

Artigo

Avaliação do Tratamento da Água Residuária da Suinocultura Utilizando Filtro Orgânico Constituído de Bagaço de Cana-de-Açúcar

Oliveira, A. P. S.;* Pinheiro, E. F. M.; Campos, D. V. B.

Rev. Virtual Quim., 2017, 9 (5), 1970-1984. Data de publicação na Web: 5 de setembro de 2017

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

Evaluation of the Treatment of Wastewater Suinoculture Using Organic Filter Constituted of Sugar Cane Bagasse

Abstract: Sugarcane bagasse proved to be promising for the retention of pollutants from wastewater, thus, the objective of this work was to evaluate the capacity of this residue to retain solids and metals from wastewater suinoculture. Sugarcane bagasse was packed in a filtration column built with PET bottles forming the organic filter. During the operation 50 L of wastewater was filtered, this effluent was evaluated the pH, the electrical conductivity, the concentration of total and volatile solids, the total contents of Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe e Al. After the treatment, it was observed the increase of the pH and a low reduction of the electric conductivity of the filtered. The best efficiency of the organic filter was between 30 and 40 L of filtered effluent, in this interval it was possible to obtain retention of total and volatile solids higher than 40% and retention of Cu, Zn and Mn above 99%. Al was the least element retained in the filter, with removal ranged between 13 and 19% in the 30 and 40 L of filtered effluent.

Keywords: Effluent treatment; metal retention; organic waste.

Resumo

O bagaço de cana-de-açúcar mostrou-se promissor na retenção de poluentes das águas residuárias, assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade desse resíduo em reter sólidos e metais da água residuária da suinocultura (ARS). O material foi acondicionando em uma coluna de filtração construída com garrafas PET e preenchida com o bagaço de cana-de-açúcar triturado, constituindo o filtro orgânico. Durante a operação foram filtrados 50 L de ARS, desse efluente avaliou-se o pH, a condutividade elétrica, a concentração de sólidos totais e voláteis, os teores totais de Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe e Al. Após o tratamento, observou-se o aumento do pH e uma baixa redução da condutividade elétrica da ARS filtrada. A melhor eficiência do filtro orgânico foi entre 30 e 40 L de efluente filtrado, nesse intervalo foi possível obter retenção de sólidos totais e voláteis maior que 40% e retenção de Cu, Zn e Mn acima de 99%. O Al foi o elemento menos retido no filtro, com remoção entre 13 e 19% no intervalo de 30 e 40 L de ARS filtrada.

Palavras-chave: Tratamento de efluente; retenção de metais; resíduo orgânico.

* Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Campus Seropédica, CEP 23890-000, Seropédica-RJ, Brazil.

✉ adrianasousaes@hotmial.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20170116](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170116)

Avaliação do Tratamento da Água Residuária da Suinocultura Utilizando Filtro Orgânico Constituído de Bagaço de Cana-de-Açúcar

Adriana Paulo de S. Oliveira,^{a,*} Érika Flávia M. Pinheiro,^b David V. B. de Campos^c

^a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Campus Seropédica, 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil.

^b Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Campus Seropédica, 23890-000, Seropédica-RJ, Brasil.

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

* adrianasousaesa@hotmail.com

Recebido em 30 de agosto de 2017. Aceito para publicação em 30 de agosto de 2017

1. Introdução

2. Material e Métodos

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização inicial do bagaço de cana-de-açúcar e da ARS

3.2. Concentração de sólidos, pH e CE no efluente do filtro orgânico

3.3. Concentração de metais no efluente do filtro orgânico

4. Conclusões

1. Introdução

O desenvolvimento da suinocultura proporcionou benefícios econômico e social à sociedade, alcançou índices de produção elevados por meio de melhoramento genético, nutricional e ambiência.¹ Porém, a gestão dos resíduos gerados na atividade não acompanhou tal expansão, principalmente no sistema intensivo de criação onde há grandes volumes de água residuária produto da higienização dos ambientes.²

A água residuária da suinocultura (ARS) é composta por fezes, urina, resíduos de ração, pelos e produtos de limpeza. Possui grande potencial poluidor devido à elevada carga orgânica, altas concentrações de micro-organismos patogênico e metais, tornando-se um fator de desequilíbrio ambiental que requer tratamento adequado de forma a atender os padrões estabelecidos na Resolução 430/2011 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).¹⁻³

Existe uma variedade de tecnologias para o tratamento da ARS que empregam

processos biológicos e/ou físico-químicos. Em ambos é possível obter um efluente clarificado, mas os custos elevados de instalação e operação, a produção de lodo e procedimentos complexos envolvidos nesses tratamentos limitam sua utilização.⁴

A filtragem da ARS, que se baseia no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas, é uma alternativa de tratamento atraente devido a simplicidade operacional.⁵ Ao avaliar a areia como meio filtrante, notou-se que a presença de pequenas partículas na ARS provoca a rápida colmatação.⁵ Além disso, com o passar do tempo, pode haver necessidade de retrolavagem, resultando na formação de lodo, semelhante ao que ocorre na lavagem dos filtros nas estações de tratamento de água.

Por essa razão é crescente a investigação de resíduos agrícolas como meios sorventes dos poluentes presentes na ARS, pois são materiais abundantes, de baixo custo e após o uso podem ser compostado para a produção de adubo orgânico.^{6,7} Além disso, os constituintes dos resíduos agrícolas são compostos de lignina, celulose e hemicelulose que apresentam grupos funcionais capazes de formar compostos com os íons metálicos em solução enquanto os pequenos poros do material podem reter partículas sedimentáveis e em suspensão.^{8,9}

Para verificar a eficiência de biossorção dos resíduos agrícolas (termo utilizado para se referir a sorção dos materiais lignocelulósicos),⁸ esses materiais são acondicionados em uma coluna de filtração constituindo assim os filtros orgânicos. Entre os materiais investigados como meio filtrante dos filtros orgânicos, o bagaço de cana-de-açúcar mostrou-se promissor na remoção de poluentes de águas residuárias por ser poroso, com elevado teor de celulose e apresentar maior eletronegatividade quando comparado com outros resíduos.^{5,10,11}

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do filtro orgânico preenchido com bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) no tratamento da ARS.

2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Matéria Orgânica e Ciclagem de Nutrientes, no Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Campus Seropédica.

A ARS foi coletada na esterqueira do Setor de Suinocultura, no Instituto de Zootecnia da UFRRJ em dezembro de 2016. A esterqueira possui 8 m³ (2 m de profundidade, 2 m de comprimento e 2 m de largura) e recebe ARS proveniente de 51 baias. No momento da coleta, as baias abrigavam 103 suínos, distribuídos entre as fases de engorda e terminação.

Foram coletados 60 L da ARS, sendo todo o conteúdo passado em peneira de 2 mm de diâmetro para a remoção dos sólidos grosseiros como folhas e galhos que poderiam obstruir o sistema de alimentação do filtro. A operação do mesmo ocorreu no dia seguinte da coleta, do momento da coleta até o início da operação do filtro a ARS foi armazenada em recipiente de polietileno de alta densidade (PEAD) previamente lavado e seco, mantida em local refrigerado a 20°C e protegida da luz do sol.

O bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foi obtido em feira-livre, o mesmo foi moído no triturador Trapp® TRP 40 e seco ao ar por três dias, sendo revolvido duas vezes ao dia. Após esse procedimento, o resíduo foi passado na peneira a fim de conseguir material com a granulometria entre 2 e 8 mm.

O bagaço foi caracterizado por meio da massa específica global e da partícula, porosidade e umidade determinados conforme metodologia da EMBRAPA,¹² todas as análises foram realizadas em cinco repetições com amostras do bagaço de cana-de-açúcar escolhidas aleatoriamente.

A coluna de filtração foi construída utilizando 3 garrafas de Poli Tereftalato de Etileno (PET) com capacidade de 3,3 L cada. O uso do PET se deu a fim de utilizar material reciclável, de fácil obtenção e de baixo custo.

A coluna foi montada da seguinte forma: da garrafa superior retirou-se o bico e manteve-se o fundo no qual foi feito um furo e encaixado um funil. Da garrafa intermediária, removeu-se o bico e o fundo. E da garrafa inferior retirou-se o fundo e manteve-se o bico por onde o efluente foi drenado.

As garrafas foram coladas, formando um tubo de 80 cm de comprimento. Uma mangueira de 3 mm de diâmetro foi acoplada na parede da garrafa, no meio da coluna, para favorecer a saída de ar evitando a formação de bolhas de ar no funil. A mangueira ficou a uma altura superior ao nível da ARS no funil para impossibilitar que a

água residuária vazasse por ela.

Nas paredes da coluna foram colados o bagaço de cana-de-açúcar para evitar o fluxo preferencial e na parte inferior (bico da garrafa) colocou-se uma tela de malha de 1 mm de diâmetro para impedir o transporte do material filtrante para fora do filtro.¹³⁻¹⁴

A coluna foi preenchida com 500 g de bagaço de cana-de-açúcar, comprimidas de forma gradual a cada 10 cm. Para impedir o selamento superficial na parte superior,¹⁴ foi adicionado 800 g de brita zero previamente lavadas e secadas, formando uma camada de 10 cm. Após o preenchimento com o bagaço e a brita, a coluna ficou com 5 cm de borda livre (Figura 1).

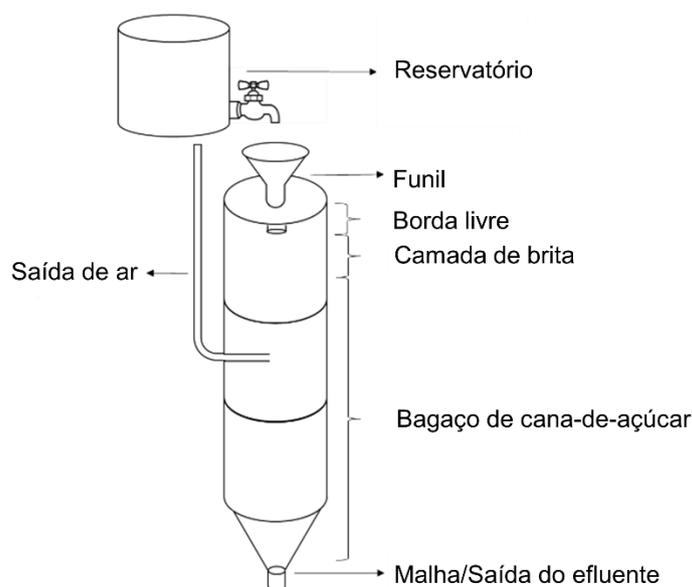


Figura 1. Croqui do experimento durante a operação do filtro orgânico

Para alimentação do filtro, a ARS foi transferida de forma gradual do recipiente de PEAD para um reservatório com capacidade de 15 L e com uma torneira acoplada. Manteve-se o nível da ARS no reservatório constante durante o experimento para garantir uma vazão regular. A ARS foi ainda revolvida para que não houvesse sedimentação de material no fundo do reservatório. O filtro foi operado por 7 horas ininterruptas, durante esse período foram obtidos 50 L de ARS filtrada.

A avaliação do desempenho do filtro orgânico foi verificada por meio das características físicas e químicas do afluente e do efluente que incluíram sólidos totais e voláteis, pH, condutividade elétrica e metais.

Para determinar as características do afluente uma amostra de 100 mL de ARS bruta foi analisada em triplicata momentos antes da operação do filtro. Para caracterizar o efluente, a cada 2 L de ARS filtrada uma amostra de 100 mL foi armazenada para

posterior determinação dos parâmetros físicos e químicos, exceto para os metais. A determinação destes foi realizada com uma amostra composta por dez amostras simples de 50 mL cada coletadas a cada 2 L de ARS filtrada. Assim foram obtidas 5 amostras compostas para quantificação dos metais e 25 amostras simples para a quantificação dos sólidos, pH e condutividade elétrica.

Todas as amostras do efluente foram acondicionadas e armazenadas conforme estabelecido na NBR 9898,¹⁵ as análises dos parâmetros definidos para avaliar o desempenho do filtro orgânico foram realizadas em triplicata no dia seguinte de operação do filtro, exceto o pH e a condutividade elétrica que foram determinados logo após encerrar a filtração.

Os teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) foram quantificados pelo método gravimétrico.³ O pH foi medido com

o equipamento Digimed® DM 22 e a condutividade elétrica em condutivímetro Tecnonon® MCA 150.

Foram investigados os teores totais dos elementos: cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro e alumínio. Essas análises foram realizadas de acordo com o método EPA 3052,¹⁷ no extrato obtido da digestão em sistema fechado (digestor Mars Xpress®) utilizando ácido nítrico da marca Vetec com teor de 65%. A leitura ocorreu em espectrofotômetro de absorção atômica, modelo Varian 55 B, com capacidade sequencial rápida e correção com lâmpada de deuterium. Para validação do método foi utilizado o material de referência certificado Nist 2782 (Industrial Sludge). Os valores dos limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) para análise de metais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Limites de detecção e quantificação para análise de metais

Limites	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
	mg L ⁻¹						
LD	4,71	0,60	0,07	0,08	0,002	0,76	1,66
LQ	5,60	0,81	0,07	0,13	0,002	0,76	3,44

Foi calculada a razão C/C_0 para cada variável química e física analisada, que é a relação entre as concentrações de saída (efluente) e de entrada no filtro (afluente). Valor maior que 1,0 significa que o efluente possui teor do parâmetro analisado maior que o afluente.¹⁴

Por meio da análise de regressão foi feito o ajuste de equações matemáticas relacionando a concentração relativa C/C_0 em função do volume de ARS filtrado. Consideraram-se satisfatórios os ajustes que proporcionasse coeficiente de determinação maior que 70% e apresentasse significância mínima de 10% de probabilidade nos coeficientes.¹⁴ A análise estatística foi feita utilizando o software Sisvar 5.6.¹⁸

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização inicial do bagaço de cana-de-açúcar e da ARS

O bagaço de cana-de-açúcar apresentou massa específica global (ρ_G) de 0,04 g cm⁻³, massa específica da partícula (ρ_p) de 0,45 g cm⁻³, porosidade (P) de 0,91 cm⁻³ cm⁻³ e umidade de 9,3%. Esses resultados são semelhantes aos valores reportados na literatura para do bagaço de cana-de açúcar empregado como meio filtrante das águas residuárias em que a ρ_p encontra-se próximo de 0,51 g cm⁻³ e a P é de aproximadamente 0,81 cm⁻³ cm⁻³.^{5,6,19}

A caracterização inicial da ARS é apresentada na Tabela 2. Os resultados mostram que a ARS estava muito diluída, com teores de sólidos e de metais abaixo dos reportados na literatura.^{1,2,20} O principal motivo para essa diluição é que a ARS é encaminhada das baias para a esterqueira por um canal de baixa declividade, o que dificulta o escoamento, sendo empregado um grande volume de água durante a

limpeza. No verão também é utilizado um volume elevado de água por meio de um sistema de ventilação e aspersão visando o controle da temperatura do ambiente. Esses mesmos fatores podem ter interferido no valor da condutividade elétrica da ARS (4,81 mS cm⁻¹). Esse resultado encontra-se abaixo do observado em outros trabalhos para a ARS, como no de Lo Monaco e colaboradores que observou CE de 9,10 mS cm⁻¹.¹⁴

Tabela 2. Características físicas e químicas da água residuária da suinocultura (ARS) e os valores máximos permissíveis (VMP) para lançamento de efluente em corpos hídricos estabelecidos na Resolução CONAMA 430/2011⁷

Parâmetro	ARS	VMP
pH	7,39	5 - 9
CE ^a (mS cm ⁻¹)	4,81	-
ST ^b (mg L ⁻¹)	2.300,00	-
SV ^c (mg L ⁻¹)	1.433,33	-
Ca (mg L ⁻¹)	186,10	-
Mg (mg L ⁻¹)	40,53	-
Cu (mg L ⁻¹)	4,08	1,00
Zn (mg L ⁻¹)	5,20	5,00
Mn (mg L ⁻¹)	1,72	1,00
Fe (mg L ⁻¹)	12,61	15,00
Al (mg L ⁻¹)	11,07	-

a - condutividade elétrica, b - sólidos totais, c - sólidos voláteis

Apesar da diluição, a ARS apresenta concentrações de Cu, Zn e Mn acima dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 430/2011,³ o que impede o seu lançamento nos corpos hídricos conforme apresentado na Tabela 2. A aplicação da ARS no solo também é inviável por apresentar elevada condutividade elétrica que pode provocar a salinização do solo.²⁰

3.2. Concentração de sólidos, pH e CE no efluente do filtro orgânico

Na Tabela 3 são apresentados os valores obtidos para o pH, CE, ST e SV quantificados após o tratamento da ARS no filtro orgânico preenchido com bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 3. Valores de pH, CE, ST e SV da ARS após filtração com bagaço de cana-de-açúcar

Vol. filtrado (L)	pH	CE (mS cm ⁻¹)	ST (mg L ⁻¹)	SV (mg L ⁻¹)
2	7,42	5,04	12250,00	10625,00
4	7,40	4,99	10400,00	8850,00
6	7,38	4,98	6733,33	5350,00
8	7,42	4,86	9350,00	8166,67
10	7,37	4,89	5483,33	4133,33
12	7,37	4,75	3733,33	2916,67
14	7,44	4,76	2950,00	1800,00
16	7,43	4,80	2700,00	1683,33
18	7,46	4,73	2483,33	1416,67
20	7,53	4,84	2100,00	1050,00
22	7,53	4,80	2100,00	1116,67
24	7,61	4,80	1850,00	716,67
26	7,56	4,75	1916,67	1033,33
28	7,54	4,80	1616,67	916,67
30	7,52	4,80	916,67	383,33
32	7,57	4,73	1700,00	600,00
34	7,59	4,80	1650,00	550,00
36	7,59	4,79	1366,67	533,33
38	7,59	4,80	1633,33	666,67
40	7,61	4,73	1283,33	500,00
42	7,68	4,73	633,33	300,00
44	7,68	4,76	1783,33	816,67
46	7,66	4,75	1616,67	433,33
48	7,67	4,71	1450,00	650,00
50	7,83	4,60	2083,33	916,67

De modo geral foi observado um acréscimo nos valores de pH para os 50 L de ARS após o tratamento com o filtro orgânico constituído com bagaço de cana-de-açúcar. Esse comportamento pode ser observado na

Figura 2A com valores da razão C/C_0 maiores que 1 ao longo de todo o processo de filtração, exceto nos 6, 10 e 12 L de ARS filtrados ($C/C_0 > 1$).

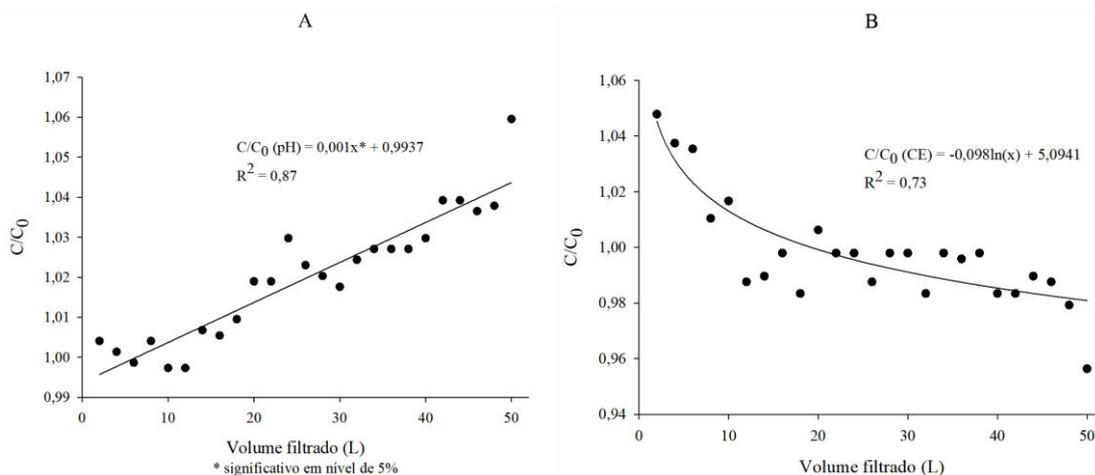


Figura 2. Concentração relativa dos valores de pH (A) e condutividade elétrica (B), do efluente em relação ao afluente (C/C_0).

O maior valor de pH no efluente (7,83) representa um aumento de 6% em relação ao valor de pH observado no afluente. Apesar do aumento, o filtrado ainda encontra-se dentro dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 430/2011 (Tabela 2).⁷ Ressalta-se que o pH alcalino pode contribuir na retenção de metais no filtro orgânico devido a menor solubilidade desses elementos.^{21,22}

Os resultados verificados nesse estudo estão condizentes com os observados na literatura utilizando filtros orgânicos com bagaço de cana-de-açúcar. Um desses estudos foi realizado por Abid e colaboradores empregando o bagaço de cana-de-açúcar como meio filtrante de quatro amostras de esgoto doméstico, como resultado principal, os autores observaram que para todas as amostras o pH aumentou em até 14%.²³ Porém, resultados diferentes são observados quando outros materiais orgânicos são utilizados como meio filtrante. Um exemplo é o estudo feito por Lo Monaco e colaboradores no tratamento da ARS em filtro orgânico construído com tubo PVC (policloreto de vinila) e preenchido com fibra de coco, onde o pH diminuiu de 6,7 para até 4,7 nos primeiros 400 L filtrados. Os autores observaram que a partir desse volume houve uma tendência em manter-se próximo ao pH da ARS bruta.¹⁴

Com relação a condutividade elétrica, foi observado um acréscimo nos primeiros 10 L filtrados (Tabela 3). Tal fato deve-se a solubilização de sais, especialmente o sódio (Na) e o potássio (K), que estão entre os principais elementos que podem ser lixiviados e aumentar a CE do efluente de filtros orgânicos.¹⁹ O potássio, seguido do sódio, é o elemento mais absorvido pela cana-de-açúcar. Para cada $100 \text{ t}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ de colmos, são exportados cerca de $150 \text{ kg}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ de K_2O .²⁴ O sódio não está associado à matéria orgânica e é solúvel em água o que aumenta a mobilidade no filtro.²⁵

A partir dos 10 L de ARS filtrada pode-se observar valores da razão C/C_0 menores que 1, indicando que os valores de CE da ARS efluente mantiveram-se menores que a ARS afluente (Figura 2B). Mesmo assim, essa redução de apenas 4% na condutividade elétrica da ARS efluente não permite sua utilização na agricultura. Os resultados de CE classificam o efluente com grau severo de restrição para uso na irrigação.²¹ Esses valores devem ser reduzidos para evitar problemas osmóticos às culturas e a salinização do solo.¹⁴

Da mesma forma que o pH, observa-se na literatura que alguns materiais orgânicos apresentam a capacidade de aumentar, enquanto que outros a de reduzir os valores da condutividade elétrica do filtrado. Um

exemplo de material orgânico que pode reduzir a CE da ARS efluente é a fibra de coco, Lo Monaco e colaboradores observaram uma redução de 22% na CE no efluente da ARS utilizando como meio filtrante a fibra de coco.¹⁴ Por outro lado, o pergaminho de grãos de café como meio filtrante aumentou a CE da água residuária da cafeicultura em todo o processo de filtração.¹⁴

As curvas de regressão para as concentrações relativas de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) estão apresentadas na Figura 3. Os teores de sólidos totais (Figura 3A) e sólidos voláteis (Figura 3B) apresentaram um comportamento similar, com acréscimo nos primeiros 20 L e uma

posterior redução até a finalização do processo de filtração. Esse aumento é provavelmente, devido ao transporte de pequenas partículas do bagaço da cana-de-açúcar para o efluente da ARS. Acredita-se também que a possível solubilização de Na e K podem ter contribuído para elevar os teores de sólidos dissolvidos e, conseqüentemente, dos sólidos totais no filtrado.

Lo Monaco e colaboradores empregaram fibra de coco no tratamento da ARS e também verificaram aumento de sólidos totais e sólidos dissolvidos nos primeiros 200 L de efluente, os autores atribuíram tal fato ao aumento de sais no filtrado.¹⁴

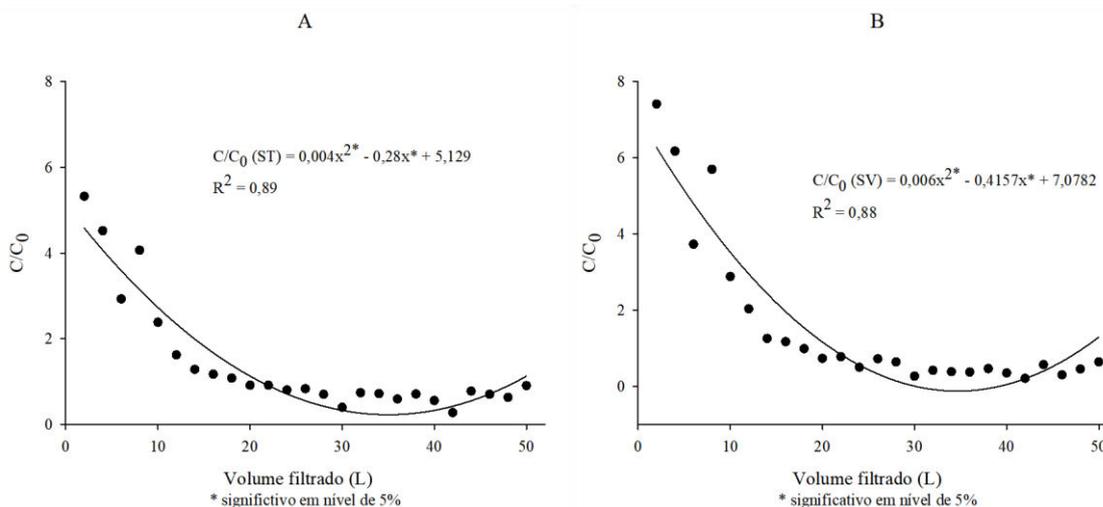


Figura 3. Concentração relativa dos valores de sólidos totais (A) e sólidos voláteis (B) do efluente em relação ao afluente (C/C_0). Valores maiores que 1 na relação C/C_0 indicam aumento nos teores de sólidos

Uma redução significativa dos teores de sólidos totais e voláteis foi observada entre os 30 e 42 L de ARS tratados com o filtro orgânico, alcançando uma retenção de 43% de ST e 65% de SV, respectivamente. Na literatura verificou-se uma redução de ST semelhante ao observado no presente estudo, em um trabalho conduzido por Magalhães e colaboradores foi constatado uma remoção de ST de 43 a 57% utilizando serragem de madeira e de 50 a 56% para o filtro de bagaço de cana-de-açúcar no tratamento da ARS. Os referidos autores

concluíram que a eficiência de retenção de sólidos totais nos filtros orgânicos aumentou com o uso dos mesmos devido a obstrução gradativa dos poros.²⁶ Uma remoção de ST entre 35,2 e 44,6% foi observada por Francisco e colaboradores ao utilizarem fino de carvão, folhas de bambu, folhas de eucalipto, ramos de gliricídia e serragem de madeira como meio filtrante da água residuária da bovinocultura.¹³

Analisando o comportamento das curvas de regressão, verifica-se uma tendência de aumento dos sólidos totais e voláteis na ARS

filtrada, mas ainda abaixo dos valores verificados para a ARS bruta (retenção acima de 9% e de 36% para os ST e os SV, respectivamente). Pode-se inferir que a capacidade de retenção de sólidos foi atingida e que parte desses foram desprendidos com a passagem da ARS, provavelmente o tamanho dos poros no filtro orgânico aumentou, provocado pela desobstrução e pelo intumescimento do material filtrante.²⁷

3.3. Concentração de metais no efluente do filtro orgânico

Na Tabela 4 estão apresentados os valores dos teores totais de cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês, ferro e alumínio quantificados após o tratamento da ARS no

filtro orgânico preenchido com bagaço de cana-de-açúcar.

Com relação aos teores totais de cálcio e magnésio, a maior eficiência de remoção (aproximadamente 40%) foi observada nos 30 e 40 L de ARS filtrados. Esse mesmo comportamento foi observado na retenção de ST e SV (Tabela 3). Acredita-se que a capacidade máxima de retenção de partículas e solutos no filtro foi atingida aos 40 L de ARS filtrados. Observa-se que acima desse volume (50 L) houve um aumento de Ca no efluente, porém cabe ressaltar que a concentração desse elemento permaneceu 32% abaixo dos teores observado na ARS bruta. Para o Mg, a filtração da ARS com bagaço de cana-de-açúcar proporcionou uma redução nos teores totais desse elemento químico ao longo de todo o processo. Uma redução de 61% de Mg foi observada nos últimos 50 L de ARS filtrada.

Tabela 4. Valores médios dos teores de Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe e Al da ARS filtrada e os valores máximos permissíveis (VMP) para o lançamento de efluente em corpos hídricos de acordo com a Resolução CONAMA 430/2011⁷

Vol. filtrado (L)	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
	mg L ⁻¹						
10	204,26	37,82	0,62	1,03	1,46	5,18	7,42
20	117,70	27,53	0,43	0,37	0,82	5,56	9,50
30	107,77	26,14	0,28	0,44	0,59	5,26	9,62
40	105,30	24,09	0,25	0,27	0,47	4,55	8,97
50	126,27	24,83	0,20	0,71	0,42	4,17	8,28
VMP	-	-	1,00	5,00	1,00	15,00	-

O modelo polinomial foi o que proporcionou o melhor ajuste da curva de regressão das concentrações relativas de Ca (Figura 4A) e Mg (Figura 4B) apresentando um R² de 0,94 e 0,95, respectivamente, e coeficientes significativos ao nível de 5%. Esse modelo também foi o que melhor explicou a concentração relativa de ST e SV em função do volume de ARS filtrado (Figura 3). Acredita-se que as remoções de Ca e Mg podem estar associadas à própria retenção física dos sólidos (ST e SV), ou seja, há indícios de que parte desses elementos químicos estão ligados a fração sólida da ARS

e portanto, a retenção dessa fração ocasiona a retenção de Ca e Mg.⁸

Num estudo conduzido por Neto e colaboradores foram reportadas remoções significativas de 79,4% de Ca e 74,3% de Mg, utilizando bagaço de cana-de-açúcar na filtração da ARS.²⁸ Outros materiais como casca de arroz, casca de frutos do cafeeiro, sabugo de milho triturado, serragem de madeira e o fino de carvão vegetal utilizados como meio filtrante apresentaram pequena ou nenhuma retenção de Ca e Mg da ARS, segundo Brandão e colaboradores.⁵ A

divergência nos resultados pode estar relacionada as características de cada resíduo e às diferentes granulometrias dos meios filtrantes investigados, uma vez que há interferência do tamanho das partículas na eficiência dos filtros.^{6,29}

No que diz respeito as concentrações de Cu, Zn e Mn (Figuras 4C, 4D e 4E respectivamente) as curvas de regressão também apresentaram um ajuste polinomial, sendo similar às curvas de remoção de ST e SV (Figura 3A e 3B). Segundo Hsu e colaboradores, os metais Cu, Zn e Mn presentes nos dejetos de suínos estão ligados, principalmente, as frações sólidas. Portanto, a retenção de sólidos totais pode acarretar a retenção desses metais, justificando dessa forma o comportamento análogo das curvas de regressão.³⁰

Nos 30 e 40 L de ARS filtrados pode-se destacar uma considerável retenção de cobre, zinco e manganês, alcançando 99,9% de remoção de Cu e Zn e 99,4% de Mn entre 30 e 40 L filtrados. Esses resultados podem ser atribuídos a capacidade da celulose, lignina e alguns carboidratos de cadeia longa de reter cátions em seus grupos funcionais.³¹ Resultados semelhantes foram reportados na literatura, com retenção de 90% de Cu e 69% de Zn no filtro orgânico preenchido com bagaço de cana-de-açúcar.²⁸ Por outro lado, Brandão e colaboradores não detectaram alterações significativas nos teores de Cu e Zn no efluente do filtro preenchido com outros resíduos orgânicos.⁵ Assim como observado para o Ca e o Mg, as divergências nos resultados pode estar associada com as características do material orgânico utilizado para preencher os filtros.

É importante destacar que após a filtração, os metais presentes na ARS filtrada ficaram abaixo dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA 430/2011 para o Cu (1,0 mg L⁻¹) e o Zn (5,0 mg L⁻¹) a partir dos 10 L filtrados e para o Mn (1,0 mg L⁻¹) a partir dos 20 L.³

Com relação ao elemento químico ferro, houve uma considerável retenção de 58 a

64% nos 30 e 40 L de ARS filtrada respectivamente (Figura 4F). A maior remoção de Fe (67%) foi nos últimos 10L de ARS filtrada, provavelmente devido ao pH que tornou-se mais alcalino e pode favorecer as formas precipitadas de Fe. Esse mesmo comportamento foi observado por Markovic e colaboradores que empregaram serragem de madeira como material filtrante de água ácida drenada de jazidas de cobre. Esses referidos autores constataram que em valores de pH de 7,70 a 7,94 a remoção de Fe foi acima de 99%.³² Num estudo conduzido por Kumar foi observada que a máxima retenção de Fe do efluente sintético utilizando bagaço de cana-de-açúcar como meio filtrante foi de 40%.³³

A ARS bruta já apresentava concentração de Fe abaixo dos 15 mg L⁻¹ estabelecidos na Resolução CONAMA 430/2011,³ e assim permaneceu após o tratamento com filtração.

A curva de regressão para as concentrações relativas de ferro e alumínio também foram polinomiais, porém apresentou o coeficiente 'a' da equação de segundo grau negativo, ou seja, $a < 0$. A maior remoção de alumínio total (33%) foi nos primeiros 10L de tratamento da ARS. Esse elemento químico não possui valor limitante estabelecido na Resolução CONAMA 430/2011 para lançamento de efluentes no corpos hídricos, mas a Resolução CONAMA 396/2008 estabelece valores máximos para as águas subterrâneas a serem utilizadas na irrigação e estabelece que a concentração máxima de Al é de 5,0 mg L⁻¹. A remoção de alumínio no filtro orgânico foi insuficiente para atender esse padrão.³⁴ A baixa retenção de Al no material orgânico (comparado aos demais elementos químicos), se por um lado pode comprometer a qualidade do efluente, por outro lado pode conferir maior valor agrônomo ao material orgânico utilizado no preenchimento do filtro, o qual pode tornar-se um fertilizante orgânico após estabilização do mesmo por processo de compostagem ou vermicompostagem.

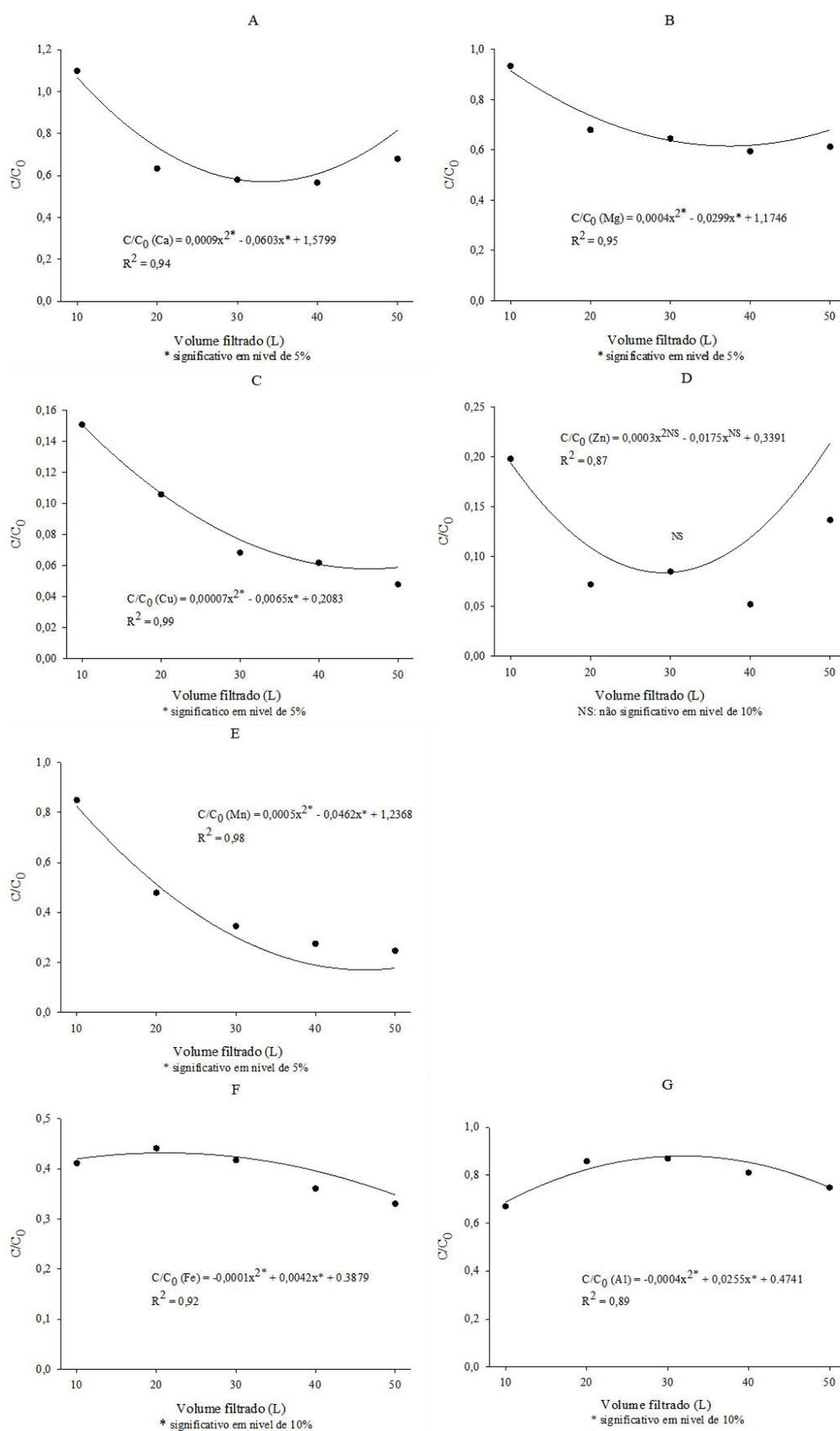


Figura 4. Concentração relativa dos teores totais de cálcio (A), magnésio (B), cobre (C), zinco (D), manganês (E), ferro (F) e alumínio (G) do efluente em relação ao afluente (C/C_0)

Os elementos químicos em maior concentração na ARS são o cálcio (186,10 mg L⁻¹) seguido do magnésio (40,53 mg L⁻¹). Esses elementos podem competir com o alumínio (em menor concentração - 11,07 mg L⁻¹) por sítios de retenção presentes bagaço de cana-de-açúcar. Esse fato é notório ao comparar as curvas de regressão do Ca e Mg (Figuras 4A e 4B) com a curva de regressão do Al (Figura 4G), há uma simetria em relação ao eixo das abscissas. Na faixa de maior retenção de Ca e Mg foi também o intervalo de menor retenção de Al.

4. Conclusões

A coluna de filtração, construída com material reciclável de Poli Tereftalato de Etileno (PET) e preenchida com bagaço de cana-de-açúcar aumentou o pH da ARS e apresentou uma baixa redução da condutividade elétrica, conferindo um grau severo de restrição para uso na irrigação.

A melhor eficiência desse sistema de filtração foi observada nos últimos volumes de ARS filtrados (30 e 40 L). Nesse intervalo foi possível obter uma maior retenção de sólidos totais e voláteis (maior que 40%) e uma maior retenção dos metais e micronutrientes cobre, zinco e manganês (acima de 99%), adequando o efluente aos limites da Resolução CONAMA 430/2011. Esses resultados demonstram o potencial de utilização do filtro orgânico, preenchido com bagaço de cana-de-açúcar, no tratamento da ARS.

O alumínio foi o elemento químico menos adsorvido no bagaço de cana-de-açúcar. Esse resultado mostra o potencial de reuso do material filtrante como adubo orgânico (elevados teores de macro e micronutrientes e baixo teor de alumínio) após processo de estabilização bioquímica como compostagem e vermicompostagem.

Agradecimentos

À Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

Referências Bibliográficas

- ¹ Pereira, E. R.; *Tese de Doutorado*, Universidade de São Paulo, 2006. [Link]
- ² Tavares, J. M. R.; Belli Filho, P.; Coldebella, A.; Oliveira, P.A.V. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. *Livestock Science* **2014**, *169*, 154. [CrossRef]
- ³ Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 430, 13 de março de 2011. Dispõe sobre as 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. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf >. Acesso em: 11 março 2017.
- ⁴ Gisi, S.; Lofrano, G.; Grassi, M.; Notarnicola, M. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies* **2016**, *9*, 10. [CrossRef]
- ⁵ Brandão, V. S.; Matos, A. T.; Fontes, M. P. P.; Martinez, M. A. Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2003**, *7*, 329. [CrossRef]
- ⁶ Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T.; Brandão, V. S. Influência da granulometria dos sólidos triturados de sabugo de Milho e bagaço de cana-de-açúcar como materiais filtrantes no tratamento de águas residuárias da suinocultura. *Revista Engenharia Agrícola* **2011**, *31*, 974. [CrossRef]
- ⁷ 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. [CrossRef]
- ⁸ Demibras, A. Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials* **2008**, *157*, 220. [Link]
- ⁹ Gupta, V. K.; Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal - A review. *Journal of Environmental Management* **2009**, *90*, 2313. [CrossRef]
- ¹⁰ Souza, R. S.; Silva, V. L. M. M.; Lima, M. R. *4º Congresso Norte-Nordeste de Química*, Natal, Brasil, 2011. [Link]
- ¹¹ Viana, A. B.; Gaubeur. I. *2º Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Federal do ABC*, Santo André, Brasil, 2009. [Link]
- ¹² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. *Manual de método de análises de solo*, 2. ed, Rio de Janeiro, 1997. [Link]
- ¹³ Francisco, J. P.; Silva, J. G. B.; Nascentes, A. L.; Silva, L. D. B.; Folegatti, M. V. Desempenho de filtros orgânicos com o uso de extrato de sementes de Moringa oleifera LAM. *Irriga* **2014**, *19*, 705. [CrossRef]
- ¹⁴ Lo Monaco, P. A. V.; Matos, A. T.; Sarmento, 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. [CrossRef]
- ¹⁵ Associação Brasileira De Normas Técnicas - ABNT. NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
- ¹⁶ American Public Health Association – APHA. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21^ª ed. Washington: APHA, 2005. [Link]
- ¹⁷ United States Environmental Protection Agency - USEPA. Method 3052 - Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices, 1996. [Link]
- ¹⁸ Ferreira, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia* **2014**, *38*, 109. [CrossRef]
- ¹⁹ 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]
- ²⁰ Silva, J. M. A. F.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, 2015. [Link]
- ²¹ Almeida, O. A. Qualidade da água de irrigação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Mandioca e Fruticultura. 2010. Disponível em: <www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 11 março 2017.
- ²² Mohan, D.; Singh, K. P. Single- and multi-component adsorption of cádmium and zinc using activated carbon derived from bagasse-an agricultural waste. *Water Research* **2002**, *36*, 2304. [CrossRef]
- ²³ Adib, M. R. M.; Wan Suraya, R. W. S.; Rafidah, H. Optimization of Sugarcane Bagasse in Removing Contaminants from Kitchen Wastewater. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* **2014**, *Special*, 264. [Link]
- ²⁴ Malavolta, E. *Boletim Técnico Ultrafertil*, São Paulo, Brasil, 1982.
- ²⁵ Matos, A. T.; Freitas, W. S.; Lo Monaco, P. A. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. *Revista Ambiente e Água* **2010**, *5*. [Link]
- ²⁶ Magalhães, M. A.; Matos, A. T.; Deniculi, W.; Tinoco, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2006**, *10*, 472. [CrossRef]
- ²⁷ Matos, A. T.; Magalhaes, M. A. Sarmento, A.P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinocultura. *Revista Engenharia Agrícola* **2010**, *30*, 527. [CrossRef]
- ²⁸ Neto, V. S. C.; Freitas, P. S. L.; Rezende, R.; Doll, M. M. R.; Brandão, D. Retenção da carga orgânica e de cátions em filtros operando com águas residuárias da suinocultura. *Revista Irriga* **2011**, *16*, 134. [CrossRef]
- ²⁹ Lo Monaco, P. A.; Matos, A. T.; Jordão, C. P.; Cecon, P. C.; Martinez, M. A. Influência da

granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* **2004**, *8*, 116. [CrossRef]

³⁰ Hsu, J. H.; Lo, S. L. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environmental Pollution* **2000**, *114*, 119. [CrossRef]

³¹ Matos, A. T.; Brandão, V. S. Removal of Cu and Zn from swine raising wastewater using organic filters. *Environmental Technology* **2003**, *24*, 178. [CrossRef]

³² Markovic, R.; Stevanovic, J.; Stevanovic, Z.; Bugarin, M.; Nedeljkovic, D.; Grujic, A.; Stajic-Trosic, J. Using the low-cost waste materials

for heavy metals removal from the mine wastewater. *Materials Transactions* **2011**, *52*, 1849. [CrossRef]

³³ Kumar, A. Bachelor of Technology, National Institute of Technology Rourkela, Rourkela, 2015. [Link]

³⁴ Conselho Nacional Do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 396, 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <[http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%](http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%>)>.

Acesso em: 29 junho 2017.