

Artigo

Tratamento da Água Residuária da Bovinocultura Utilizando Resíduos Agroflorestais: Retenção de Poluentes Ambientais

Marques, A. S.;* Pinheiro, E. F. M.; Oliveira, A. P. S.; Campos, D. V. B.; Oliveira, R. S.; Silva, R. M.; Matos, C. F.

Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 335-344. Data de publicação na Web: 25 de Março de 2020

<http://rvq.sbq.org.br>

Bovine Wastewater Treatment Using Agroforestry Residues: Retention of Environmental Pollutants

Abstract: Milk cattle breeding produces several residues in the production process, such as wastewater that presents organic and inorganic pollutants at high concentrations. Aiming at the removal of these pollutants with a low cost of implantation, this study had the objective of evaluating the potential of the filtration utilization with sugarcane bagasse, wood sawdust and corn cob in the treatment of bovine livestock wastewater. For the evaluation of the efficiency of the system, the affluent and the effluent of the filtration process were characterized in relation to the pH and the retention of the metals total calcium (Ca-total), total magnesium (Mg-total), total potassium, total copper (Cu-total), total zinc (Zn-total), total iron (Fe-total), total manganese (Mn-total) and total aluminum (Al-total). All the organic materials used as filter media had potential in the removal of the investigated elements, especially the sugarcane bagasse that was capable of expressively removing Fe, Zn and Al. None of the materials were effective in the removal of Cu and K, on the contrary, contributed to the increase of these elements in the filtrate.

Keywords: Water reuse; primary treatment; metal removal; organic farming.

Resumo

A bovinocultura de leite gera diversos resíduos no processo produtivo, como por exemplo, água residuária, que apresenta poluentes orgânicos e inorgânicos em elevadas concentrações. Visando a remoção desses poluentes com um baixo custo de implantação, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial de utilização da filtração com bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e sabugo de milho no tratamento da água residuária da bovinocultura. Para a avaliação da eficiência do sistema, o afluente e o efluente do processo de filtração foram caracterizados em relação ao pH e à retenção dos metais cálcio total (Ca-total), magnésio total (Mg-total), potássio total (K-total), cobre total (Cu-total), zinco total (Zn-total), ferro total (Fe-total), manganês total (Mn-total) e alumínio total (Al-total). Todos os materiais orgânicos utilizados como meios filtrantes apresentaram potencial na remoção dos elementos investigados, com destaque para o bagaço de cana-de-açúcar que foi capaz de remover expressivamente Fe, Zn e Al. Nenhum dos materiais foi efetivo na remoção de Cu e K, ao contrário, contribuiu para o acréscimo desses elementos no filtrado.

Palavras-chave: Água de reuso; tratamento primário; remoção de metais; agricultura orgânica.

* Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Rodovia BR 465, Km 07, s/n, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil.

 erika.solos@gmail.com
DOI: [10.21577/1984-6835.20200026](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200026)

Tratamento da Água Residuária da Bovinocultura Utilizando Resíduos Agroflorestais: Retenção de Poluentes Ambientais

Anieli de Souza Marques,^{a,*} Érika Flávia Machado Pinheiro,^a Adriana Paulo de Sousa Oliveira,^b David Vilas Boas de Campos,^c Raquel Silva de Oliveira,^a Rakiely Martins da Silva,^a Camila Ferreira Matos^a

^a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Rodovia BR 465, Km 07, s/n, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil..

^b Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Engenharia Civil, Av. PH Rolfs s/n, CEP 36570-900, Viçosa-MG, Brasil.

^c Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa em Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

*erika.solos@gmail.com

Recebido em 13 de Maio de 2019. Aceito para publicação em 28 de Fevereiro de 2020

1. Introdução

2. Material e Métodos

2.1. Instalação dos filtros orgânicos

2.2. Análises químicas do afluente e efluente da ARB

3. Resultados e Discussão

4. Conclusões

1. Introdução

O setor de produção primária de alimentos, fibras e energias, junto com a agroindústria, constitui um dos principais segmentos da economia brasileira, com importância tanto no abastecimento interno como no desempenho exportador do país.¹Essas atividades geram resíduos que, se não forem tratados para correto descarte, representam desperdícios para o setor produtivo e oferecem riscos ecológicos e sociais. O conhecimento e as tecnologias atuais, por meio do avanço dos métodos químicos, físico-químicos e bioquímicos de tratamento podem reduzir consideravelmente os impactos ambientais.² No entanto, sua utilização permanecerá reduzida enquanto os ecossistemas continuarem a ser

percebidos como fornecedores de recursos gratuitos e ilimitados. Existem inúmeras possibilidades de reutilização, na agricultura, dos resíduos gerados no próprio meio rural. A integração da cadeia produtiva vegetal e animal visando à reciclagem de nutrientes e energia, assim como, a redução de poluentes no sistema é de fundamental importância quando se almeja a segurança alimentar, do solo, hídrica e energética.²

Os resíduos orgânicos são constituídos por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas. Podem ter diversas origens, como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, madeireira, frigoríficos), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras. A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera chorume, emissão de metano e óxido nitroso na atmosfera

(potencial de aquecimento global 47 e 390 vezes maior que o dióxido de carbono, respectivamente) e favorece a proliferação de vetores de doenças.² O Plano Nacional de Resíduos Sólidos indica que há uma produção anual de 800 milhões de toneladas de resíduos orgânicos (sólidos urbanos somados aos provenientes de atividades agrossilvopastoris e industriais).³ É fundamental a adoção de métodos adequados de tratamento destes grandes volumes de resíduos, para que a matéria orgânica presente seja estabilizada e possa ser reutilizada em sistemas de produção agropecuária. Entre as técnicas disponíveis de tratamento de resíduos sólidos e efluentes destacam-se a digestão aeróbia e anaeróbia, a compostagem, a separação da fração sólida-líquida, filtração.

O sistema de produção de leite adotado no país é a criação confinada, onde se utiliza uma pequena área com grande quantidade de animais.⁴ Contudo, os bovinos produzem diariamente grandes quantidades de dejetos, podendo alcançar 9% do seu peso e,⁵ quando somado à água utilizada na lavagem das baias, há um aumento expressivo do volume da água residuária. Esses efluentes são ricos em material orgânico e inorgânico que, se dispostos sem tratamento no ambiente, podem causar grandes problemas ambientais,⁶ além de comprometer a qualidade da água e do solo. A composição da água residuária da bovinocultura é variável conforme a alimentação fornecida aos animais, volume de água utilizada e insumos e produtos perdidos, como ração e leite. De maneira geral a água residuária da bovinocultura (ARB) é composta por fezes, urina, resíduos de ração, pelos, produtos de limpeza e desinfecção.

Para tratamento das águas residuárias do setor agropecuário, as pesquisas têm demonstrado o potencial da utilização dos filtros orgânicos.⁷⁻⁹ A filtração consiste na passagem de um fluido (líquido ou gás) por um meio poroso, onde ocorre a retenção de sólidos suspensos através de processos físicos, podendo envolver ainda fenômenos químicos e biológicos, resultando na remoção de impurezas.^{8,10} O fluido pode percorrer o filtro por ação da gravidade, pressão, vácuo ou força centrífuga e, os produtos da separação consistem no que se denomina de filtrado (fluido que passa pelo meio filtrante), que pode estar isento ou conter alguns sólidos, e de uma fração sólida contendo partículas retidas ou adsorvidas, conhecida como torta ou resíduo.

Diversos materiais podem ser utilizados como meio filtrante, contudo no meio rural, destacam-se os resíduos orgânicos como resultado da produção agropecuária e florestal.¹¹ A utilização desses materiais possibilita a remoção dos poluentes das águas residuárias com baixo custo de implantação e operação tornando essa técnica acessível aos pequenos produtores.¹² Deve-se destacar que a filtração é um tratamento primário, cujo objetivo é a retenção de sólidos sedimentáveis. Outros tratamentos, a nível secundário e terciário, devem ser empregados para o tratamento da água visando a remoção de organismos patogênicos e metais pesados. Contudo, a adoção desta técnica de tratamento pode abater os custos de implantação das etapas posteriores. Os resíduos agrícolas, após serem descartados dos filtros, podem ser submetidos a processos de estabilização como a compostagem, obtendo-se um composto que pode ser utilizado como adubo orgânico na agricultura.¹³

Os filtros orgânicos podem ainda apresentar melhor desempenho quando comparados aos filtros convencionais, uma vez que os convencionais são geralmente preenchidos com areia, porém não são recomendados no tratamento de águas residuárias devido à rápida colmatação superficial visto que esses efluentes são ricos em sólidos em suspensão. A utilização de resíduos orgânicos tem a vantagem de apresentar grande disponibilidade e, por serem descartados em abundância na propriedade rural, apresenta um baixo custo de aquisição para o produtor, além de possibilitar a sua utilização como adubo orgânico, após a estabilização. A filtração com esses materiais orgânicos tem se mostrado mais eficiente, além de proporcionar melhorias nas qualidades químicas e físicas dos efluentes.⁸

Os resíduos vegetais lignocelulósicos são materiais de origem orgânica e estão disponíveis em grandes quantidades, sendo considerado um dos recursos renováveis mais abundantes do mundo.^{1,2} Entre as opções de resíduos vegetais disponíveis, destacam-se os provenientes dos setores agrícola (como bagaço de cana-de-açúcar, cascas de arroz, alho, café, soja, fibra de coco, sabugo de milho, palha de feijão, entre outros) e florestal (carvão, serragem de diferentes tipos de madeiras). Estes materiais são constituídos principalmente por celulose (entre 7 e 73%), hemicelulose (6 e 33%) e lignina (2% e 33%).¹⁴

Resultados reportados na literatura demonstram elevada capacidade de retenção dos poluentes presentes nas águas residuárias, sendo observado uma remoção de 90% de cobre, 69% de zinco, 75% de cálcio, 56% de magnésio, 97% de óleos e graxas, 81 a 96% de sólidos suspensos e de 50 a 80% de demanda química de oxigênio.^{7,15-17} A eficiência na retenção ou adsorção de poluentes em meio aquoso, empregando estes resíduos, pode ser explicada pela composição química, que contém uma variedade de grupos funcionais (alcoóis, aldeídos, cetonas, grupos carboxílicos, fenólicos e éteres) capazes de ligar-se aos metais formando complexos com os íons em solução.¹⁴ Essa capacidade torna ainda mais atrativa a utilização dos filtros orgânicos, isso porque os metais pesados, principalmente o chumbo e o cádmio, oriundo das vacinas e rações dadas aos animais podem causar efeitos tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana.¹⁸

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho de filtros orgânicos, constituídos de resíduos agroflorestais no tratamento da água residuária da bovinocultura de leite com vistas à remoção de metais.

2. Material e Métodos

2.1. Instalação do filtro orgânico

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação na Área Experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no município de Seropédica (RJ). Foram utilizados como materiais filtrantes bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), sabugo de milho (*Zea mays*) e serragem de madeira resultante do processamento de diversas espécies florestais. Todos os materiais filtrantes foram secos ao ar, triturados em moinho e passados em peneira para se obter partículas de diâmetro entre 2 e 4 mm.

A água residuária da bovinocultura foi coletada da esterqueira do estábulo do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), também conhecido como “Fazendinha Agroecológica km 47”, situada no município de Seropédica. No momento da coleta da ARB, o rebanho possuía 50 cabeças da raça Girolando Leiteiro, os quais eram mantidos em sistema semi-confinado, sob manejo orgânico de produção. As baias dos animais e demais instalações são limpas com

água, sem o uso de sabão. Foram coletados 450 litros da ARB, os quais foram passados em peneira de 2 mm de diâmetro, visando a retenção dos sólidos grosseiros para evitar o entupimento das mangueiras de alimentação das colunas filtrantes durante o experimento.

As colunas de filtração foram instaladas utilizando três garrafas de polietileno tereftalato (PET) de volume de 3,0 L (Figura 1). Para a montagem dos filtros, fez-se um orifício na parte inferior de uma das garrafas PET, por onde a coluna foi alimentada com a ARB, e foi retirada a parte superior para que se encaixasse numa segunda garrafa, a qual foi cortada a parte superior e inferior. Essa segunda garrafa foi encaixada a uma terceira, a qual foi retirada apenas a parte inferior. Nessa última garrafa, foi acoplada uma mangueira de 10 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento no gargalo para drenagem do filtrado. Essas garrafas foram seladas formando uma coluna de 700 mm de comprimento e 125 mm de diâmetro.

Antes de acondicionar o material filtrante na coluna de filtração, colocou-se areia nas paredes internas para aumentar a rugosidade e com isso evitar a possibilidade de fluxo preferencial da ARB durante a operação. Posteriormente, a coluna de filtração foi preenchida com o material orgânico, de forma gradual, até totalizar 400 g de material orgânico por filtro. Para evitar que o material filtrante flutuasse ao passar a água residuária, e evitar o selamento superficial, foram usados 500 g de brita na parte superior da coluna de filtração. Visando o impedimento do transporte de material filtrante junto ao efluente foi colocada uma gaze na extremidade da mangueira conectada ao gargalo da última garrafa PET.

Para a alimentação dos filtros, a ARB foi transferida para um reservatório de 10 litros sendo revolvida, freqüentemente, para que não houvesse a sedimentação de sólidos no fundo do recipiente. O reservatório possuía torneiras acopladas (cada torneira alimentava um filtro, num total de nove), as quais foram previamente ajustadas, visando à distribuição homogênea da ARB nos diferentes filtros orgânicos avaliados (Figura 2).

O efluente, resultante de cada coluna filtrante, foi coletado a cada 10 L e desse volume uma alíquota de 100 mL que foi imediatamente armazenada e preservada em refrigerador (-4° C) para posterior caracterização química. As amostras retiradas do material afluente também foram preservadas em freezer.

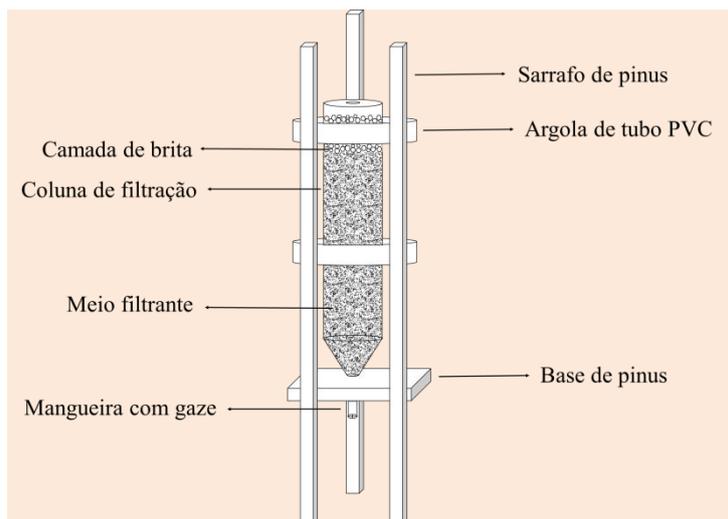


Figura 1. Desenho esquemático detalhando a coluna de filtração confeccionada para a filtragem da água residuária da bovinocultura



Figura 2. Detalhe do ensaio experimental utilizando filtros orgânicos no processo de filtração

2.2. Análises químicas do afluente e efluente da ARB

Foram investigados, além do pH do filtrado, os teores totais dos elementos: cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro, alumínio, sódio e potássio. Foram pipetados 10 mL das amostras do afluente e do efluente da ARB, que foram digeridas, por via úmida em sistema aberto. Foram utilizados 15 mL de ácido nítrico (HNO_3) concentrado, em blocos digestores com tubos de ensaio e funis de vidro na extremidade superior dos tubos, com objetivo de favorecer a condensação e o refluxo

dos gases e vapores gerados na digestão, até atingir a temperatura de 95°C , por 2 h. Após o resfriamento com 2 mL de água destilada, foram acrescentados, nos extratos, 8 mL de peróxido de hidrogênio e diluídos até o volume de 50 mL com água destilada e em seguida filtrados.¹⁹ Os brancos receberam o mesmo tratamento. A digestão de todas as amostras foi realizada em duplicata.

A leitura dos teores totais de potássio foi realizada no fotômetro de emissão de chamas. A leitura dos teores totais de cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro e alumínio, ocorreu em espectrofotômetro de absorção atômica,

modelo Varian 55 B, com capacidade seqüencial rápida e correção com lâmpada de deuterium. Para a validação do método foi utilizado o material de referência certificado Nist 2782 (Industrial Sludge). Os métodos utilizados seguiram a recomendação da EPA 3010A (USEPA, 1992)²⁰.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 encontram-se os resultados das análises físicas e químicas da ARB antes da filtração com os materiais orgânicos. Dos parâmetros analisados, o valor de pH está dentro dos limites estabelecidos para lançamento de efluentes nos corpos hídricos em nível nacional e estadual. As concentrações dos metais (Cu, Zn, Mn, Fe e Al-total) também atendem aos limites ambientais em nível nacional e estadual.^{21,22} É importante destacar que o efluente utilizado nessa pesquisa é advindo da criação de animais no sistema orgânico de produção, que difere substancialmente do sistema convencional por substituir insumos químicos por orgânicos.²³ A utilização de produtos orgânicos na alimentação e o tratamento das doenças do rebanho utilizando a homeopatia pode ter refletido na baixa concentração dos metais.

Na Tabela 2 estão representadas as variações do pH e as remoções dos metais no decorrer dos 50L de ARB tratados nos filtros orgânicos constituídos de serragem de madeira, bagaço de cana-de-açúcar e sabugo de milho. Os resultados são apresentados com intervalos de filtração de

10 L. O material que proporcionou as maiores variações nos valores de pH foi o bagaço de cana-de-açúcar, onde o filtrado alcançou o valor de pH igual a 3,0 nos primeiros 10 L de ARB filtrados, elevando-se para 6,5 ao final do tratamento, sendo este um valor próximo ao pH da ARB bruta (6,9). Os demais materiais filtrantes proporcionaram menores alterações nos valores de pH da ARB.

O comportamento do pH pode ser decorrente das características dos materiais filtrantes, sendo que materiais cuja constituição apresente maiores concentrações de ácidos orgânicos e cuja solubilização libere-os com maior facilidade podem contribuir na redução do pH do efluente filtrado.²⁴ Por outro lado, materiais que apresentem em sua constituição substâncias ácidas ou básicas em menor concentração podem provocar menores alterações no pH. Um estudo conduzido por Oliveira e colaboradores²⁴ caracterizaram diversos resíduos sólidos orgânicos para avaliar seu potencial como meio filtrante no tratamento de águas residuárias. Dos onze materiais investigados pelos referidos autores, o bagaço de cana-de-açúcar apresentou o menor valor de pH em água (4,02).²⁵

É possível observar que os materiais testados apresentaram remoção satisfatória de Fe-total, com eficiências que variaram entre 33 a 74 % durante o tratamento. Ocorreu pouca variação na remoção de Fe-total no decorrer dos 50 L de ARB filtrados sendo que a média de retenção desse elemento e o desvio padrão considerando os valores determinados após 10, 20, 30, 40 e 50 L de ARB filtrados foram de 57±15% utilizando o bagaço de cana-de-açúcar, 50±9% utilizando

Tabela 1. Caracterização da água residuária da bovinocultura utilizada na filtração e os valores máximos permissíveis (VMP) estabelecidos na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente 430/2011²¹ e na Norma Estadual do Rio de Janeiro NT-202.R-10²²

Parâmetros	Valor Médio	VMP Nacional	VMP Estadual
pH	6,91	5,0 a 9,0	5,0 a 9,0
Cu-total (mg L ⁻¹)	0,02	1,0	0,5
Mn-total (mg L ⁻¹)	0,73	1,0	1,0
Ca-total (mg L ⁻¹)	38,17	-	-
Mg-total (mg L ⁻¹)	26,32	-	-
Zn-total (mg L ⁻¹)	0,22	5,0	1,0
Fe-total (mg L ⁻¹)	4,26	15,0	15,0*
Al-total (mg L ⁻¹)	2,54	-	3,0
K-total (mg L ⁻¹)	25,50	-	-

* Valor referente ao teor de ferro solúvel

sabugo de milho e 65±3% utilizando serragem de madeira.

Um segundo elemento químico retido nos filtros orgânicos preenchidos com bagaço de cana-de-açúcar foi o Al, que apresentou uma média de retenção de 29±15% sendo o melhor desempenho observado após a filtração de 30 e 40 L de ARB onde a retenção de Al alcançou 40%. Aos 30 L de ARB filtrados também foi possível obter a maior remoção de Al (15%) utilizando sabugo de milho. Quanto à serragem de madeira, esse material não foi capaz de reter Al-total, ao contrário, contribuiu para a liberação desse elemento para o filtrado aumentando em até 152% a sua concentração. Esse acréscimo comprometeu a qualidade do filtrado e a ARB que inicialmente atendia aos limites ambientais quanto à concentração de Al, passando a não o atender após a filtração.

⁹Brandão e colaboradores caracterizaram diversos materiais como meio filtrante e, entre eles, o bagaço de cana-de-açúcar foi o que apresentou a maior eletronegatividade, possuindo, portanto, maior capacidade de retenção de cátions.⁸Tal fato pode justificar o bom desempenho do bagaço de cana-de-açúcar na retenção de Fe e Al.

A remoção do Zn-total foi considerável utilizando o bagaço de cana-de-açúcar e a serragem de madeira. Este último material apresentou melhor desempenho com retenção média e desvio padrão de 55±24%; já o bagaço de cana-de-açúcar apresentou média de retenção de 50±41% durante a filtração dos 50 L de ARB. A maior remoção ocorreu aos 30 L, onde foi possível alcançar uma redução próxima de 90% utilizando serragem de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar. O sabugo de milho apresentou um comportamento diferente dos demais materiais; inicialmente esse resíduo contribuiu para o acréscimo de Zn do filtrado sem, contudo, ultrapassar os limites para lançamento de efluentes nos corpos hídricos. Apenas após a filtração de 30 L de ARB foi possível observar a retenção de Zn no filtro orgânico, alcançando 36%. Após esse volume foi observado novamente um acréscimo de Zn.

Estudos conduzidos por Oliveira *et al.*²⁵ mostraram que a retenção de Zn nos filtros orgânicos está associada à retenção de sólidos que, por sua vez, são retidos em maior porcentagem à medida que os poros do material filtrante se tornam menores devido à deposição das partículas presentes na água residuária sobre o

meio filtrante. Entretanto, existe uma capacidade máxima de retenção e quando esta é atingida pode haver liberação dos poluentes.²⁴ Assim, materiais que apresentem arquitetura que proporcione a formação de espaço poroso e que apresentem menor compressibilidade, têm menor capacidade de retenção de sólidos¹⁰ e podem, conseqüentemente, exibir menor desempenho na remoção de Zn.

Um quarto elemento químico retido nos filtros orgânicos foi o Mn-total, com destaque para os filtros preenchidos com serragem de madeira seguido do sabugo de milho, onde foi possível obter retenção de Mn de até 26 e 19% respectivamente, aos 20 L de ARB filtrados. O bagaço de cana-de-açúcar não foi eficiente na retenção desse elemento químico promovendo um acréscimo considerável nas concentrações de Mn (2,96 e 1,77 mg/L, nos primeiros 10 e 20 litros filtrados, respectivamente), de modo a impedir o lançamento nos recursos hídricos conforme a legislação nacional (Resolução do CONAMA 430/2011) e estadual (Norma Estadual do Rio de Janeiro NT-202.R-10) que consideram como valor máximo permitido 1,0 mg/L. Outro elemento químico retido nos filtros preenchidos com serragem de madeira e sabugo de milho foi o Mg-total, obtendo-se remoção de até 13 e 20% respectivamente, aos 20 L de filtrados. Utilizando o bagaço de cana-de-açúcar como meio filtrante, foi possível observar pouca variação nos teores de Mg em relação à ARB bruta, sendo a média e o desvio padrão ao longo dos 50 L filtrados de -4±12%. O Ca foi retido apenas no filtro preenchido com sabugo de milho nos volumes iniciais de ARB tratada, sendo que a retenção máxima foi de 17%, observada aos 10 L. Dois elementos químicos não foram retidos em nenhum dos materiais investigados nesse estudo: o Cu-total e o K. O K apresentou um acréscimo médio de -17±6%, -70±75% e -15±27% tratando-se do bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho e serragem de madeira, respectivamente. O Cu aumentou expressivamente com média de -370±246%, -380±135% e -370±104% tratando-se dos materiais supracitados, respectivamente. Apesar desse aumento, os teores de Cu na ARB ainda atendem às legislações ambientais.

É possível observar que os materiais apresentaram capacidade variável de retenção dos metais conforme o elemento químico analisado. A serragem de madeira, por exemplo,

Tabela 2. Atributos químicos da ARB após o tratamento com filtros orgânicos constituídos de bagaço de cana, sabugo de milho e serragem de madeira

Atributos químicos (mg/L)	10L	20L	30L	40L	50L	10L	20L	30L	40L	50L	10L	20L	30L	40L	50L
	Bagaço de cana-de-açúcar					Sabugo de milho					Serragem de madeira				
pH	3,00	4,60	6,52	6,42	6,46	5,61	6,59	7,20	7,20	6,12	7,31	7,08	7,11	7,09	7,07
Cu	0,20	0,07	0,04	0,08	0,11	0,10	0,14	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11	0,06	0,09	0,1
Fe	1,98	1,84	1,09	1,45	2,84	1,97	2,41	2,39	2,32	1,48	1,50	1,40	1,57	1,7	1,37
Mn	2,96	1,77	0,79	0,81	0,87	0,62	0,59	0,62	0,81	0,86	0,75	0,54	0,62	0,62	0,74
Zn	0,18	0,1	0,01	0,04	0,22	0,85	0,22	0,14	0,23	0,24	0,15	0,12	0,02	0,13	0,07
Mg	32,78	26,24	25,94	25,94	25,94	24,01	20,94	24,97	35,6	33,28	24,09	22,97	37,16	37,63	39,61
Ca	55,24	43,84	49,5	49,5	52,18	31,62	34,61	43,72	62,27	58,98	51,26	44,13	68,66	67,29	79,42
Al	2,09	1,54	1,53	1,53	2,28	3,09	2,39	2,1	2,36	3,41	6,39	4,28	4,12	4,77	4,77
K	32,80	29,20	29,20	29,20	29,20	41,90	29,20	32,80	36,50	76,60	31,60	28,00	40,10	21,90	25,50

possibilitou a maior remoção de Zn, porém promoveu um acréscimo de Al. O bagaço de cana-de-açúcar foi capaz de remover Al, mas não reteve o Mn. Diversos fatores podem justificar esse comportamento, entre eles: i) as características do material, como a presença de grupos funcionais específicos que apresentem maior afinidade por um metal em questão; ii) as características das águas residuárias, como a concentração inicial do metal e dos elementos que podem competir por sítios de retenção;¹⁸iii) as propriedades do metal, como a valência do íon metálico; iv) as condições de operação, como as alterações no pH, podem ter interferido nos desempenhos dos filtros orgânicos.

Foi possível observar ainda um aumento de alguns elementos químicos no filtrado, o que pode ser atribuído a sua concentração inicial na ARB e a sua concentração no material filtrante. Para alcançar o equilíbrio é possível que elementos químicos em baixas concentrações na ARB sofra um acréscimo caso o material apresentasse uma concentração maior. Este é o caso do Cu, que estava presente em menor concentração dentre os metais analisados e em termos de porcentagem foi o metal com o maior acréscimo no filtrado. Como os resíduos agroflorestais utilizados como meio filtrante não são advindos de produção orgânica, é provável que a concentração de Cu nesses materiais fosse maior que aquela observada na ARB. Quanto ao K, acredita-se que tenha havido uma intensa solubilização desse cátion presente nos materiais orgânicos, com destaque para o material sabugo de milho que proporcionou uma maior concentração de potássio (70%) no filtrado.

4. Conclusões

Os resíduos bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e sabugo de milho apresentaram desempenho satisfatório na retenção de metais pesados da água residuária da bovinocultura. O bagaço de cana-de-açúcar possibilitou a remoção de mais poluentes com destaque para as remoções de Fe, Zn e Al. Nenhum dos materiais foi efetivo na remoção de Cu e K, ao contrário, contribuiu para o acréscimo desses elementos no filtrado. Com os resultados obtidos nesse estudo é evidente que o filtro orgânico apresenta potencial para o tratamento de água residuária com a remoção de metais, contudo é necessária a caracterização do efluente para identificação dos principais poluentes a serem removidos.

Com relação ao destino final dos resíduos agroflorestais utilizados no processo de filtração, recomenda-se que sejam encaminhados para a estabilização através da compostagem. Para o produtor será obtido, como produto final, o composto que poderá ser utilizado como substrato ou adubo orgânico. A água residuária da bovinocultura após o processo de filtração, isto é o filtrado, poderá ser utilizada na irrigação das culturas que não consumidas *in natura* ou que não tenham a parte comestível em contato com o solo.

Finalizando, os filtros apresentaram desempenho satisfatório, sendo importante destacar que os materiais utilizados não sofreram qualquer tipo de tratamento ou funcionalização, o que poderia aumentar a capacidade de retenção dos metais, mas também poderia inviabilizar a adoção da técnica no meio rural, em especial

para os pequenos produtores. A ARB também não recebeu qualquer pré-tratamento, tais como ajuste de pH ou de temperatura, o que também poderia aumentar a capacidade de retenção, mas tornaria o tratamento mais complexo. Acredita-se que uma possibilidade para aumentar a capacidade de retenção de diversos poluentes é a inserção, numa mesma coluna de filtração, de diferentes resíduos orgânicos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (PPGEAMB), ao Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) pelo apoio técnico e financeiro.

Referências

- ¹ Bhatnagar, A.; M. Sillanpää. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment - a review. *Chemical Engineering Journal* **2010**, *157*, 277. [[CrossRef](#)]
- ² Bhatnagar, A.; Sillanpää, M.; Witek-Krowiak, A. Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification - a review. *Chemical Engineering Journal* **2015**, *270*, 244. [[CrossRef](#)]
- ³ PNRS. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos, 2010. [[Link](#)]
- ⁴ Burgüi, R.; *Confinamento estratégico*; em Mattos, W. R. S.; *A produção animal na visão dos brasileiros*, Fundação de Estudos Agrários Luis de Queiroz: Piracicaba, 2001.
- ⁵ Pereira, M. L.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Estadual de São Paulo, Brasil, 2005.
- ⁶ Francisco, J. P.; Silva, J. B. G.; Nascentes, A. L.; Batista da Silva, L. D.; Folegatti, M. V. Desempenho de filtros orgânicos com o uso de extrato de sementes de moringa oleífera LAM. *Irriga* **2014**, *19*, 705. [[CrossRef](#)]
- ⁷ Magalhães M. A.; Matos A. T.; Denículi, W.; Tinoco, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* **2006**, *10*, 472. [[CrossRef](#)]
- ⁸ Brandão, V. S.; Matos, A. T.; Fontes, M. P. F.; Martinez, M. A. A. Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2003**, *7*, 329. [[CrossRef](#)]
- ⁹ Brandão, V. S.; Matos, A. T.; Martinez, M. A.; Fontes, M. P. P. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2000**, *4*, 327. [[CrossRef](#)]
- ¹⁰ Matos, A. T.; Magalhães, M. A.; Sarmiento, A. P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinocultura. *Revista Engenharia Agrícola* **2010**, *30*, 527. [[CrossRef](#)]
- ¹¹ Magalhães, M. A.; Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T. Uso de filtros orgânicos na remoção de óleos e graxas presentes na água residuária de suinocultura. *Revista Engenharia na Agricultura* **2013**, *21*, 387. [[Link](#)]
- ¹² Ahmad, I.; Ali, N.; Jamal, Y. Treatment of Domestic Wastewater by Natural Adsorbents Using Multimedia Filter Technology. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research* **2016**, *4*, 164. [[Link](#)]
- ¹³ Magalhães, M. A.; Matos, A. T.; Denículi, W.; Tinoco, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2006**, *10*, 466. [[Link](#)]
- ¹⁴ Tran, V. S.; Ngo, H. H.; Guo, W.; Zhang, J.; Liang, S.; Ton-That, C.; Zhang, X. Typical low cost biosorbents for adsorptive removal of specific organic pollutants from water. *Bioresource Technology* **2015**, *182*, 353. [[CrossRef](#)]
- ¹⁵ Lo Monaco, P. A.; Matos, A. T.; Sarmiento, A. P.; Júnior, A. V. L.; Lima, J. T. Desempenho de filtros constituídos por fibras de coco no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Engenharia na Agricultura* **2009**, *17*, 473. [[Link](#)]
- ¹⁶ Magalhães, M. A.; Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T. Uso de filtros orgânicos na remoção de óleos e graxas presentes na água residuária de suinocultura. *Revista Engenharia na Agricultura* **2013**, *21*, 387. [[Link](#)]
- ¹⁷ Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T. Junior, V. E.; Sarmiento, A. P.; Moreira, R. M. G. Desempenho de filtros constituídos por pergaminho de grãos de café (*Coffeasp.*) no tratamento de águas residuárias. *Coffee Science* **2011**, *6*, 120. [[Link](#)]

- ¹⁸Anastopoulos, I.; Bhatnagar, A.; Hameed, B. H.; Ok, Y. S.; Omirou, M. A review on waste-derived adsorbents from sugar industry for pollutant removal in water and wastewater. *Journal of Molecular Liquids* **2017**, *240*, 179. [[CrossRef](#)]
- ¹⁹Tedesco, J. M.; Volkweiss, S. J.; Bohnen, H.; *Análises de solo, plantas e outros materiais*, Porto Alegre, 1985.
- ²⁰USEPA Method 3010A: Acid digestion of aqueous samples and extracts for total metals for analysis by FLAA or ICP spectroscopy, United States Environmental Protection Agency, 1992.
- ²¹Brasil, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução CONAMA nº 430*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011. [[Link](#)]
- ²²FEEMA. NT-202.R-10, Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1986. [[Link](#)]
- ²³Matos, C. F., Paes, J. L., Pinheiro, É. F. M., Campos, D. V. B. de. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. *Revista Engenharia Agrícola* **2017**, *37*, 1081. [[CrossRef](#)]
- ²⁴Oliveira, A. P. S.; Pinheiro, E. F. M.; Campos, D. V. B. de. Avaliação do Tratamento da Água Residuária da Suinocultura Utilizando Filtro Orgânico Constituído de Bagaço de Cana-de-Açúcar. *Revista Virtual de Química* **2017**, *19*, 1970. [[CrossRef](#)]
- ²⁵Oliveira, A. P. S.; Aguiar, T. C.; Araújo, S. C.; Pinheiro, E. F. M.; *Resumos do XXX Congresso Brasileiro de Agronomia*, Fortaleza, Brasil, 2017.