do padrão estabelecido. Diante do exposto, o sistema proporcionou mitigação de um dos principais problemas na qualidade da água, o que pode viabilizar seu uso. Isso pode indicar a menor possibilidade de contaminação do ser humano por doenças entéricas, especialmente pela bactéria *Escherichia Coli* (SPERLING, 2005).

Comparando os resultados obtidos de CT nas amostras de água do arroio Esperança com os limites de reúso proposto na NBR 13969, esta estaria enquadrada na classe 4, útil para irrigação de culturas e jardins. Na ETE, foi possível enquadrar os CT em classe 2, pois a média após o tratamento foi de 400 NMP 100 mL⁻¹, enquanto que preconiza uma densidade desse parâmetro inferior a 500 NMP 100 mL⁻¹. Logo, para a condição obtida para o CT das águas tratadas da ETE, a classe referida permite o reúso em lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos (ABNT, 1997).

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO

Foi observada redução significativa de 50% dos valores de DBO após os testes nas amostras de água dos dois locais coletados (Figura 4). Utilizando bambu como material de recheio em operação de filtro, Tonetti et al. (2011) encontraram valores similares ao deste trabalho, com $71 \pm 15\%$ de redução para DBO. Esse resultado é importante, pois, sendo os valores de pós-filtragem estatisticamente inferiores, as mudanças na DBO provêm de um fator sistemático. Logo, o sistema proposto reduziu o teor de matéria orgânica das amostras e, conseqüentemente, a ação microbiológica. Isso possibilita uma autodepuração mais acelerada do meio hídrico, o qual pode equilibrar-se mais rapidamente frente ao despejo de efluentes.

Figura 4 - Variação da demanda bioquímica de oxigênio antes e depois das filtrações das amostras de água coletadas no arroio Esperança e na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria, comparadas com os valores de referência para classificação de corpos receptores da resolução 357 de 2005 do CONAMA (BRASIL, 2005).



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5 % pelo teste F.

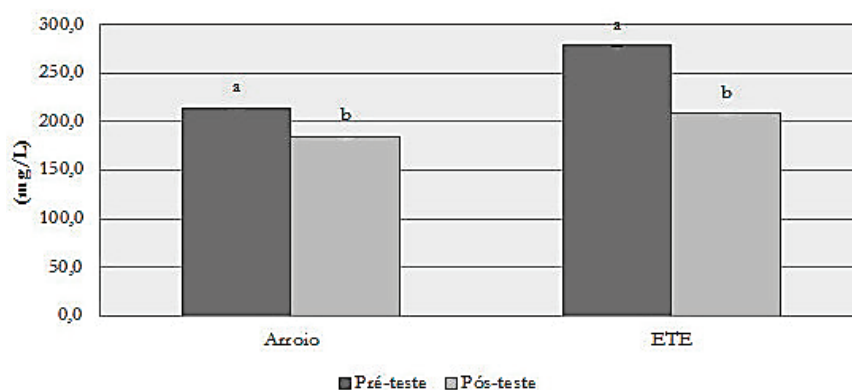
Monaco et al. (2004) citam que a filtração com menor granulometria pode ser objeto de diminuição de DBO, em função das partículas com menores dimensões conterem maior superfície específica, ocorrendo aumento de contato com o fluido. A casca de arroz triturada pode ter causado esse tipo de processo no procedimento, haja vista que a tritura desse material é levemente menor que os demais materiais utilizados.

Após a filtração, os valores das determinações obtidos por meio das amostras d'água do arroio Esperança e ETE enquadraram-se na classe 3, segundo a resolução CONAMA 357 de 2005 (BRASIL, 2005). Os padrões de lançamento preconizados na resolução CONAMA 430 de 2011 (BRASIL, 2011), fixam limite de 120 mg L^{-1} de DBO para esgotamento sanitário seguido de tratamento (BRASIL, 2011). Os resultados de ambos os tratamentos ficaram bastante abaixo dos limites estipulados nessa última resolução e, sendo assim, pode-se afirmar que o sistema funcionou adequadamente, viabilizando seu uso, pois elevou o nível da classe das águas.

SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

O filtro proposto removeu, em média, 20% dos STDs nas duas amostras de água coletadas (Figura 5). Silva et al. (2011) encontraram valores semelhantes ao deste trabalho. Para esses autores, a diminuição desse parâmetro pode influenciar na redução de outros, como o nitrogênio e fósforo. Diante do exposto, torna-se possível inferir que algum dos materiais utilizados (provavelmente a casca de arroz e a serragem) possa conter características eficazes na remoção de elementos orgânicos e inorgânicos. Assim, a mitigação estatisticamente inferior do teor de alguns parâmetros estudados neste trabalho pode ser atribuída à remoção dos STDs.

Figura 5 - Variação do teor de sólidos totais dissolvidos antes e depois das filtrações das amostras de água do arroio Esperança e ETE.



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5 % pelo teste F.

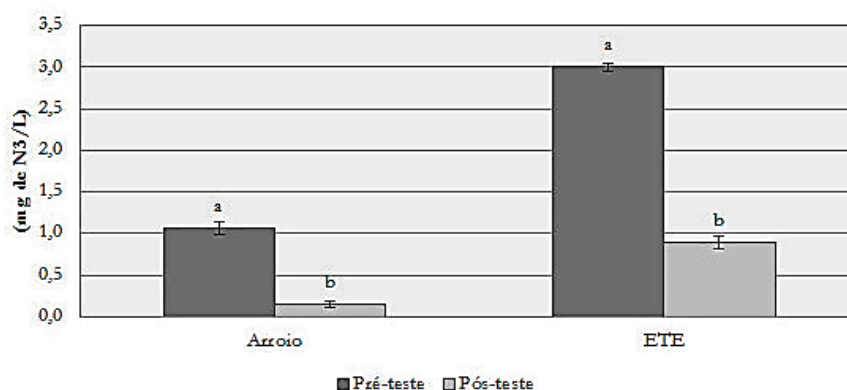
A resolução 357 de 2005 do CONAMA (BRASIL, 2005) preconiza concentração de até 500mg L⁻¹ para águas de classe 2, e virtualmente ausente para classe 1. Assim, embora os STDs estivessem baixos, os materiais alternativos do sistema reduziram ainda mais o teor desse elemento. Comparando os resultados do arroio à NBR 13969, os STDs enquadraram-se dentro dos limites da classe 1 de águas de reúso, que preconiza valores desse parâmetro inferiores a 200mg L⁻¹ (BRASIL, 2005). Para essa condição, a remoção dos STDs nesse estágio permite que a água de reúso possa ser utilizada em atividades que requerem o contato direto do usuário com a água, diferentemente das demais classes.

NITRATO

Ocorreu em ambos os processos de filtração a diminuição significativa de nitrato (Figura 6). Esse resultado é importante porque o filtro reduziu a tendência do manancial em sofrer eutrofização e floração, processos que, muitas vezes, são causados pelo uso de fertilizantes agrícolas, bem como despejos de detergentes e desinfetantes (SPERLING, 2005; XU et al., 2010). A redução das concen-

trações desse elemento pode estar associada tanto à remoção dos STDs, quanto a DBO. Isso porque tais parâmetros têm uma relação direta com substâncias nitrificantes, aglutinando-se aos STDs, e são retidos durante a percolação no sistema filtrante. Sendo assim, as substâncias nitrificantes estiveram em menor teor para serem utilizadas na atividade metabólica microbiana, evidenciada nas determinações de DBO. Portanto, é possível inferir que, na redução do nitrato, a eficácia dos materiais alternativos para recheio de águas de reúso tem direta relação com a remoção dos STDs e que, consequentemente, afeta positivamente a DBO.

Figura 6 - Variação do teor de nitrato antes e depois das filtrações das amostras de água coletadas no Arroio Esperança e na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria.



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5 % pelo teste F.

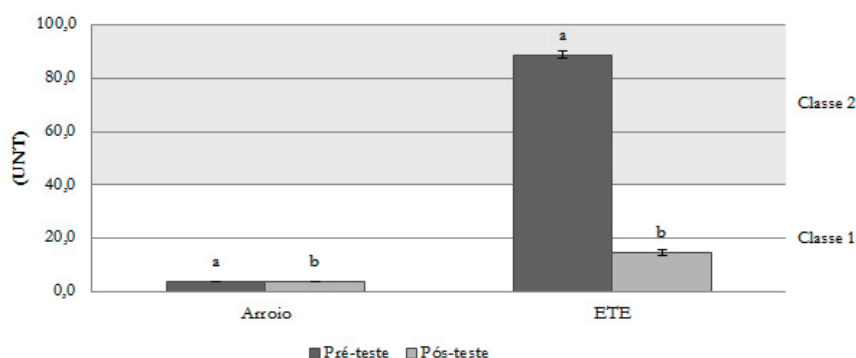
Estudos realizados por Monaco et al. (2004) concluíram que as dimensões da granulometria do material filtrante podem interferir nos teores de parâmetros como o nitrogênio total e outras substâncias. Assim, redução do teor de nitrato provavelmente pode ter ocorrido pelo fato de terem sido utilizados outros tipos de materiais no mesmo filtro, com mesmo diâmetro granulométrico de 4mm e peneiramento, porém com formas distintas.

Os valores de nitrato para ambas as águas antes do tratamento estavam abaixo dos preconizados pela legislação, que perfaz 10mg de N₃ L⁻¹ (BRASIL, 2005). Após o tratamento, o filtro proposto reteve nitrato, o que fez com que os valores desse elemento diminuíssem para menos de 1mg de N₃ L⁻¹, mantendo esse parâmetro consolidado na classe 1. Logo, a filtração se mostrou eficaz para o tratamento de um efluente nitrificado com as concentrações apresentadas neste estudo.

TURBIDEZ E COR

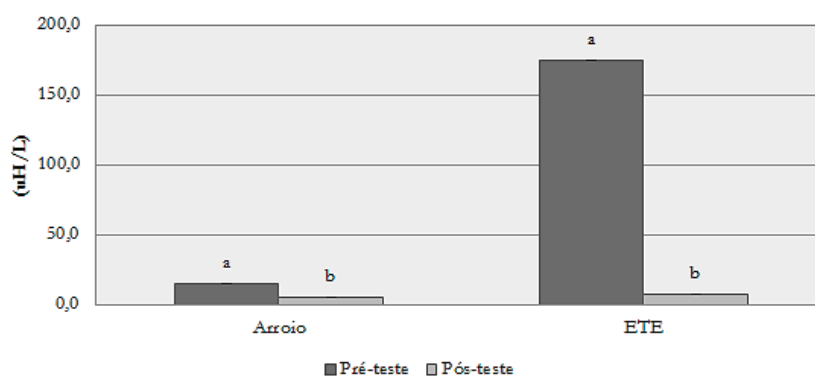
Os valores naturais de turbidez e cor aparente foram críticos, especialmente para a água da ETE e, após a filtração, esses aspectos foram significativamente melhorados (Figuras 7 e 8).

Figura 7 - Variação do teor de turbidez antes e depois das filtrações das amostras de água coletadas no arroio Esperança e na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria, comparadas com os valores de referência para classificação de corpos receptores da resolução 357 de 2005 do CONAMA (BRASIL, 2005).



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5 % pelo teste F.

Figura 8 – Variação do teor de cor aparente antes e depois das filtrações das amostras de água coletadas no arroio Esperança e na Estação de Tratamento de Efluente (ETE) de Santa Maria.



* Médias seguidas de letras distintas diferem entre o pré e pós-teste de cada água, com nível de probabilidade de 5 % pelo teste F.

A turbidez e a cor podem apresentar questionamentos sobre a confiabilidade da água, especialmente no que diz respeito ao que existe dissolvido nesta (SPERLING, 2005; SEIDEL, 2012). Contudo o filtro atenuou significativamente a intensidade desses parâmetros, deixando a água muito mais clarificada e esteticamente desejável. Nas amostras coletadas do arroio, os parâmetros cor e turbidez, após filtração, foram estatisticamente inferiores à pré-filtração, o que indica melhora no aspecto da água, mesmo que pequena, justificando-se pelos valores iniciais bastante reduzidos. Entretanto, para a água da ETE, o filtro demonstrou grande eficiência, pois reteve muitas substâncias dissolvidas que provavelmente estariam causando opacidade na água.

A explicação para a diferença expressiva dos dados obtidos das águas do arroio e ETE pode advir do fato de, previamente ao tratamento, esses locais estarem com uma diferença muito grande no valor de suas concentrações. Ribeiro et al. (2005), ao investigarem a variação temporal da qualidade

da água no desempenho de filtros para irrigação, constataram que não houve alterações na turbidez dos filtros de manta e de disco, quando estes indicadores estavam com valores baixos. Assim, os materiais de recheio propostos contêm grande capacidade de redução da cor aparente.

Os valores dos parâmetros cor e turbidez ficaram de acordo com a legislação (Resolução 357 de 2005) para água coletada no Arroio Esperança, para as duas amostras de água, até mesmo dentro da classe 1. Entretanto, para as amostras de água coletadas na ETE, os valores de turbidez e cor, que estavam em classe 2 e 4, respectivamente, passaram para classe 1. Esses resultados permitem a conclusão de que esses materiais filtrantes podem viabilizar a produção de água para reúso de cor translúcida. Isso permite mais penetração de luz solar na água, o que, juntamente com a hidrodinâmica e fotossíntese de algas, contribui muito para a oxigenação desse líquido.

A NBR 13969 preconiza apenas a turbidez, para a qual fixa valor inferior a 5 UNT para classe 1 e 2, abaixo de 10 UNT para classe 3 e não estipula limites para classe 4 (ABNT, 1997). Assim, a partir dos resultados obtidos com as amostras do arroio Esperança, após o tratamento, foi possível enquadrar a turbidez nas atividades preponderantes para águas de reúso classe 1 e 2. Os valores médios do tratamento das amostras de água da ETE permaneceram minimamente acima de 10 UNT. O resultado médio não atingiu enquadramento nas melhores classes de reúso da água para as amostras coletadas na ETE, conforme a NBR 13969, mas os materiais alternativos propostos indicam potencial para tanto.

CONCLUSÕES

A vazão média do sistema filtrante proposto foi de $0,461\text{m}^3 \text{h}^{-1}$. A redução dos sólidos totais dissolvidos após a passagem pelo sistema filtrante, composto pelos materiais alternativos propostos, implicaram a mitigação das concentrações de nitrato e demanda bioquímica de oxigênio. A reaeração das amostras de água diminuiu a densidade de coliformes termotolerantes, sendo preponderante para o enquadramento da estação de tratamento de efluentes em classe 2 de reúso de água, conforme a NBR 13969. O sistema filtrante proposto com o uso materiais alternativos possui eficácia para adequar águas para reúso, principalmente no reaproveitamento hidrossanitário, como vasos e reservatórios para lavagens e ou irrigação de hortaliças, conforme os enquadramentos frente à NBR 13969 e às resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente números 357 de 2005 e 430 de 2011 (BRASIL, 2005; 2011).

REFERÊNCIAS

ALEXANDER, M. **Methods of soil analysis**. USA: Page, A. L., 1982. 1159p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969** Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19. ed. New York: APHA, 1995.

BIELEFELDT, A. R.; KOWASLKI, K.; SUMMERS, R. S. Bacterial treatment effectiveness of point-of-use ceramic water filters. **Water Research**, v. 19, p. 3559-3565, 2009.

BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T. de; MARTINEZ, M. A. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 327-333, 2000.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://bit.ly/1QidBZN>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

BRASIL. Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 06 dez. 2006. Disponível em: <<http://bit.ly/22IjKG0>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de maio de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://bit.ly/23He5Wm>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

FREITAS, E. E. de; HENKES, J. A. Água tratamento e distribuição: desperdícios e medidas de contenção. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 392-415, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008. 109p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Chapman & Hall, 1990. 625p.

KEMERICH, P. D. C.; RUOSO JUNIOR, H. Filtros para água da chuva: análise de eficiência. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 7, p. 201-210, 2010.

MACÊDO, J. A. B. de. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2003. 450p.

MAGALHÃES, M. A. de et al. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 466-471, 2006.

MATOS, A. T. de; MAGALHÃES, M. A. de; SARMENTO, A. P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinocultura. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 527-537, 2010.

MINELLO, M. C. et al. Avaliação sazonal de alguns parâmetros indicadores da qualidade da água no reservatório da usina hidrelétrica de Ilha Solteira-SP, Brasil. **Global Science and Technology**, v. 3, p. 98-104, 2010.

MONACO, P. A. et al. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 1415-4366, 2004.

NAKAYAMA, F. S; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Revista Transactions of the ASAE**, v. 24, p. 77-80, 1981.

PIMENTA, H. C. D.; AMARAL, X. S.; FERREIRA, D. de M. Diagnóstico do nível de qualidade da água e definição de critério de uso: Um estudo de caso em uma lagoa natural em Natal, RN. **Revista Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 9, p. 320-337, 2012.

QUEIROZ, A. C. L. et al. O uso da pesquisa ação para a avaliação e o aprimoramento de práticas integradas para a vigilância da qualidade da água para consumo humano: Potencialidades e desafios. **Revista Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 17, p. 277-286. 2012.

REBOUÇAS, E. G. et al. Proposição de resíduo da construção civil como recheio para filtração de efluentes de elevada cor. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica, 29-02 out., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEQ, 2011. 1 CD-ROM.

RIBEIRO, T. A. P. et al. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 450-456, 2005.

RICHTER, D.; MASSMANN, G.; DÜNNBIER, U. Behaviour and biodegradation of sulfonamides (p-TSA, o-TSA, BSA) during drinking water treatment. **Chemosphere**, v. 71, p. 1574-1581, 2008.

SEIDEL, C. **Influência ambiental na qualidade da água do Arroio Doze Passos, Ouro, SC**. 2012. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2012.

SILVA, E. R. et al. Uniformidade de distribuição de água em irrigação localizada com sistema de aeração, decantação e filtração. **Científica**, v. 39, p. 7-17, 2011.

SOUZA, R. C.; ISOLDI, L. A.; OTIZ, C. M. Tratamento de esgoto doméstico por filtro anaeróbio com recheio de bambu. **Vetor**, v. 20, p. 5-19, 2010.

SPERLING, M. von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452p.

TONETTI, A. L. et al. Avaliação da partida e operação de filtros anaeróbios tendo bambu como material de recheio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 11-16, 2011.

TONETTI, A. L. et al. Tratamento de esgoto e produção de água de reúso com o emprego de filtros de areia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 287-294, 2012.

XU, B. et al. Measurement of dissolved organic nitrogen in a drinking water treatment plant: Size fraction, fate, and relation to water quality parameters. **Science of the Total Environment**, v. 411, p. 1116-1122, 2010.

