

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTROS ORGÂNICOS NO
TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA
LEITEIRA

Anieli de Souza Marques

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTROS ORGÂNICOS NO
TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA
LEITEIRA**

ANIELI DE SOUZA MARQUES

Sob a Orientação da Professora
Érika Flávia Machado Pinheiro

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências** no Curso de Pós Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de concentração: Meio Ambiente.

Seropédica, RJ
Junho de 2017

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M357a

Marques, Anieli de Souza, 1986-
Avaliação do desempenho de filtros orgânicos no
tratamento da água residual de bovinocultura
leiteira / Anieli de Souza Marques. - 2017.
49 f.: il.

Orientadora: Érika Flávia Machado Pinheiro.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em
Engenharia Agrícola e Ambiental, 2017.

1. Biofiltro. Tratamento primário. Fertilizante
orgânico. Água de reuso. I. Pinheiro, Érika Flávia
Machado, 1975-, orient. II Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós Graduação em
Engenharia Agrícola e Ambiental III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

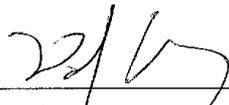
ANIELI DE SOUZA MARQUES

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de Concentração em Meio Ambiente.

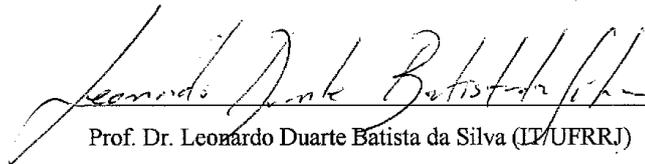
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 30/06/2017.



Prof. Dr. Érika Flávia Machado Pinheiro (IA/UFRRJ)
Orientadora



Dr. David Vilas Boas de Campos (EMBRAPA)



Prof. Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva (II/UFRRJ)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus inestimáveis pais, Cleonice Maria e João Batista, pela imensa ajuda e apoio constante. A minha filha Luísa que chegou como fonte inspiradora da minha vida. A minha irmã Ainara pela ajuda constante e apoio.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, pela força para enfrentar os obstáculos e desafios desta jornada e por me fazer acreditar que eu conseguiria finalizar essa etapa de minha vida, trazendo sempre auxílio quando a esperança desaparecia quase por completo.

A minha mãe, meu pai e meus irmãos, por tudo aquilo que representam em minha formação não só profissional, como pessoal principalmente. À Luísa, minha filha, por ter chegado em minha vida para trazer alegria e força para lutar. Ao meu marido Vinicius, por ser paciente, acreditar em meus sonhos e simplesmente fazer parte da minha vida. Ao meu cunhado Rodrigo, por todas as vezes que me levou até a UFRRJ sem medir esforços e a constante motivação. Ao meu tio Noquinha, que ajudou meu pai na confecção dos suportes para o filtro, nunca medindo esforços. E toda minha família que de alguma maneira me apoiaram e motivaram. Aos meus amigos pelo apoio constante e motivação diária.

A minha orientadora Érika Flávia, não somente pela preciosa orientação, como também por acreditar em mim, pelo imenso incentivo, apoio, amizade e exemplo de dedicação e profissionalismo.

Ao professor Dr. David Vilas Boas de Campos por ter sido a pessoa que me incentivou para continuar estudando e acreditar em meu potencial, por ser amigo, incentivador e ainda ter aceitado participar da banca de defesa.

Ao professor Dr. Leonardo Duarte por tudo que fez por mim no decorrer destes dois anos, pela amizade, incentivo, apoio, e por ser quem você é.

Ao professor Dr. Alexandre Lioi, pela amizade, apoio, ajuda e incentivo.

À professora Dr^a. Camila Pinho pelo apoio e incentivo.

À todos os professores do PGEAAmb que de alguma maneira contribuíram em minha formação profissional e pessoal.

À Camila Matos pela ajuda desde o início do mestrado, amizade, apoio e incentivo até o final desta jornada, passamos por muitas coisas que ficaram na memória.

À Shirley e a Camilinha que me acolheram tão bem.

Aos estagiários do Laboratório de Energia e Eletrificação Rural, Giancarlo Bruggianesi, Pedro Belfort, Camila Kelly, Sérgio, Matheus Defanti e Thais, por toda dedicação no início de tudo, medições, análises e por contribuírem de forma expressiva na pesquisa.

À Adriana por toda disposição, auxílio, colaboração e incentivo prestado neste pequeno tempo precioso.

Ao João Paulo Francisco pela imensa contribuição com a pesquisa, disponibilidade e paciência.

À Raquel e a Christine, que sem vocês eu não teria conseguido concluir nossa pesquisa, por toda dedicação, cumplicidade, tempo disponível e amizade. A Tainá, Juliana e Gisele pela grande ajuda com o experimento também.

Ao Martinho, pela imensa contribuição, ajuda, disponibilidade e amizade.

À Iara e ao Rafael que não mediram esforços para ajudar também, por toda colaboração, apoio e amizade.

À Chuly e ao João pela preciosa disponibilidade de ajuda, colaboração e paciência. Ao Anderson, Rosimar e Talita, pela imensa contribuição e disponibilidade de ajuda.

Ao Jair, pela imensa ajuda na leitura das análises, sem sua ajuda não teria dado certo.

Ao Laboratório de Ciclagem de Nutrientes e Matéria Orgânica do Solo, em especial a Mel, Rafaela e Luis.

Aos funcionários do IT, em especial ao Sr. Dedeco. Aos funcionários da Fazendinha do Km 47 RO-RJ, por todo apoio.

Aos professores Dr. Everaldo Zonta e Dr. Juliano Bahiense pela disponibilidade do laboratório.

À todos os amigos do curso de Pós-Graduação pela preciosa convivência e amizade. A todos que contribuíram de alguma forma para realização deste trabalho. Ao final da caminhada tenho o imenso prazer de olhar para trás e ver que nunca caminhei sozinha.

Muito obrigada!

BIOGRAFIA

Anieli de Souza Marques, filha de João Batista de Moura Marques e Cleonice Maria de Souza Marques, nasceu em Barra do Piraí, Rio de Janeiro, em 29 de outubro de 1986. Em fevereiro de 2009, iniciou o Curso de Engenharia Ambiental na Universidade Severino Sombra (USS), em Vassouras, RJ, diplomando-se em junho de 2013.

Em março de 2015, ingressou no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RESUMO

MARQUES, Anieli de Souza. **Avaliação do desempenho de filtros orgânicos no tratamento de água residuária da bovinocultura leiteira.** 2017. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

A pecuária leiteira destaca-se como uma atividade que gera uma grande quantidade de águas residuárias, especialmente quando o sistema de manejo adotado é o confinado. Essas águas residuárias possuem grande quantidade de nutrientes e matéria orgânica, contribuindo para a eutrofização dos lençóis freáticos. A filtração está entre as formas alternativas de tratamento primário da água residuária da bovinocultura, sob sistema orgânico de produção (ARB). O objetivo do trabalho é avaliar o desempenho de filtros orgânicos, constituídos de serragem de madeira, bagaço da cana-de-açúcar e sabugo de milho, no tratamento primário (filtração) da água residuária da bovinocultura de leite. A ARB foi coletada da esterqueira do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), localizado no município de Seropédica (RJ). As colunas de filtração foram constituídas por três garrafas PET, que foram cortadas e seladas. O material orgânico foi coletado no Campus da UFRRJ e acondicionado nas colunas de forma gradual, em camadas de 5 cm de espessura. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições para cada tratamento. Foram avaliadas as características químicas e físicas da ARB antes (afluente) e após o processo de filtração (efluente). Foram realizadas as análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), turbidez, cor, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), metais (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn, Fe e Al) e nitrogênio total. Como resultados principais observou-se que a serragem de madeira apresentou maior eficiência na redução de ST, SV e sódio total. Esse tratamento também aumentou os teores de Zn, Ca e Mg no efluente da ARB. O filtro constituído de sabugo de milho reduziu a turbidez da ARB. Também manteve o pH da ARB próxima ao neutro e indicado para a maioria das culturas (pH= 6,5). Esse material aumentou os teores de N e K total e foi o que apresentou a menor redução de Fe total. O bagaço de cana reduziu a cor aparente, a condutividade elétrica e o teor de alumínio da ARB. Esse material também proporcionou um aumento dos micronutrientes Cu e Mn.

Palavras-chave: Biofiltro. Tratamento primário. Fertilizante orgânico. Água de reuso.

ABSTRACT

MARQUES, Anieli de Souza. **Evaluation of the performance of organic filters in the treatment of dairy cattle wastewater.** 2017. 56p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Dairy farming stands out as an activity that generates a large amount of wastewater, especially when the management system adopted is the confined. These wastewater have a large amount of nutrients and organic matter, contributing to the eutrophication of groundwater. Filtration is among the alternative forms of primary treatment of bovine livestock wastewater under organic production system (ARB). The objective of this work is to evaluate the performance of organic filters, consisting of wood sawdust, sugarcane bagasse and corn cob, in the primary treatment (filtration) of the wastewater of dairy cattle. The filtration columns consisted of three PET bottles, cut and sealed. The material was conditioned in the columns in layers of 5 cm thick, under compression of 16.7 KN m⁻², until all the material was filled (total of 400 g of material per filter). The experimental design was entirely randomized. The chemical and physical characteristics of the ARB before (tributary) and after the filtration process (effluent) were evaluated. The analysis of total solids (ST), volatile solids (SV), turbidity, color, hydrogen ionic potential (pH), electrical conductivity (EC), metals (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn, Fe And Al) and total nitrogen. As main results it was observed that wood sawdust presented higher efficiency in the reduction of ST, SV and total sodium. This treatment also increased the Zn, Ca and Mg contents in the ARB effluent. The filter consisting of corncobs reduced the turbidity of ARB. It also kept ARB pH close to neutral and indicated for most cultures (pH = 6.5). This material increased the total N and K contents and was the one that showed the lowest total Fe reduction. The sugarcane bagasse reduced the apparent color, electrical conductivity and ARB aluminum content. This material also provided an increase in the Cu and Mn micronutrients.

Keywords: Biofilter. Primary treatment. Organic fertilizer. Reuse water.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros obtidos da água residuária da bovinocultura de leite.....	20
Tabela 2. Caracterização física do material orgânico utilizado como filtrante da ARB	28
Tabela 3. Caracterização física e química da ARB bruta (afluente) utilizada no tratamento primário.....	31
Tabela 4. Caracterização física da ARB após o tratamento primário (filtração) com filtros orgânicos constituídos de bagaço de cana-de-açúcar (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	33
Tabela 5. Atributos químicos da ARB após o tratamento primário com filtros orgânicos constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Momento da coleta da ARB na esterqueira utilizando um trator Bauer para facilitar o transporte	25
Figura 2. Filtros orgânicos.....	26
Figura 3. Detalhe do ensaio experimental utilizando filtros orgânicos preenchidos com cana-de-açúcar, sabugo de milho, e com serragem de madeira e, da coleta do efluente para análise, após o tratamento primário da ARB.....	28
Figura 4. Concentração relativa (C/C_0) de sólidos totais na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	34
Figura 5. Concentração relativa (C/C_0) de sólidos voláteis na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	35
Figura 6. Concentração relativa (C/C_0) de cor aparente na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	36
Figura 7. Concentração relativa (C/C_0) de turbidez na ARB em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	38
Figura 8. Concentração relativa (C/C_0) de condutividade elétrica na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	39
Figura 9. Concentração relativa (C/C_0) do pH na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	42
Figura 10. Concentração relativa (C/C_0) de nitrogênio total na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)	44

Figura 11. Concentração relativa (C/C_0) de metais na ARB em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3)45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	OBJETIVO GERAL	17
2.1	Objetivos específicos	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	Pecuária leiteira: impacto ambiental do sistema de produção.....	18
3.2	Água residuária: conceito	19
3.3	Água residuária da bovinocultura.....	21
3.4	Tratamentos da água residuária	23
3.5	Filtração.....	24
3.5.1	Características essenciais de um filtro	25
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.4	Condução do ensaio experimental.....	30
4.5	Análises físicas e químicas no afluente e efluente da ARB	31
4.6	Análise estatística	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1	Caracterização física da ARB após filtração	34
5.1.1	Sólidos totais (ST).....	34
5.1.2	Sólidos voláteis (SV).....	36
5.1.3	Cor aparente	37
5.1.4	Turbidez	38
5.1.5	Condutividade elétrica (CE).....	39
5.2	Atributos químicos avaliados	41
5.2.1	pH.....	40
5.2.2	Nitrogênio total	44
5.2.3	Metais	46
6	CONCLUSÕES	51

8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
----------	---	-----------

1 INTRODUÇÃO GERAL

A bovinocultura leiteira é uma atividade de fundamental importância para o setor agropecuário brasileiro. No Brasil, há cerca de 1,35 milhão de produtor de leite, que somados equivale a um rebanho de 40.770.339 cabeças de gado (ANUALPEC, 2016), sendo esse, um dos segmentos agropecuários que mais apresenta mudanças na utilização de novas tecnologias visando alcançar um aumento na produtividade.

Em relação a produção de leite sob sistema orgânico, está ainda é pequena perto da produção sob sistema convencional. Porém vem crescendo a cada dia, pois os consumidores estão ficando mais exigentes com relação a qualidade do produto, preço justo e com redução de insumos artificiais utilizados na produção e cuidados relacionados ao bem-estar do animal (SOARES et al., 2011). Além do mais, estudos revelam que a produção de leite sob sistema orgânico melhora positivamente a saúde do rebanho. (SAKOWSKI et al., 2012).

O sistema de produção de leite utilizado atualmente é a criação confinada, na qual se utiliza uma pequena área com grande quantidade de animais (BURGUI, 2001). Um dos maiores problemas relacionados a esse sistema de produção intensivo é a grande quantidade de resíduos orgânicos gerados diariamente. De acordo com VITKO (1999), ocorre um consumo de, aproximadamente, 200 litros de água por animal/dia durante a higienização. Esses dados mostram o grande volume de águas residuárias geradas na produção leiteira. A NBR 7229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, define água residuária como ‘o líquido que possui em sua formulação resíduos oriundos da atividade antrópica’.

As características químicas e físicas das águas residuárias produzidas na bovinocultura depende do manejo adotado pelo produtor, mas, de modo geral, apresentam grandes quantidades de nutrientes e matéria orgânica, que podem contribuir com a eutrofização dos lençóis freáticos. As águas residuárias podem ser reutilizadas de diversas formas, no entanto, para o descarte correto necessita que estejam adequadas de acordo com os parâmetros exigidos pela legislação vigente.

O reaproveitamento da água residuária na fertirrigação torna-se uma alternativa viável. No entanto, para a aplicação localizada torna-se necessário um tratamento preliminar e primário para que os riscos relacionados ao entupimento dos emissores, das bombas e tubulações sejam minimizados (MATOS et al., 2006).

A filtração da água residuária está entre as alternativas de tratamento primário quando se visa a reutilização dessa água na agricultura ou, até mesmo quando visa minimizar os

custos com o tratamento convencional. O princípio da filtração baseia-se na ação mecânica de um meio poroso reter impurezas de partículas menores que a do material filtrante utilizado, removendo assim, sólidos do afluente (BRANDÃO et al., 2000). As principais vantagens desta técnica referem-se à remoção de poluentes, ao baixo custo de implantação e aquisição dos materiais filtrantes e a fácil operação (BRANDÃO et al., 2003; MATOS et al., 2010; LO MONACO et al., 2011). Os resíduos, após serem descartados dos filtros podem ser submetidos a processos de bioestabilização, como a compostagem, obtendo-se um composto orgânico (excelente condicionador do solo, favorecendo especialmente a melhoria das suas propriedades físicas, químicas e biológicas) podendo, dessa forma, ser utilizado na agricultura (MAGALHÃES et al., 2006; PEREIRA NETO, 2007).

A escolha do meio filtrante é o critério de maior importância para se obter eficiência no processo de filtração, o diâmetro do material, a altura da coluna de filtração e a pressão exercida no material são parâmetros que devem ser averiguados. Os materiais filtrantes de menor granulometria devem proporcionar um efluente mais depurado, isto é, com melhor qualidade físico-química e biológica. Adicionalmente, materiais de elevada superfície específica devem promover maior adsorção de metais, entretanto, podem produzir uma maior perda de carga na coluna filtrante e conseqüentemente, um curto período de operação do filtro. LO MONACO (2001) verificou que a granulometria do material filtrante entre 2,00 e 2,83 mm proporcionaram maior retenção de sólidos, melhorias significativas na qualidade do efluente e maior tempo de vida útil das colunas filtrantes.

A utilização de elementos filtrantes constituídos de materiais orgânicos, tais como os subprodutos das atividades agroindustriais como o sabugo de milho (BRANDÃO et al., 2000; BRANDÃO et al., 2003), a serragem de madeira, a fibra de coco, o bagaço de cana-de-açúcar (LO MONACO, 2001), palha de feijão (OLIVEIRA et al., 2017) vem sendo estudado e os resultados tem sido satisfatório por sua fácil aquisição, com alta oferta e a possibilidade de reaproveitamento desses materiais filtrantes na compostagem, quando os mesmos atingirem o seu período de vida útil.

A literatura tem demonstrado que a utilização de filtros orgânicos, visando o reaproveitamento da água residuária, traz benefícios para o desenvolvimento da agricultura familiar. Porém, um cuidado especial deve ser levado em consideração pois, cada resíduo agrícola, solo e cultivar agrícola respondem de forma distinta. Portanto, estudos que avaliem a utilização de diferentes materiais filtrantes são essenciais para proporcionar novas informações, viabilizando e otimizando o processo de filtração. A implantação de filtros

orgânicos na zona rural é um projeto exequível para o meio ambiente e para os produtores, pois é uma maneira de permitir o tratamento primário de uma forma simples, de baixo custo e elevada eficiência na remoção de poluentes e ainda viabilizar a produção de um adubo orgânico, tornando-se acessível para o pequeno produtor.

2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é avaliar o desempenho de filtros orgânicos, constituídos de bagaço da cana-de-açúcar, sabugo de milho e serragem de madeira, no tratamento primário (filtração) da água residuária da bovinocultura (ARB) de leite, sob sistema orgânico de produção.

2.1 Objetivos específicos

- i) Caracterizar química e fisicamente a ARB de leite, sob sistema de produção orgânico;
- ii) Caracterizar química e fisicamente a ARB sob sistema orgânico de produção, após o tratamento com os diferentes meios filtrantes (bagaço da cana-de-açúcar, sabugo de milho e serragem de madeira).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Pecuária leiteira: impacto ambiental do sistema de produção

A pecuária leiteira é uma atividade praticada em todo o território brasileiro, sendo de extrema influência na economia do país. O leite está entre os produtos de maior importância oriundo da agropecuária no país, tanto quanto o café e o arroz. Segundo dados da FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, a produção mundial de leite no ano de 2015 foi de 656 mil toneladas. O Brasil se destacou, ocupando o 4º lugar no ranking mundial (ZOCCAL, 2017).

Em relação a produção de leite sob sistema orgânico, esta é pequena quando comparada ao sistema de produção convencional. No entanto, produzir leite sob sistema orgânico no Brasil gera maior renda quando comparada com o sistema convencional de produção, sendo a remuneração de 5% ao ano sob sistema orgânico e 2% sob o sistema convencional (AROEIRA et al., 2006).

Segundo Soares et al. (2011), uma vaca sob sistema orgânico de produção, ordenha por dia 11 litros de leite e, de acordo com a Sociedade Nacional de Agricultura (SNA), 240 produtores de leite no país são seguidores do modelo de manejo orgânico do rebanho, com 2.070 vacas ao total e com produção de, aproximadamente, 7 milhões de litros de leite ao ano.

De acordo com Machado et al. (2008), os consumidores estão cada mais a procura de alimentos com qualidade, visando o bem-estar animal, o mínimo de impacto ambiental causado e a inclusão social. Além da produtividade, a busca por instrumentos que reduzam os impactos ambientais causados pela produção desordenada para acompanhar o crescimento populacional, é o grande desafio para produtores rurais que trabalham com criação de ruminantes.

A agricultura orgânica é definida como aquela que se preocupa e estimula a saúde do agrossistema, os ciclos biológicos e atividade biológico do solo (FAO, 1999). A criação animal deverá ser de forma sustentável e existir a preocupação com a preservação ambiental. Além disso, os princípios da Agroecologia deverão ser utilizados.

A produção de leite sob sistema orgânico vem crescendo a cada dia, pois os consumidores se preocupam gradativamente com a qualidade do produto, preço justo e com redução de insumos artificiais em relação a produção e cuidados relacionados ao bem-estar do animal (SOARES, 2011). Quando o produtor optar pelo tratamento dos bovinos sob

sistema orgânico, observa-se uma melhora positiva na saúde do rebanho (SAKOWSKI et al., 2012).

No Brasil, cerca de 180 milhões de toneladas de resíduos e efluentes são produzidos por ano de animais mantidos em estábulos, entre eles, bovinos, aves e suínos (MAPA, 2014). No entanto, de acordo com o Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), a destinação correta desses dejetos e efluentes constitui-se um fator importante para manter a regularidade ambiental em propriedades rurais. Os dejetos e efluentes gerados requerem tratamento adequado, visto que assim contribuiriam na redução de gás metano, sendo este um gás do efeito estufa o qual impacta muito mais no processo do aquecimento global do que o gás carbônico ou o dióxido de carbono.

No entanto, um dos maiores problemas relacionados ao manejo, sob sistema de confinamento, é a grande quantidade de água utilizada para a limpeza diária das baias dos animais. O consumo médio de água em confinamentos utilizando um sistema hidráulico de limpeza varia de 200 a 250 litros de água por unidade animal dia. Cabe ressaltar que cada animal produz, aproximadamente 10% do seu peso corporal de esterco diariamente (CARVALHO et al., 2006). A pecuária leiteira acarreta grande geração de água residuária, tornando-se potencial poluidor em caso de disposição inadequada dessas águas no solo ou cursos de água, podendo ocasionar eutrofização nos cursos de água (SCHAAFSMA, 2000). Smith et al., (2009) complementam que a eutrofização além de provocar o crescimento excessivo de plantas aquáticas, mortandade dos peixes e outras espécies aquáticas, pode alterar o sabor, o odor, a turbidez e a cor da água, isto principalmente em reservatórios, lagos e/ ou represas. Os mesmos autores destacam como maior problema visível ocasionado por ações antrópicas da atualidade, a eutrofização em corpos de água superficiais.

3.2 Água residuária: conceito

De acordo com a NBR 7229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas a água residuária é definida como o “*líquido que contém resíduos da atividade humana*” (ABNT, 1993). No 2º artigo da Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), a água residuária é definida como “*esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratadas ou não*” (BRASIL, 2005).

De acordo com a CETESB (2012), as águas residuárias podem ser reutilizadas por reuso indireto não planejado da água, reuso indireto planejado da água, reuso direto planejado das

águas e reciclagem de água. A seguir, seguem as definições para cada forma de reutilização das águas residuárias:

Reuso indireto não-planejado da água: quando descarta a água no meio ambiente, de alguma atividade humana e esta é aproveitada, de maneira não intencional (sendo captada a um novo usuário) e não controlada (sujeita apenas a ações naturais, diluição e autodepuração).

Reuso indireto planejado da água: quando descarrega a água em corpos de águas superficiais ou subterrâneas com planejamento, depois de tratadas, sendo utilizadas com controle em atendimento a necessidades de algum uso benéfico.

Reuso direto planejado das águas: A água residuária, depois de tratada, é diretamente encaminhada para os pontos de reuso. Este método vindo sendo praticado em algumas indústrias e na agricultura, como água de irrigação.

Reciclagem de água: é um caso particular do reuso direto planejado onde, o reuso interno ocorre antes da descarga para um sistema geral de tratamento ou para um local de disposição, funcionando como um suplemento para o abastecimento original.

O reuso das águas residuárias apresenta-se como uma prática sustentável onde, a redução da demanda por água potável é a principal vantagem na mitigação sobre a pressão aos mananciais. Dentro dessa ótica, a utilização de águas residuárias tratadas tem papel importante no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos, substituindo a utilização de águas a fins agrícolas, irrigação, entre outros.

No entanto, a utilização de águas residuárias em meio agrícola demonstrou aumento significativamente nas duas últimas décadas, por conta da dificuldade na busca de fontes alternativas de água para a irrigação, devido ao custo elevado dos fertilizantes agrícolas e pelo custo elevado para tratamento das águas para descarga em corpos receptores (HESPANHOL, 2008).

Conforme Bertoncini (2008), o principal objetivo no tratamento de águas residuárias é a diminuição de sólidos totais suspensos e dissolvidos, da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), da demanda química de oxigênio (DQO) e dos organismos patogênicos. A utilização de águas residuárias para fins agrícolas sem o devido tratamento poderá acarretar em alguns riscos potenciais à saúde humana, a contaminação de alimentos, a contaminação direta dos trabalhadores, a contaminação de pessoas próximas por aerossóis e a contaminação de consumidores de animais cuja alimentação é composta de pastagens irrigadas com água residuária sem o devido tratamento, ou criados em lagoas contaminadas (CUNHA et al., 2011).

No entanto, apesar de não existir normas específicas para disposição da água residuária da bovinocultura leiteira nos solos, deve-se seguir os padrões estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água; a Resolução 430 de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes; em termos de água de reuso, e; a Resolução CNRH 121 de 2010, que é mais específica com relação ao reuso em modalidade agrícola e florestal.

Contudo, existe um conjunto de características físicas, químicas e biológicas que contemplam a qualidade da água com destino para agricultura. As características físicas das águas residuárias que devem ser observadas são: cor, turbidez, odor, temperatura e matéria sólida, sendo esta a de maior importância (JORDÃO et al., 1995). A composição da matéria sólida é de aproximadamente 70% de sólidos voláteis e 30% de sólidos fixos.

De acordo com Duarte et al., (2008), a matéria orgânica, o pH, nitrogênio e o fósforo são características químicas que também devem ser estudadas. A matéria orgânica na água residuária pode ser encontrada suspensa ou dissolvida, apresentando, como principais representantes, as proteínas, os carboidratos e os lipídios. As águas residuárias possuem alta quantidade de nutrientes podendo ser utilizadas como fertilizante em propriedades rurais uma vez que se encontra disponível e reduz o custo com adubos. De acordo com a EMBRAPA (1999), a fertirrigação, processo que se aplica fertilizantes no solo juntamente com a água de irrigação, tem como principais benefícios a economia de fertilizantes e mão-de-obra, uma maior eficiência com a aplicação do fertilizante e conseqüentemente um aumento na produtividade.

3.3 Água residuária da bovinocultura

A caracterização da água residuária, proveniente da bovinocultura leiteira, dependerá do manejo adotado pelo produtor. A concentração de nutrientes, presentes nos dejetos que serão misturados com a água de lavagem, está diretamente relacionada com a alimentação dos animais, mais especificamente, com a quantidade e a qualidade dos alimentos que ingerem e os níveis de suplementação (VAN HORN et al., 1994). Além da alimentação, o estado físico do animal (condições de saúde), conforto térmico e ambiental, o sistema de produção (confinamento, semi-confinamento ou pasto), faixa etária, peso, e até a estação do ano interferem na quantidade produzida de dejetos (JUNQUEIRA, 2011).

Com relação a qualidade da água residuária gerada, esta dependerá do sistema de produção animal e dos vários fatores relacionados ao manejo, como o tipo de instalação adotado e o regime de confinamento. De acordo com Matos (2005), o consumo de água produzido nas instalações de bovinocultura de leite pode variar de 40 a 600 litros por vaca ordenhada. Silva et al. (2010) afirmam que vacas leiteiras em confinamento geram de 9 a 12% de seu peso vivo por dia de água residuária.

De uma maneira geral, estes efluentes apresentam grande quantidade de nutrientes e de matéria orgânica, contribuindo para o aumento da demanda de oxigênio e na eutrofização dos corpos d'águas superficiais (SCHAAFSMA, 2000). Mantovi et al. (2003) e Wood et al. (2007) observaram grande variação quanto a caracterização da água residuária gerada nas salas de ordenha, isto por conta da quantidade de água, do uso ou não da cama animal nas baias e dos detergentes utilizados. Na Tabela 1, estão apresentados os valores médios observados por Silva (2012) e Erthal (2008) na caracterização da água residuárias da bovinocultura de leite.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros obtidos da água residuária da bovinocultura de leite.

Parâmetros de qualidade	Valores médios ¹	Valores médios ²
DBO (mg L ⁻¹)	2.380	18028
DQO (mg L ⁻¹)	16.802	16539
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	16.351	7492
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	2.245	697
Fósforo (mg L ⁻¹)	89,35	132
Potássio (mg L ⁻¹)	102,33	362
Magnésio (mg L ⁻¹)	137,55	-
Sódio (mg L ⁻¹)	37,5	91
Cálcio (mg L ⁻¹)	210,10	-
Zinco (mg L ⁻¹)	1,00	2,94
Cobre (mg L ⁻¹)	6,25	1,38
pH	6,54	7,84
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	3,03	4,3

¹ SILVA, 2012; ² ERTHAL, 2008.

De acordo com Brandão (1999), recomenda-se a utilização de filtros para tratamento primário de águas residuárias, em estudo foi observado boa eficiência em relação a separação de sólidos presente em águas residuárias da suinocultura. Brandão et al. (2000) utilizou

resíduo orgânico como material filtrante, verificou melhoria nas qualidades físicas e químicas do efluente utilizado. No entanto, sabe-se da substituição frequente destes materiais quando saturada sua capacidade filtrante, e estes materiais por serem fontes importantes de nutrientes para plantas, poderão ser aproveitados na produção de adubos orgânicos. Porém, para facilitar a disponibilidade destes para as plantas, torna-se necessário um processo de decomposição antes do reaproveitamento (FEBRER, 2000).

3.4 Tratamentos da água residuária

Para que as águas residuárias sejam lançadas em corpos hídricos ou até mesmo no solo torna-se necessário a utilização de sistemas de tratamento que sejam capazes de atender a Legislação Ambiental, no entanto, o efluente deve atingir padrão de lançamento, lembrando que tão lançamento não deverá alterar a classe de enquadramento dos cursos d'água. Entretanto, a utilização dessas águas somente será necessária após passar pelo devido tratamento (MATOS, 2005).

O tratamento de águas residuárias classifica-se em preliminar, primário, secundário e o terciário que não é utilizado com frequência (VON SPERLING, 1996). O tratamento preliminar consiste na remoção de materiais mais grosseiros, como areia, sólidos com granulometria maior, óleos e graxas. Utilizam-se caixas de areia, tanques de flutuação e grades.

O tratamento primário consiste na remoção dos sólidos em suspensão não grosseiros, em unidades de sedimentação e em decantadores. O tratamento secundário consiste na remoção de matérias orgânicas não sedimentáveis e de sólidos, por vezes nitrogênio e fósforo. O tratamento terciário será necessário somente quando não ocorrer a eliminação de poluentes não degradados e de poluentes tóxicos no tratamento secundário.

Caso a opção de reuso das águas residuárias seja via fertirrigação, torna-se necessário um tratamento preliminar e primário, para reduzir riscos com entupimento dos emissores (MATOS et al., 2006). Desde que a disposição das águas residuárias seja o solo e que o tratamento primário atendeu as exigências impostas pela legislação em vigor, poderão ser eliminadas as etapas secundária e terciária de tratamento (MATOS, 2005).

3.5 Filtração

Visando a remoção de sólidos em suspensão, a filtração está entre as formas de tratamento primário, que consiste na passagem de um fluido (gás ou líquido), por um dispositivo (filtro), podendo ser formado por uma ou mais camadas de diversos materiais, conhecidos como “meio filtrante”.

Para obtenção de um filtro orgânico, utiliza-se materiais com capacidade de absorção/adsorção de solutos, retenção de sólidos em suspensão e que sejam materiais provenientes de atividades industriais e agropecuárias, sendo que são encontrados em abundância, possuem baixo custo e ainda podem ser dispostos ao meio ambiente. A filtração consiste na ação mecânica, a qual promove a remoção de sólidos, tendo como princípio básico que um meio poroso retém partículas sólidas de dimensões menores que as do meio filtrante (BRANDÃO et al., 2003).

O aproveitamento de materiais porosos como meio filtrante é recomendado devido a filtração ser um processo físico de separação. O uso de filtros no tratamento de águas residuárias foi evidenciada a partir dos trabalhos de Brandão (1999), o qual obteve ótimos resultados na filtração de águas residuárias da suinocultura.

A utilização de filtros orgânicos tem mostrado eficiência na remoção de 40% de sólidos totais e 75% de sólidos em suspensão (LO MONACO et al., 2009), remoção de sólidos em suspensão variando de 43 a 57% (MAGALHÃES et al., 2006), e remoção de sólidos totais entre 40 e 55% (FRANCISCO et al., 2011).

De acordo com Brandão et al. (2000) o material geralmente utilizado em filtros é a areia, porém não são recomendados na utilização de água residuária devido a rápida colmatação superficial, por serem muito ricos em sólidos em suspensão. A utilização de resíduos orgânicos tem-se mostrado eficientes na substituição da areia para o tratamento de águas residuárias, além de proporcionar melhorias nas qualidades químicas e físicas dos efluentes (BRANDÃO et al., 2003).

Com isso, depois de excedida a capacidade de filtração do meio filtrante, a eficiência do tratamento irá diminuir, tornando a substituição do mesmo. Esta substituição depende da taxa de aplicação de água residuária a que o filtro será submetido (BRANDÃO et al., 2000).

Com o filtro em operação, as partículas sólidas das águas residuárias ficam retidas nos poros do meio filtrante, com o decorrer da filtração, os vazios são obstruídos. Reduzindo o diâmetro dos poros. Esta gradativa obstrução dos poros da coluna filtrante provoca o aumento da perda de carga do filtro (MAGALHÃES, 2002).

Recomenda-se que sempre que a taxa de filtração da água residuária for menor que $0,2 \text{ l m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a operação dos filtros deverá ser encerrada, uma vez que essa taxa se torna demasiadamente lenta para manter o sistema em operação, tornando necessário a substituição dos materiais filtrantes (MATOS et al., 2003).

3.5.1 Características essenciais de um filtro

De acordo com Lo Monaco (2001), o tamanho do material utilizado como meio filtrante, deverá ser uniforme em termos de diâmetro. No entanto, a área calculada de um filtro deverá ser em função do tamanho do material escolhido e da profundidade da coluna, para compensar o diâmetro do material filtrante, a profundidade da coluna deverá ser aumentada. Em filtros lentos, a altura da coluna varia de 300 a 600 mm. Em filtros constituídos de areia, a altura da coluna varia de 600 a 700 mm.

De acordo com Magalhães et al. (2006), a escolha do meio filtrante deverá ser a partir de materiais que proporcionem melhorias na qualidade do efluente filtrado. Deverá ser levado em consideração o diâmetro das partículas e o tipo do material utilizado, com o propósito de reter o máximo de sólidos existentes. Meio filtrantes com poros de diâmetros menores tendem a proporcionar efluente mais depurado; em contrapartida, maior perda de carga nas camadas superiores, e com isso pequeno tempo útil de vida aos filtros.

Brandão (1999), ao realizar pesquisa em vários materiais filtrantes de granulometria maiores que 2 mm, sugeriu que esta fosse reduzida na intenção de maior eficiência na remoção de sólidos em suspensão e dissolvidos, tendo em vista que poros menores, resultaria em um aumento da superfície específica e conseqüentemente maiores sítios de troca para a adsorção de solutos. Lo Monaco (2001), ao utilizar filtros orgânicos constituídos de bagaço de cana, serragem de madeira e sabugo de milho triturado para filtração de águas residuárias da suinocultura, observou maiores taxas de filtração em filtros com as maiores granulometrias (entre 2 e 3 mm) sem que aumente a perda de carga do sistema. Em relação a eficiência de remoção dos atributos estudados, verificou-se melhor eficiência no filtro constituído de serragem de madeira.

De acordo com Brandão et al. (2000) resíduos orgânicos podem ser empregados como materiais filtrantes para água residuária da suinocultura, uma vez que proporcionam melhoria nas qualidades física e química do efluente. Brandão et al. (2003), observaram ao filtrar água residuária de suinocultura em filtros orgânicos, melhores eficiências para a utilização de

bagaço de cana e serragem de madeira, estes apresentaram maior capacidade na retenção de elementos químicos.

Em relação a compactação de cada material na coluna, Matos et al. (2010) observou que para que não ocorra redução na eficiência de remoção de SST e diminuição acentuada na velocidade da filtração, propõe-se que ao exercer compressão no bagaço de cana triturado e na serragem de madeira, deve-se observar redução de 5 a 10% da serragem e 10 a 15% em relação a cana. Esta pressão exercida deverá ser de $16,5 \text{ KN m}^{-2}$ (equivalente a pressão por um homem com massa de 50 kg, apoiado em um pé somente). Matos et al. (2006) recomendam esta mesma compressão ao trabalhar com pergaminho triturado de grão de café, para que se obtenha remoções satisfatórias de sólidos em suspensão filtrando água residuária do descascamento/ despolpa de frutos do cafeeiro.

O tempo ideal para operação ininterrupta dos filtros para águas residuárias de suinocultura foi de aproximadamente 1,5 h, coletando-se 15 litros de efluente em cada coluna de filtração, depois desse tempo o material filtrante deverá ser substituído (Matos et al., 2010).

Francisco et al. (2014), ao avaliarem o desempenho de filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias de bovinocultura de leite com o uso de extrato de sementes de moringa, utilizou-se como material filtrante, fino de carvão, serragem de madeira, ramos de gliricídia, folhas de eucalipto e folhas de bambu, não encontram diferença estatística entre os valores obtidos de remoção de DQO, ST e SST. Porém, justificou-se que a utilização de materiais filtrantes orgânicos gera possibilidade para a utilização em processos de compostagem, sendo estes biodegradáveis.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Coleta da água residuária da bovinocultura

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Seropédica (22° 45' 33" S e 43° 41' 51"), Rio de Janeiro. O clima da região é classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen, com chuvas concentradas no período de novembro a março, precipitação média anual de 1213 mm e temperatura média anual de 24,5°C (SILVA et al., 2013).

A água residuária da bovinocultura sob sistema orgânico de produção foi obtida no 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 ARBO, o rebanho possuía 50 cabeças da raça Girolando Leiteiro, os quais eram mantidos em sistema semi-confinado, sob manejo orgânico de produção. A alimentação é feita a base de pasto de *Brachiaria*, com uma suplementação, no período da seca, de cana-de-açúcar e leguminosa, oriunda da produção orgânica.

As baias dos animais e demais instalações, tais como a casa-de-ordenha e de ferramentas são limpas com água, sem o uso de sabão. Essa água de lavagem, constituída de fezes, urina, pêlos, restos da alimentação e da cama animal, é conduzida por uma tubulação até a esterqueira para posterior tratamento.



Figura 1. Momento da coleta da ARB na esterqueira utilizando um trator Bauer para facilitar o transporte.

A água residuária foi coletada no período da manhã do dia 26 de abril de 2017, diretamente da esterqueira com o auxílio de um trator Bauer, sendo trazida para as instalações do Departamento de Solos da UFRRJ (Figura 1). Ao todo, foram coletados 450 litros da ARB,

as quais foram passadas em peneira de 2 mm de diâmetro, visando a retenção dos sólidos grosseiros, simulando-se a execução de um tratamento preliminar.

4.2 Construção dos filtros orgânicos

Para a realização do experimento, foram construídos filtros orgânicos, constituídos por três garrafas de polietileno tereftalato (PET) de volume de três litros, cortadas e seladas.

Para a montagem dos filtros, foi retirada a parte de cima da garrafa PET, para que se encaixasse numa segunda garrafa, a qual foi cortada a parte de cima e o fundo. Essa segunda garrafa PET foi encaixada a uma terceira, a qual foi retirada a parte do fundo. Essas garrafas foram bem seladas com cola específica e fita adesiva para que não ocorresse vazamentos. O filtro possui 70 cm de comprimento e 125 mm de diâmetro (Figura 2).

Conforme recomendado por Francisco et al. (2014), na parte interna do filtro orgânico e no orifício final da mangueira foi acondicionado uma gaze (1 mm de diâmetro), com o objetivo de evitar o transporte do material filtrante junto ao efluente. Ao todo foram construídos nove filtros orgânicos.

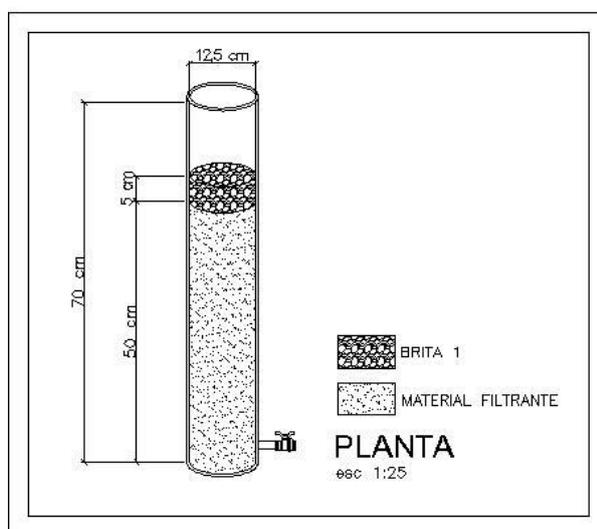


Figura 2. Dimensionamento do filtro orgânico utilizado para o tratamento da ARB.

Também foram construídos nove suportes para os filtros orgânicos e adicionalmente foi construído um outro para apoiar um recipiente para acondicionar a ARB e alimentar os filtros orgânicos. Os suportes foram construídos com três sarrafos de pinos com 7 cm de largura e 1,5 m de altura e argolas de tubo de PVC (150 mm) cortados com 30 mm de largura (Figura 2).

4.3 Material filtrante utilizado no tratamento da ARB

Como material filtrante da ARB foram utilizados bagaço de cana-de-açúcar, sabugo de milho e serragem de madeira. Os materiais filtrantes foram obtidos na região próxima ao campus da UFRRJ. Esses materiais foram secados naturalmente ao ar, passados em picadeira elétrica de forma a obter partículas de diâmetro inferior a 9 mm. Após a utilização da picadeira elétrica, os materiais ainda apresentavam uma faixa granulométrica muito variada, sendo necessário a padronização da granulometria entre os diâmetros de 2 e 4 mm, com o uso de peneiras.

O material filtrante foi acondicionado nas colunas de forma gradual, em camadas de 5 cm de espessura, sob compressão de $16,7 \text{ KN m}^{-2}$ (corresponde a uma pressão exercida por um homem de 50 kg de peso), até ser acondicionado todo o material (total de 400 g de material por filtro). A altura preenchida pelo material filtrante variou entre 40 a 55 cm, dependendo do material orgânico utilizado. Para evitar que o material flutuasse ao receber a água residuária foram usadas 500 g de brita na parte superior da coluna de filtração.

Para evitar a possibilidade de um fluxo preferencial da água residuária no momento da filtração foi colado areia nas margens internas da parede, formando uma camada fina, a fim de aumentar a rugosidade e com isso, a tortuosidade das paredes internas dos filtros. Para diminuir ainda mais o risco de fluxo preferencial nas paredes internas, comprimiu-se, com as pontas dos dedos, a periferia do material acondicionado na coluna durante a fase de enchimento com o material orgânico.

A partir do conhecimento do volume ocupado e da massa do material filtrante, foi possível calcular a densidade global (ρ_g , em g cm^{-3}) da coluna filtrante. Para a determinação da massa específica das partículas (ρ_p , em g cm^{-3}) utilizou-se o método do balão volumétrico, que visa a determinação do volume de álcool etílico necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico de 50 ml, contendo material seco em estufa a 105°C (DONAGEMMA et al., 2011). A partir dos valores de massa específica global (ρ_g) e das partículas (ρ_p), foi possível calcular indiretamente a porosidade total (P , em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) da coluna, promovida pelo preenchimento com os diferentes materiais filtrantes utilizados, através da equação: $P = (1 - \rho_p/\rho_g)$.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores de densidade específica das partículas, densidade global da coluna filtrante e a porosidade total promovida por cada material filtrante avaliado.

Tabela 2. Caracterização física do material orgânico utilizado como filtrante da ARB.

Material Filtrante	ρ_p (g cm ⁻³)	ρ_g (g cm ⁻³)	P (cm ³ cm ⁻³)
Bagaço de cana-de-açúcar	0,51	0,091	0,820
Sabugo de milho	0,69	0,193	0,720
Serragem de madeira	0,98	0,119	0,878

* ρ_p : massa específica das partículas; ρ_g : massa específica global; e P: porosidade.

4.4 Condução do ensaio experimental

Os tratamentos avaliados foram: T1: filtro orgânico preenchido com bagaço de cana-de-açúcar, T2: filtro orgânico preenchido com sabugo de milho, T3: filtro orgânico preenchido com serragem de madeira. Foram feitas três repetições para cada tratamento avaliado. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado.

Após a construção e preenchimento dos filtros com materiais filtrantes orgânicos foi realizada a filtração da ARB bruta (antes do tratamento com filtração). A ARB foi armazenada num recipiente visando a distribuição homogênea nos diferentes filtros orgânicos avaliados. O recipiente é provido de válvulas, cuja função foi controlar o fluxo da ARB na entrada das colunas de filtragem (Figura 3).



Figura 3. Detalhe do ensaio experimental utilizando filtros orgânicos preenchidos com cana-de-açúcar, sabugo de milho, e com serragem de madeira e, da coleta do efluente para análise, após o tratamento primário da ARB.

Durante a condução do ensaio, a ARB foi revolvida para que não ocorresse a sedimentação de partículas sólidas no fundo do recipiente. O efluente foi coletado para

análise física e química, continuamente a cada 2 litros, resultando num volume total de 50 litros por coluna. A cada 10 litros coletados, foi feita uma alíquota de 500 ml para realização das análises.

4.5 Análises físicas e químicas no afluente e efluente da ARB

Foi feita a caracterização química e física da ARB bruta (afluente) e, após o tratamento primário com filtração (efluente). Os resultados da caracterização física e química da ARB estão apresentados na Tabela 3. Foram realizadas as análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), turbidez, cor, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), metais (Ca, Mg, Na, K, Cu, Zn, Mn, Fe e Al) e nitrogênio total. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica do Solo e Química do Solo do Departamento de Solos da UFRRJ.

Para caracterização das águas residuárias afluentes, coletaram-se, após mistura e homogeneização destas, três amostras simples. Das amostras do efluente, retiraram-se alíquotas de 500 ml, que foram imediatamente acondicionadas em “freezer” (-4 °C), para posterior análise química de metais. No restante das amostras, foram determinados o pH, a condutividade elétrica, turbidez, cor e as concentrações de sólidos totais e voláteis.

Para a determinação dos teores de sólidos totais foi realizada a secagem das amostras do afluente e dos efluentes da ARB para a quantificação da massa seca, em porcentagem (% MS). As amostras foram levadas à estufa, com circulação forçada de ar, à temperatura de 105°C, até atingirem peso constante (APHA, 2005).

Para a determinação dos sólidos voláteis, as amostras já secas em estufa, resultantes da determinação de umidade, foram levadas à mufla, onde foram submetidas à temperatura de 575°C, por um período de 2 h (Braile & Cavalcanti, 1979).

Para a determinação da condutividade elétrica, foi utilizado um condutivímetro de bancada digital da marca Digimed, modelo DM-3P, utilizando a solução padrão de 1413 µS/cm, para a calibração do equipamento (APHA, 1995). As medidas do pH foram realizadas através de leitura direta em pHmetro de bancada digital da marca Sensoglass, modelo SP 1800, utilizando eletrodo de vidro e as soluções tampão (pH 4,0 e pH 7,0) para a calibração do equipamento (APHA, 1995). A turbidez foi avaliada por meio do turbidímetro da marca Hanna Instrument, modelo HI-93703 e para a determinação da cor utilizou-se um espectrofotômetro HACH modelo DR3900. A análise de cor e turbidez foram realizadas no

Laboratório de Monitoramento Ambiental I – Água e Efluentes do Instituto de Tecnologia da UFRRJ.

Para a determinação do nitrogênio total (N-total), as amostras, no momento da coleta foram conservadas com adição de 10 ml de ácido sulfúrico (1M) e 1 ml de glicerol, em tubos tipo Falcon de 50 ml. A concentração de N-total foi determinada numa alíquota de 10 ml pelo método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1985). Alíquotas de 20 ml da amostra foram destiladas com 10 ml de hidróxido de sódio e 5 ml (proporção de 20 g de ácido bórico para 700 ml de água destilada a 70°C, 200 ml de etanol P.A. 95% e 20 ml de solução verde bromocresol + vermelho de metila).

Para a determinação dos teores de cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês e alumínio total foi utilizado um espectrofotômetro de absorção atômica e para a leitura das concentrações de sódio e potássio total foi utilizado um (fotômetro de emissão de chama). Foram pipetados 10 ml das amostras do afluente e do efluente, que foram digeridas, por via úmida em sistema aberto. Utilizou-se 15 ml de ácido nítrico 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, foi acrescentado nos extratos 8 ml de peróxido de hidrogênio e diluídos até o volume de 50 ml com água destilada e filtradas (TEDESCO et al., 1985). Os brancos receberam o mesmo tratamento. A digestão de todas as amostras foi realizada em duplicata, em cada repetição.

A Tabela 3 mostra os resultados da caracterização física e química da ARB bruta. Para todas as variáveis analisadas foram construídos gráficos considerando a concentração relativa C/C_0 em função do volume de ARB filtrada. A razão C/C_0 é a relação entre as concentrações de saída (efluente) e de entrada no filtro (afluente). Um valor maior que 1,0 significa que o efluente contém uma concentração maior que a do afluente (Lo Monaco et al., 2009).

Tabela 3. Caracterização física e química da ARB bruta (afluente) utilizada no tratamento primário.

Atributos físicos e químicos	ARB bruta
ST (g L ⁻¹)	4,41
SV (g L ⁻¹)	4,14
pH	6,91
CE (dS m ⁻¹)	1,26
Cor (PE l ⁻¹)	3760
Turbidez (UNT)	181
pH	6,91
Cu (mg L ⁻¹)	0,02
Mn (mg L ⁻¹)	0,73
Ca (mg L ⁻¹)	38,17
Mg (mg L ⁻¹)	26,32
Zn (mg L ⁻¹)	0,22
Fe (mg L ⁻¹)	4,26
Al (mg L ⁻¹)	2,54
Na (mg L ⁻¹)	0,000017
K (mg L ⁻¹)	25,5
N-total (mg L ⁻¹)	577,08

4.6 Análise estatística

Para a análise das variáveis, determinaram-se as curvas de regressão, onde foi considerado satisfatório o ajuste que proporcionasse significância mínima de 1% de probabilidade nos coeficientes. Todos os resultados foram plotados considerando a concentração relativa C/C_0 em função do volume de ARB filtrada.

As análises estatísticas foram processadas utilizando-se o programa estatístico SAEG versão 5.0/1993, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização física da ARB após filtração

Na Tabela 4 está apresentada a caracterização física do efluente da água residuária da bovinocultura de leite sob sistema orgânico de produção.

Tabela 4. Caracterização física da ARB após o tratamento primário (filtração) com filtros orgânicos constituídos de bagaço de cana-de-açúcar (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

Atributos físicos	10 litros	20 litros	30 litros	40 litros	50 litros
Efluente - T1					
ST (g L ⁻¹)	6,99	1,53	1,16	1,17	1,28
SV (g L ⁻¹)	6,10	1,11	0,88	0,81	0,83
Cor (PEl ⁻¹)	2025,20	6118	1800	3240	1535
Turbidez (UNT)	336,46	239,53	119,13	74,10	71,07
CE (dS m ⁻¹)	1,54	1,06	1,21	1,19	1,19
Efluente - T2					
ST (g L ⁻¹)	3,10	1,57	1,42	1,81	1,30
SV (g L ⁻¹)	1,63	1,13	0,95	1,20	0,90
Cor (PEl ⁻¹)	4466,66	2333,33	2100,66	2355	3836,66
Turbidez (UNT)	158,93	120,93	96,80	79,93	71,32
CE (dS m ⁻¹)	2,23	1,39	1,26	1,25	1,22
Efluente - T3					
ST (g L ⁻¹)	2,29	1,56	1,67	1,53	1,65
SV (g L ⁻¹)	1,58	1,01	0,97	0,93	1,18
Cor (PEl ⁻¹)	5625,33	3920	2225	1170	1995
Turbidez (UNT)	210,20	165,66	62,54	52,21	66,72
CE (dS m ⁻¹)	1,26	1,17	1,24	1,28	1,31

5.1.1 Sólidos totais (ST)

A remoção média de ST foi mais eficiente no filtro constituído de serragem de madeira (Figura 4), onde foi obtida remoção de 61% ($C/C_0 = 0,4$), seguido do sabugo de milho (remoção de 57%) e bagaço de cana-de-açúcar (remoção de 56%).

De acordo com a Figura 4, a relação C/C_0 foi menor que 1 ao longo de todo o tratamento de filtração, exceto para o filtro constituído com bagaço de cana-de-açúcar. Verifica-se que, apesar de um aumento de 60% na concentração de ST nos primeiros 10 litros

tratados, esse material orgânico mostrou-se eficiente na remoção de ST nos demais volumes filtrados de ARB pois, a partir dos 20 litros de ARB filtrada foram obtidas remoções de ST na faixa de 60-70%, apresentando a relação $C/C_0 < 1$. Esse aumento inicial de ST pode estar relacionado a lixiviação de açúcares e outros compostos orgânicos presentes no bagaço da cana que são solúveis a água residuária da bovinocultura.

Por outro lado, nos filtros constituídos de serragem de madeira e sabugo de milho foi observado um comportamento diferente do visto para o bagaço de cana-de-açúcar pois, desde o início da filtração (10 L) até o final (50 L) filtrado, foram observadas reduções nos teores de ST na ARB efluente. Lo Monaco (2011) observou reduções de 60-70%, 60% e 60% de ST utilizando filtro constituído de serragem de madeira, sabugo de milho e cana-de-açúcar com granulometria entre 2 e 2,83 mm, respectivamente, no tratamento da água residuária da suinocultura (ARS). Esses valores estão bem próximos aos observados nesse estudo, porém o filtro constituído de serragem de madeira foi mais eficiente na redução de ST do que o de bagaço da cana-de-açúcar no tratamento da ARB. Magalhães et al. (2006), obtiveram remoção de 43 a 57% de ST em filtro constituído por serragem de madeira e de 50 a 56% no filtro em que utilizaram bagaço de cana-de-açúcar, no tratamento água residuária da suinocultura.

Resultados semelhantes também foram observados por Francisco et al. (2011), ao avaliarem o material filtrante constituído por folhas de bambu no tratamento de águas residuárias da bovinocultura leiteira, onde observaram eficiências de remoção entre 40 e 55%. Ao utilizar filtros orgânicos constituídos de diferentes materiais filtrantes, tais como fino de carvão, serragem de madeira, ramos de gliricídia, folhas de eucalipto e folhas de bambu, Francisco et al. (2014) obtiveram eficiência entre 35 e 44 % na redução de ST utilizando ARB como afluente, não apresentando diferença estatística entre os materiais utilizados.

Lo Monaco et al. (2009) também observaram aumento inicial de sólidos no efluente da água residuária da suinocultura, após tratamento com filtro orgânico utilizando fibra de coco. Os autores constataram que esse material orgânico foi eficiente na remoção de sólidos dissolvidos totais, apresentando uma concentração relativa abaixo de 1, ao longo dos 700 L de ARS filtrados. Os autores acreditam que o aumento de K e Na possa ter contribuído para o aumento dos sólidos.

Brandão (1999) obteve eficiência na remoção de sólidos totais ao utilizar bagaço de cana, sabugo de milho, serragem de madeira, fino de carvão, casca de arroz e casca de café (granulometria superior a 2 mm) em águas residuárias de suinocultura, a maior eficiência

observada de remoção foi de 33%, quando utilizou-se o fino de carvão como material filtrante.

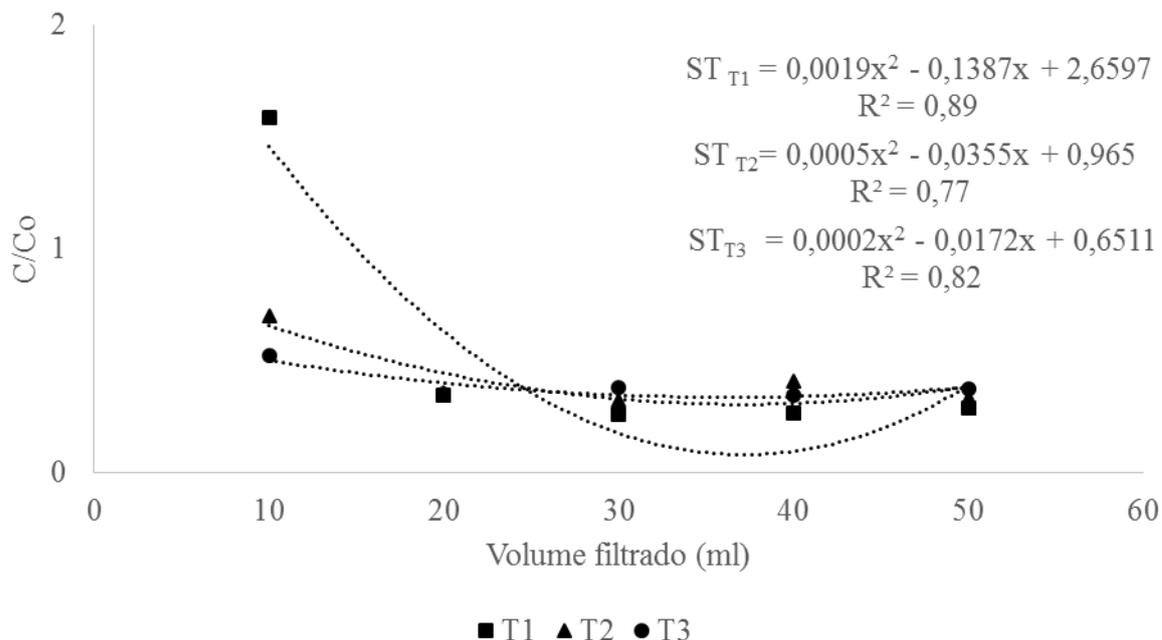


Figura 4. Concentração relativa (C/C_0) de sólidos totais na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- significativo ($P < 0,01$); ST2 – significativo ($P < 0,05$); ST3 – significativo ($P < 0,05$).

5.1.2 Sólidos voláteis (SV)

Na Figura 5 está apresentado o gráfico de SV no efluente dos filtros constituídos de bagaço de cana, sabugo de milho e serragem de madeira. O comportamento de redução dos SV foi similar ao já apresentado para ST (Figura 4).

Com o bagaço de cana, como material filtrante, foi observado um aumento de 47% nos primeiros 10 L filtrados, e uma redução média de 78 % para os demais volumes de ARB filtrados. Com a serragem de madeira a redução média foi de 72% e quando se utilizou o sabugo de milho foi observado uma redução média de 70%. Assim como foi observado nesse estudo, Oliveira et al. (2016) também verificaram que os teores de ST e SV apresentaram um comportamento similar ao tratarem a água residuária da suinocultura com bagaço de cana-de-açúcar. Os autores observaram um acréscimo nos primeiros 20 L, possivelmente devido ao transporte de pequenas partículas do bagaço da cana-de-açúcar para o efluente. Lo Monaco et

al. (2009) também observaram aumento inicial de sólidos da ARS, após tratamento com filtro orgânico de fibra de coco.

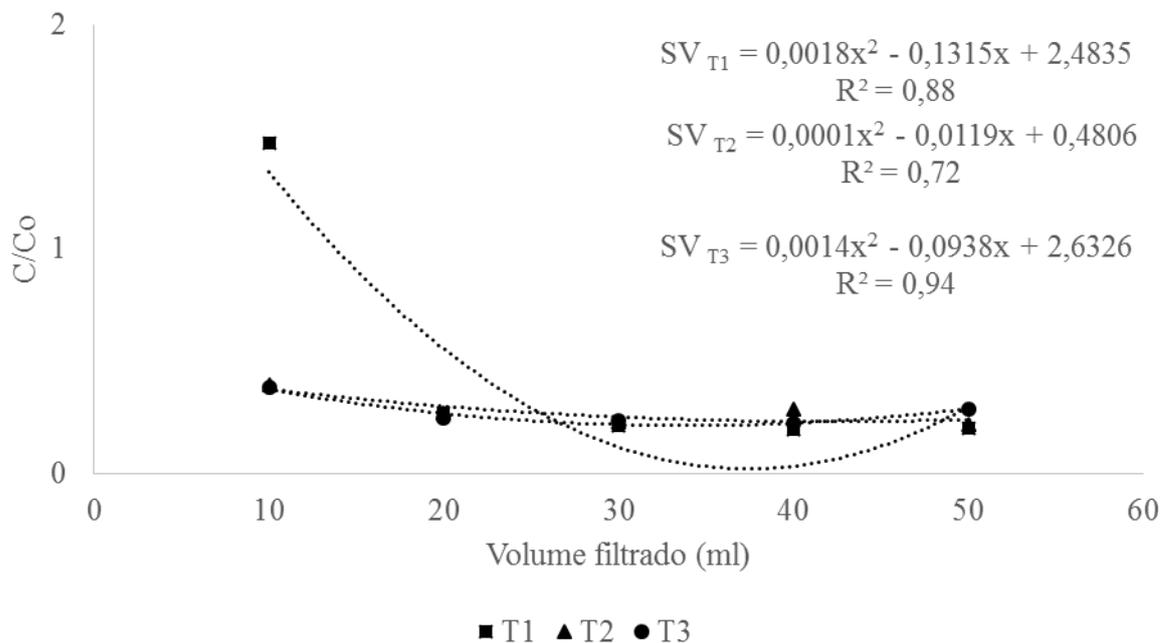


Figura 5. Concentração relativa (C/C_0) de sólidos voláteis na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- significativo ($P < 0,01$); ST2 – significativo ($P < 0,05$); ST3 – significativo ($P < 0,05$).

5.1.3 Cor aparente

Em todos os tratamentos avaliados foi observado uma redução da cor aparente. O filtro constituído com bagaço de cana foi o que apresentou maior redução ao longo do processo de filtração (22%). O filtro constituído com sabugo de milho e a serragem de madeira apresentaram as mesmas reduções para cor aparente (20%). O sabugo de milho e a serragem de madeira, novamente, tiveram um comportamento similar até os 40 litros de efluente da ARB. Esses tratamentos apresentaram, nos primeiros 10 litros filtrados, um C/C_0 maior que 1 e uma redução dessa relação para os demais volumes de água tratada. O sabugo de milho atingiu relação C/C_0 menor que 1, nos primeiros 20 litros tratados de ARB e se manteve até os 40 litros. A serragem de madeira manteve a relação $C/C_0 < 1$ a partir dos 30 L de ARB filtrada (Figura 6).

De acordo com LO MONACO (2001), o aparecimento da cor e da turbidez estão relacionados com a presença de sólidos no afluente e no efluente. No entanto, para Leal et al.

(2002) a cor está relacionada, principalmente, a presença de metais, como Fe e Mn, e de substâncias húmicas, oriunda da humificação da matéria orgânica, dentre outras substâncias dissolvidas na água.

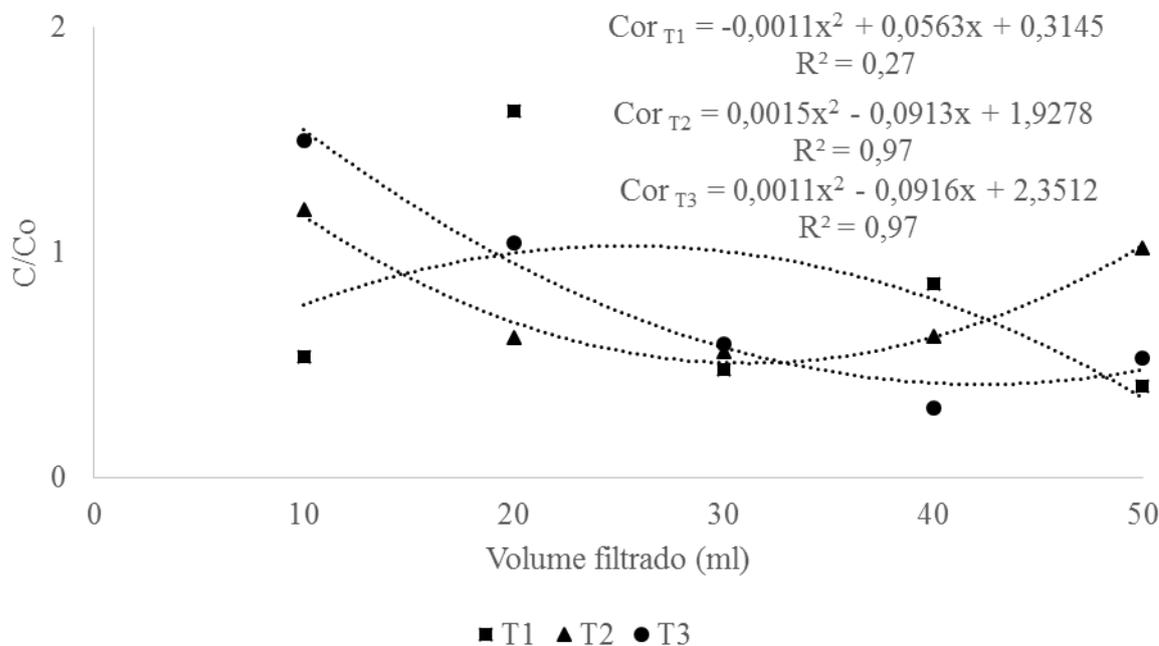


Figura 6. Concentração relativa (C/C_0) de cor aparente na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- significativo ($P < 0,05$); ST2 – significativo ($P < 0,05$); ST3 – não significativo.

5.1.4 Turbidez

Os materiais orgânicos utilizados foram eficientes na redução da turbidez da ARB, exceto o bagaço de cana-de-açúcar. O sabugo de milho foi o que promoveu maior redução (42%), seguido da serragem de madeira (38%) e do bagaço de cana (7%), que apresentou baixa eficiência de remoção de turbidez.

Quando se utilizou o sabugo de milho como material filtrante, a relação C/C_0 manteve-se menor que 1 durante todo o processo. Atingindo uma remoção de 61 % aos 50 litros de ARB filtrada. Ao avaliar o filtro orgânico composto de serragem de madeira, foi verificado um aumento de 16 % nos primeiros 10 litros filtrado, e em seguida reduções significativas de turbidez nos 20, 30, 40 e 50 litros, respectivamente (Figura 7).

A turbidez pode ser utilizada como um indicador da presença de sólidos suspensos, porém somente esse atributo não serve de parâmetro na determinação do grau de risco do entupimento de tubulações (PITTS et al., 2003).

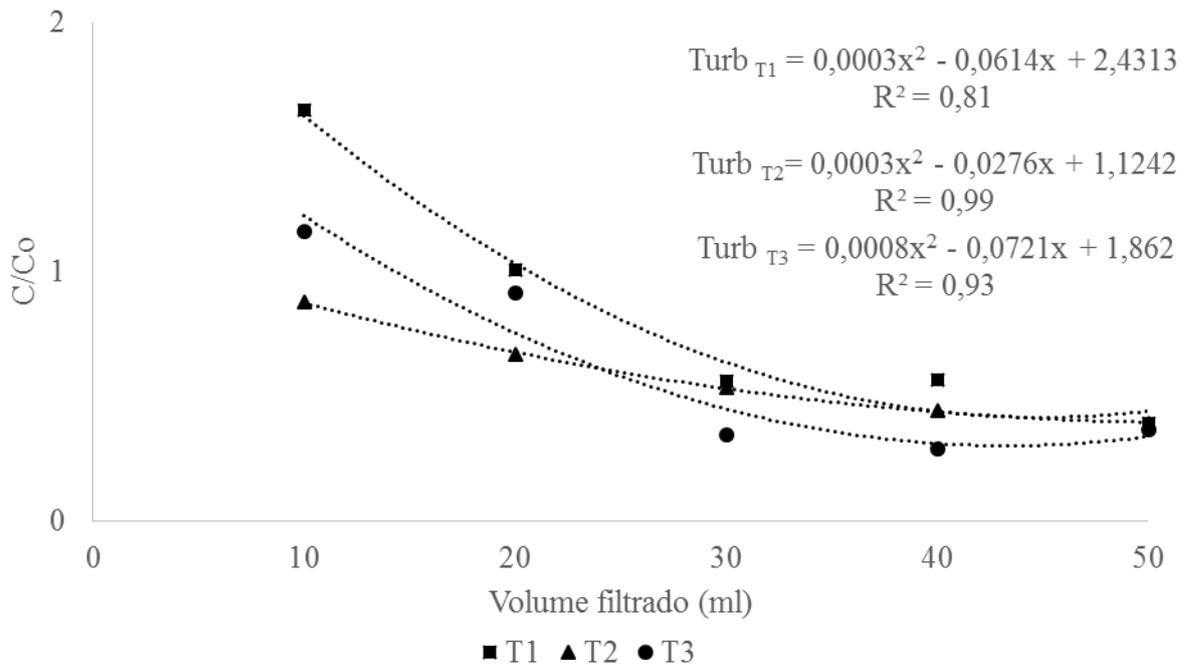


Figura 7. Concentração relativa (C/C_0) de turbidez na ARB em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- não significativo ($P < 0,05$); ST2 – significativo ($P < 0,05$); ST3 – significativo ($P < 0,01$).

5.1.5 Condutividade elétrica

Na Figura 8 encontra-se a concentração relativa para a condutividade elétrica dos efluentes da ARB. Ao contrário das demais variáveis avaliadas (ST, SV e cor) foi observado um comportamento similar (função de 2º grau) para os materiais orgânicos avaliados no parâmetro CE. A menor redução média de CE (0,6%) foi observada com a serragem de madeira como material filtrante. A maior redução média da CE na ARB foi observada com filtros constituídos de sabugo de milho (17%). O filtro constituído com bagaço de cana reduziu somente 1,74% da CE da ARB efluente.

Em relação ao Tratamento 1, o filtro constituído de material filtrante de bagaço de cana-de-açúcar aumentou em 22% a CE em relação ao afluente, nos primeiros 10 litros filtrados. Tal fato se deve a solubilização de sais, especialmente o potássio, presentes no bagaço da cana-de-açúcar. Durante a decomposição da biomassa vegetal, o K é o primeiro elemento químico a ser liberado, sendo solúvel em água. Brandão et al. (2000) mencionaram que os principais elementos que podem ser lixiviados, e aumentar a CE do efluente de filtros orgânicos, são o potássio e o sódio. Esse fato pode ser confirmado e observado mais adiante onde houve um aumento de 30% dos teores de K no efluente da ARB, nos primeiros 10 litros (Tabela 5).

Oliveira et al. (2016) também observaram um acréscimo na CE nos primeiros 10 L filtrados de água residuária da suinocultura e, para os demais 40L de ARS filtrados foi observada uma redução de até 4% na CE. Lo Monaco et al. (2004) utilizando o pergaminho de grãos de café para filtrar ARS observou que em todo o processo de filtração a CE no efluente foi maior que no afluente. Resultados diferentes foram obtidos por Lo Monaco et al. (2009) onde foi observada uma redução na CE ao longo do processo de filtração com fibra de coco da ARS, tendo sido observada redução média de 22%.

Quando o material filtrante utilizado foi o sabugo de milho triturado, um aumento da CE foi estendido até os 30 litros filtrados, somente então, a partir daí que ocorreu uma redução neste parâmetro. A remoção de íons da ARB pelo sabugo de milho e, conseqüentemente, o decréscimo na salinidade no efluente, torna-se interessante, caso este seja utilizado para fins de fertirrigação, minimizando, assim, possíveis problemas osmóticos ao solo e às plantas. No entanto, quando se utilizou a serragem de madeira foi observada uma redução inicial da CE e um aumento no final, aos 40 e 50 L de ARB tratada. A contribuição dos solutos liberados pelo próprio material constituinte da serragem de madeira pode ser responsabilizada pelo diferencial encontrado nos valores de CE para os efluentes da ARB nesse tratamento.

A CE do material afluente já estava num valor bem reduzido ($1,26 \text{ dS m}^{-1}$), provavelmente, devido a elevada precipitação ocorrida dias antes da coleta. Geralmente, a água residuária gerada na fase de terminação apresenta CE elevada devido aos sais e as proteínas que são fornecidos aos animais em quantidades acima da capacidade de assimilação, sendo grande parte excretada nas fezes e na urina (Moral et al. 2008; Mattias, 2006).

Todavia, a taxa de remoção mante-se próxima aos valores da ARB afluente ($1,26 \text{ dS m}^{-1}$), com isso conclui-se que os materiais filtrantes avaliados não apresentaram uma remoção

significativa de íons que causam o aumento da CE da ARB, indicando ser limitada a capacidade de retenção iônica no complexo sortivo do material filtrante. Contudo, vale a pena destacar que a CE da ARB está dentro dos valores permitidos para uso na irrigação, que de acordo com a FAO deve ser menor que 4 dS m^{-1} e possui um grau ligeira a moderada que varia de $0,70$ a $3,00 \text{ dS m}^{-1}$, segundo Ayers & Westcot (1999). Expressando os níveis de salinidade a partir da CE, estudos confirmam que os valores limites de CEs para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas, em dS m^{-1} é de $7,0$ para beterraba açucareira, $6,8$ para sorgo, $6,0$ para trigo, $5,0$ para soja (Silva, 1991). No entanto, plantas de feijão, milho, laranja, limão e maçã já apresentam problemas em solos com $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ de CE (Dias & Blanco, 2010).

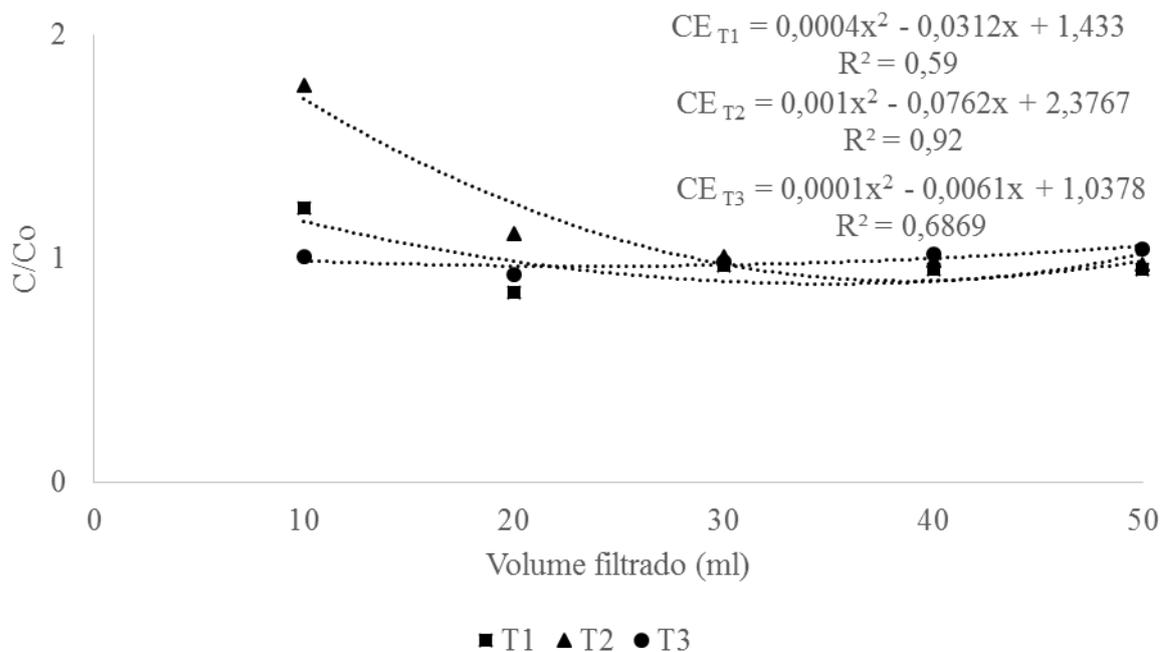


Figura 8. Concentração relativa (C/C_0) de condutividade elétrica na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- significativo ($P < 0,01$); ST2 – significativo ($P < 0,01$); ST3 – não significativo.

5.2 Atributos químicos avaliados

Na Tabela 5 está apresentada a caracterização química do efluente da ARB após tratamento com filtração.

Tabela 5. Atributos químicos da ARB após o tratamento primário com filtros orgânicos constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

Atributos químicos	10 litros	20 litros	30 litros	40 litros	50 litros
ARB – T1					
pH	2,99	4,60	6,52	6,42	6,46
Cu (mg L ⁻¹)	0,17	0,07	0,04	0,08	0,11
Fe (mg L ⁻¹)	1,98	1,84	1,09	1,45	2,84
Mn (mg L ⁻¹)	2,96	1,77	0,79	0,81	0,87
Zn (mg L ⁻¹)	0,18	0,10	0,01	0,04	0,22
Mg (mg L ⁻¹)	32,78	26,24	25,94	25,94	25,94
Ca (mg L ⁻¹)	55,24	43,84	49,50	49,50	52,18
Al (mg L ⁻¹)	2,09	1,54	1,53	1,53	2,28
Na (mg.L ¹)	0,000017	0,000013	0,000013	0,000013	0,000013
K (mg L ⁻¹)	32,8	29,2	29,2	29,2	29,2
N-total (mg L ⁻¹)	705,32	520,97	697,30	593,11	264,49
ARB - T2					
pH	5,61	6,59	7,2	7,2	6,12
Cu (mg L ⁻¹)	0,10	0,14	0,07	0,08	0,09
Fe (mg L ⁻¹)	1,97	2,41	2,39	2,32	1,48
Mn (mg L ⁻¹)	0,62	0,59	0,62	0,81	0,86
Zn (mg L ⁻¹)	0,85	0,22	0,14	0,23	0,24
Mg (mg L ⁻¹)	24,01	20,94	24,87	35,60	33,28
Ca (mg L ⁻¹)	31,62	34,61	43,72	62,27	58,98
Al (mg L ⁻¹)	3,09	2,39	2,10	2,36	3,41
Na (mg.L ¹)	0,000013	0,000013	0,000013	0,000013	0,000017
K (mg L ⁻¹)	41,9	29,2	32,8	36,5	76,6
N-total (mg L ⁻¹)	721,35	635,85	585,09	537	553,03
ARB - T3					
pH	7,31	7,08	7,11	7,09	7,07
Cu (mg L ⁻¹)	0,11	0,11	0,06	0,09	0,10
Fe (mg L ⁻¹)	1,50	1,40	1,57	1,70	1,37
Mn (mg L ⁻¹)	0,75	0,54	0,62	0,62	0,74
Zn (mg L ⁻¹)	0,15	0,12	0,02	0,13	0,07
Mg (mg L ⁻¹)	24,09	22,97	37,16	37,63	39,61
Ca (mg L ⁻¹)	51,26	44,13	68,66	67,29	79,42
Al (mg L ⁻¹)	6,39	4,28	4,12	4,77	4,77
Na (mg.L ¹)	0,000013	0,000008	0,000013	0,000017	0,000013
K (mg L ⁻¹)	31,6	28	40,1	21,9	25,5
N-total (mg L ⁻¹)	585,09	555,7	488,91	537	617,15

5.2.1 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade da água residuária. O pH do afluente coletado para tratamento em filtros orgânicos, constituídos de materiais filtrantes, foi de 6,91; que está próximo a neutralidade (Tabela 2). O bagaço de cana

e o sabugo de milho reduziram o valor médio do pH do efluente para valores de 5,4 e 6,5, respectivamente. A serragem de madeira manteve o pH próximo ao valor encontrado do afluente.

Foi observado um comportamento similar, com uma curva quadrática, entre os diferentes materiais utilizados como filtro orgânico para os valores de pH. Os resultados obtidos nos efluentes dos filtros constituídos de bagaço de cana-de-açúcar nos 10 primeiros litros filtrados, mostrou uma redução significativa do pH (57%) para valor 2,99, apresentando um pH ácido. Aos 20 litros filtrados, ocorreu aumento para 4,6 e os seguintes filtrados apresentaram valor de pH aproximando-se do valor do afluente (6,91). A partir dos 30 L de ARB, o bagaço de cana manteve o pH no valor do requerido pelas culturas agrícolas, pH igual a 6,42 (Tabela 5). A queda do pH no início do processo pode ser decorrente da acidez natural do material filtrante, com liberação de grupamentos funcionais ácidos. Lo Monaco et al. (2009), ao tratarem a água residuária da suinocultura em filtro preenchido com fibra de coco, reportaram que o pH diminuiu significativamente (6,7 para até 4,7) nos 400 L iniciais, e que a partir desse volume houve uma tendência em manter-se próximo ao pH da ARS bruta.

Em relação ao material filtrante sabugo de milho, ocorreu uma redução nos valores de pH (5,6) nos primeiros 10 litros filtrados, sendo menor que o ocorrido com o bagaço de cana-de-açúcar. Posteriormente, assim como ocorreu com o material filtrante bagaço de cana, com o tempo de operação do filtro, ocorreu uma estabilização com valor próximo ao valor do afluente (Figura 9).

Ao contrário dos demais, o material filtrante serragem de madeira apresentou um pequeno aumento nos primeiros 10 litros filtrados, mantendo-se próximo ao valor do afluente até o final do processo, não ocorrendo diferença estatística significativa (Figura 9).

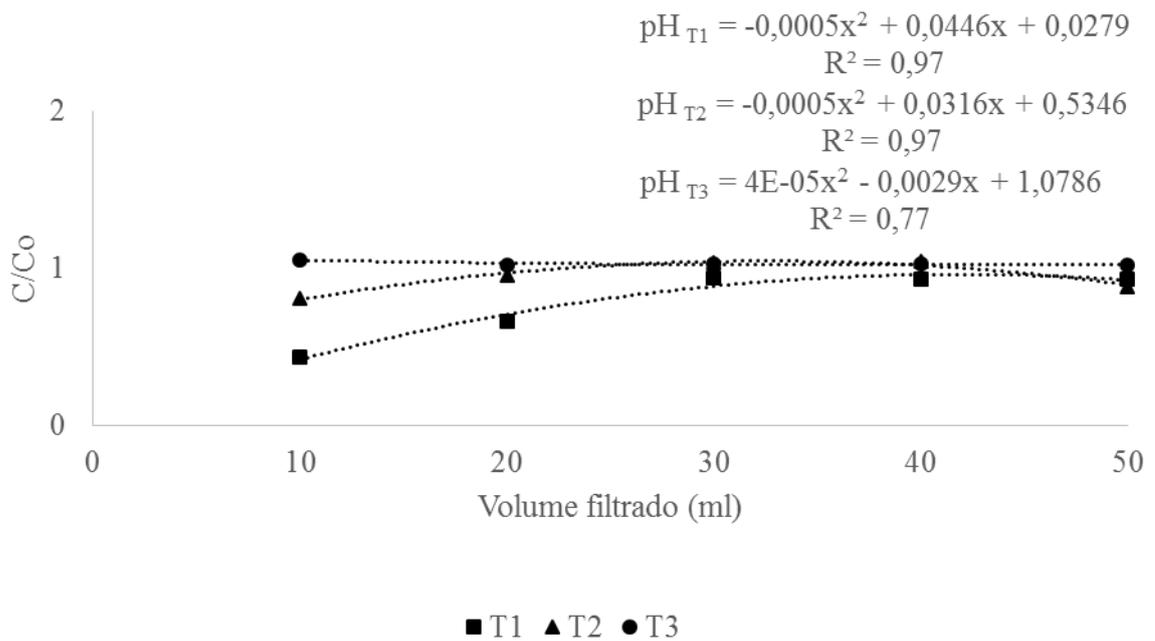


Figura 9. Concentração relativa (C/C_0) do pH na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- significativo ($P < 0,01$); ST2 – significativo ($P < 0,01$); ST3 – não significativo.

5.2.2 Nitrogênio total

Na Figura 10 está apresentado o gráfico da concentração relativa de nitrogênio total nos efluentes das colunas filtrantes com ARB. No afluente da ARB foi observado uma concentração de $577,08 \text{ mg l}^{-1}$ de nitrogênio total (Tabela 2). O filtro com bagaço de cana e serragem de madeira reduziram o teor de N-total da ARB em 3,8 e 3,5%, respectivamente, porém não ocorreu diferença estatística significativa. Por outro lado, o filtro com sabugo de milho aumentou em 5,1% o teor de N-total na ARB, não demonstrando diferença significativa na estatística.

Com relação ao efluente gerado a partir do tratamento com material filtrante bagaço de cana, foi observado um aumento de 22% nos primeiros 10 litros filtrados, depois ocorreu uma redução de 10% nos 20 litros tratados, seguido de um aumento de 20% (30 L), aos 40 litros filtrados um aumento de 2% e, finalmente, quando atingiu os 50 litros filtrados obteve-se uma redução, aproximadamente, para a metade (54%) no teor de nitrogênio total quando comparada com a ARB afluente. Essa foi a maior redução de N-total observada quando comparada com os demais materiais filtrantes.

Pode-se observar que o bagaço de cana proporcionou uma remoção média de N-total de 32% ao longo dos 50 litros de ARB tratada. Lo Monaco (2009) observou que a fibra de coco proporcionou uma remoção média de N-total de 28% para a água residuária da suinocultura. Resultados mais expressivos foram obtidos por Lo Monaco et al. (2002), que ao trabalharem com serragem de madeira no tratamento primário de ARS, obtiveram remoção 80% para nitrogênio e em torno de 70% para o fósforo.

Com relação ao material filtrante sabugo de milho, somente a partir dos 40 litros filtrados observou-se uma pequena redução nos teores de N-total, comportamento este, também observado por Lo Monaco (2001) e Brandão (1999) ao utilizarem água residuária de suinocultura como afluente. Ao longo dos 50 L de ARB filtrada foi observada uma redução de N-total de 5,18; sendo a menor quando comparada com o material serragem de madeira e bagaço de cana.

O material filtrante constituído de serragem de madeira, foi o que demonstrou menor concentração de nitrogênio no início do processo (10 L). Dos 20 L até os 40 L foi observada uma redução média de 11,4 % nos teores de N-total da ARB efluente, significativa estatisticamente. Nos últimos 50 litros filtrados observou-se aumento de 7% no efluente. Esse comportamento deve estar relacionado as características químicas do material orgânico, com elevado concentração de C, relação C/N e teores de lignina quando comparado com o sabugo de milho e bagaço de cana. Lo Monaco et al. (2004) utilizaram serragem de madeira como material filtrante no tratamento primário de ARS, e obtiveram remoções de 50% de nitrogênio e 65% de fósforo.

Todos os materiais filtrantes proporcionaram um aumento no teor de N-total no efluente da ARB. Esse aumento pode estar relacionado a solubilização de N orgânico contido no material filtrante, concorrendo para que, dessa forma, houvesse aumento desse elemento no efluente do filtro. Lo Monaco et al. (2004) observaram comportamento similar quando utilizaram o pergaminho de grãos de café como material filtrante, no tratamento primário de água residuária da cafeicultura, já que houve aumento de N e P total no efluente do filtro.

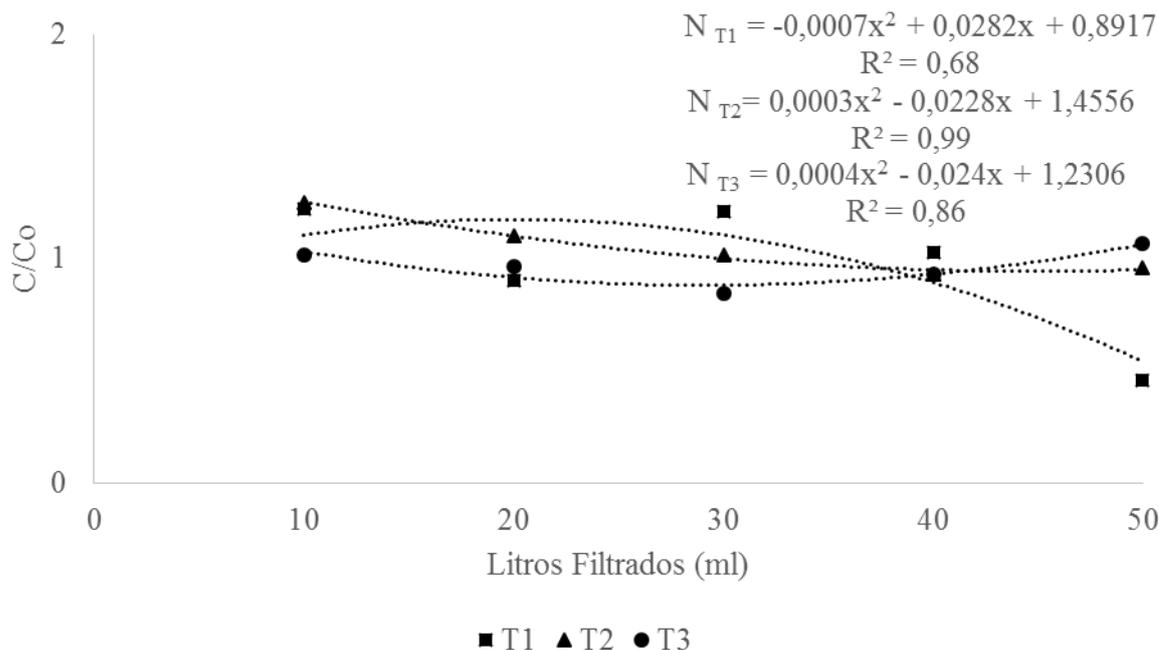


Figura 10. Concentração relativa (C/C_0) de nitrogênio total na ARB, em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

ST1- não significativo ($P < 0,05$); ST2 – não significativo ($P < 0,05$); ST3 – significativo ($P < 0,05$).

5.2.3 Metais

Na Figura 11 encontra-se os valores das concentrações relativas dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Ca, Al, Na e K no efluente dos filtros constituídos de bagaço de cana, sabugo de milho e serragem de madeira.

É importante avaliar a presença desses metais na ARB efluente pois estão relacionados a nutrição de plantas (Ca, Mg, K, Cu, Fe, Mn Zn), a acidez (Al) e a salinidade (Na). De acordo com o que está apresentado na Figura 11, pode-se observar que, de um modo geral, não houve adsorção de potássio pelos filtros orgânicos avaliados, sendo sua concentração até maior que a obtida no afluente (C/C_0 maior que 1,0), porém não demonstrou diferença estatística significativa nos tratamentos avaliados. Acredita-se que tenha havido intensa solubilização desse cátion presente nos diversos materiais filtrantes, contribuindo para o seu aumento no efluente da ARB. Cabe ressaltar que esse aumento não interferiu na CE da ARB, estando a mesma dentro do limite permitido pela legislação.

Os materiais filtrantes utilizados ao invés de reter o K, tornaram os efluentes ricos nesse macronutriente. O sabugo de milho foi o que proporcionou um maior concentração desse macronutriente (70%) quando comparado com a cana (17%) e a serragem de madeira (15%). Tal comportamento corroboram com os de Lo Monaco (2001) ao utilizar bagaço de cana, sabugo de milho e serragem de madeira na filtração de água residuária de suinocultura.

Em relação ao sódio (Na), ocorreu redução de 20, 20 e 25% para o filtro constituído de bagaço de cana, sabugo de milho e serragem de madeira, respectivamente (Figura 11). A ineficiência na remoção de sódio e potássio por filtros orgânicos foi observada por Lo Monaco et al. (2004, 2009) quando utilizaram pergaminho de grãos de café como material filtrante no tratamento primário de águas residuárias da lavagem e descascamento de frutos do cafeeiro (ARC), Lo Monaco et al (2002), quando utilizaram a serragem de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar com o mesmo tipo de água residuária e Lo Monaco et al. (2004), quando utilizaram a serragem de madeira como material filtrante no tratamento primário da ARS.

Em relação ao micronutriente zinco (Zn), foi observado um aumento médio na concentração final deste micronutriente na ARB efluente. O tratamento com bagaço de cana e sabugo de milho aumentaram em 50 e 52% a concentração de Zn. Por outro lado, o com serragem de madeira reduziu em 55% o teor de Zn. Brandão (1999) verificou o mesmo comportamento de redução de Zn no efluente de água residuária, e levantou a hipótese da atribuição dessa remoção ser referente a adsorção do metal nos sítios de troca existentes no material filtrante.

Quando o material filtrante utilizado foi o sabugo de milho, o comportamento foi diferente, nos primeiros litros filtrados o aumento chegou a ser maior que o dobro do encontrado no afluente, valor este que pode ser explicado, tal como foi verificado para outros elementos químicos, a solubilização do material filtrante utilizado e posterior transporte para o líquido percolante, comportamento este verificado por Lo Monaco (2001).

Quanto ao cobre (Cu), valores acima do observado no afluente foram verificados em todos os afluentes da ARB após passagem nos materiais filtrantes utilizados, valores estes que diferem dos encontrados por Lo Monaco (2001) e Brandão (1999) ao utilizarem água residuária da suinocultura, onde, tratando 10 litros de ARS por coluna de filtração, verificou uma redução neste atributo. Porém, estes valores não demonstraram diferença estatística significativa nos tratamentos estudados. Ainda assim, o maior valor encontrado, encontra-se dentro dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 430 de 2011, que estabelece para descarte de água residuária a presença de $1,0 \text{ mg l}^{-1}$ sendo o valor maior encontrado no

efluente coletado $0,17 \text{ mg l}^{-1}$. O tratamento com sabugo de milho promoveu maior teor de Cu no efluente da ARB.

Em relação ao teor de ferro (Fe), em todos os materiais filtrantes utilizados, verificou-se uma redução significativa de 57, 50 e 64% nos filtros com cana, milho e serragem de madeira, respectivamente, no efluente da ARB. Sendo o serragem de madeira, seguido pela cana e o sabugo de milho, respectivamente, os mais eficientes na retenção deste micronutriente.

Quanto as concentrações de manganês (Mn), foi observado um comportamento distinto entre o bagaço de cana e o sabugo de milho e a serragem de madeira. Verificou-se um considerável aumento da concentração de Mn (97%) quando o material filtrante utilizado foi o bagaço de cana e serragem de madeira (6,6%). Em relação ao sabugo de milho, foi observada uma redução média de 4% de Mn no efluente da ARB.

Quanto as concentrações de magnésio (Mg), foi observado um aumento desse macronutriente em todos os tratamentos avaliados. O maior aumento foi com o tratamento serragem de madeira (70%), seguido do milho (68%) e cana (27%). Foi observada um aumento a partir dos 30 L de efluente da ARB tratada com sabugo de milho e serragem de madeira. Para o material efluente tratado com bagaço de cana foi observado um aumento inicial nos teores de Mg e a manutenção dos teores de Mg próximo aos da ARB bruta nos 40 L restantes. O mesmo comportamento foi observado por Brandão (1999) ao utilizar diferentes materiais filtrantes para tratamento de água residuária da suinocultura.

O cálcio teve o mesmo comportamento do Mg, onde foi observado um aumento para todos os tratamentos avaliados, sendo maior serragem de madeira (63%), seguido do milho (62%) e cana (38%), no entanto, não foi verificado diferença estatística significativa.

Em relação as concentrações de alumínio (Al), quando o material filtrante utilizado foi o bagaço de cana, verificou-se uma redução de 30% ao longo do processo até os 50 litros coletados. Quando o material filtrante utilizado foi o sabugo de milho e a serragem de madeira, os valores ficaram acima da média encontrada no material de entrada (afluente), com aumento de 5,12 para o tratamento com milho e 97% para com serragem de madeira. A serragem de madeira, como material filtrante, elevou 100 % a concentração de alumínio nos primeiros 10 L de ARB filtrada. Isso demonstra a não eficiência na redução do alumínio tóxico quando utilizado esses materiais orgânicos como material filtrante para o tratamento de água residuária da bovinocultura, porém, nenhum aumento foi demonstrado diferença estatística significativa.

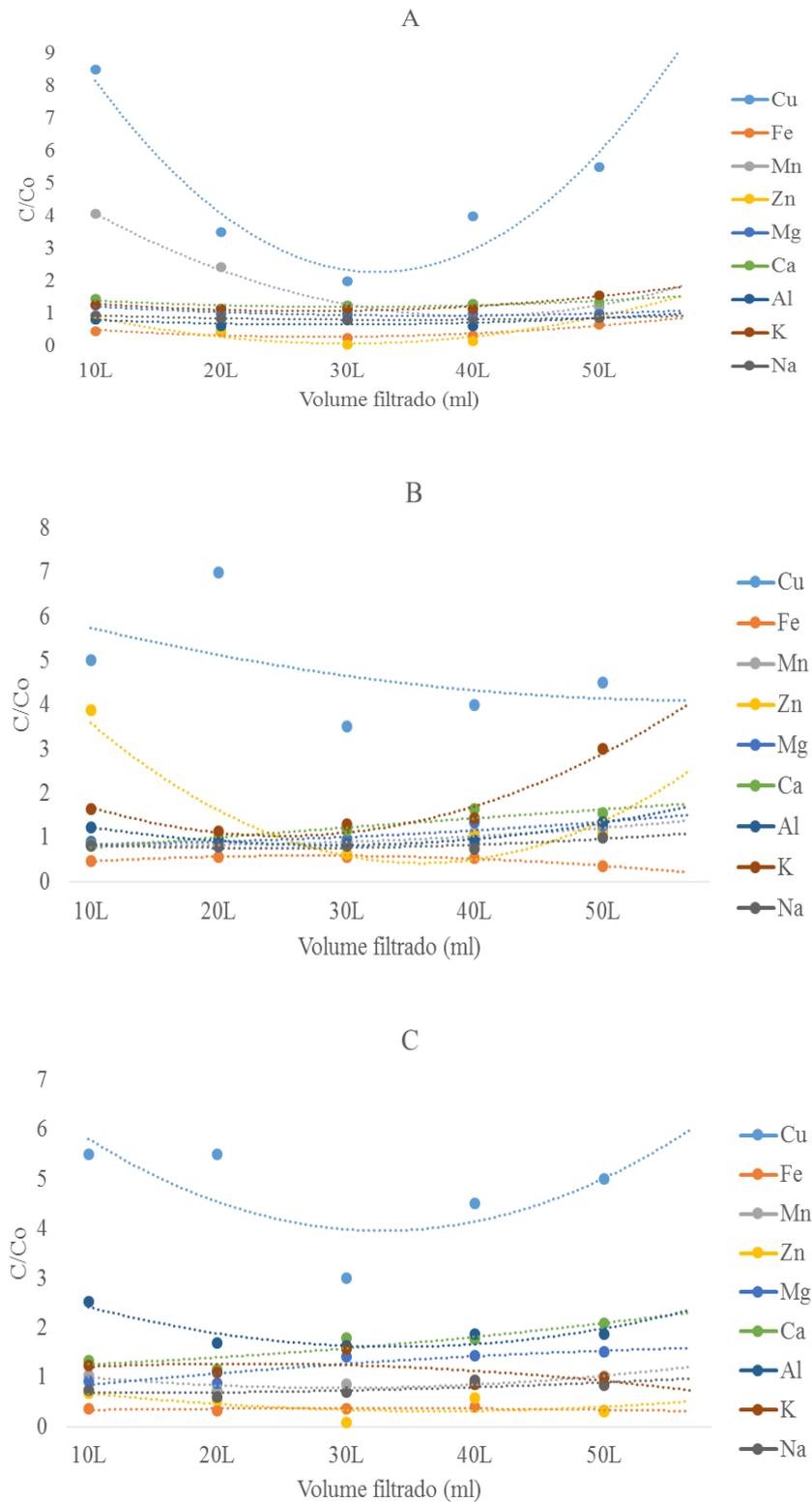


Figura 11. Concentração relativa (C/C_0) de metais na ARB em função do volume filtrado, após tratamento primário utilizando filtros constituídos de bagaço de cana (T1), sabugo de milho (T2) e serragem de madeira (T3).

Tratamento bagaço de cana: Cu, Ca, Al, Na, K- não significativo; Fe, Mn – significativo (P<0,01); Zn, Mg – significativo (P<0,05).

Tratamento sabugo de milho: Cu, Fe, Mg, Ca, Al, Na, K- não significativo; Zn – significativo (P<0,01); Mn – significativo (P<0,05).

Tratamento serragem de madeira: Cu, Fe, Mn, Zn, Mg, Ca, Al, Na, K – não significativo.

6 CONCLUSÕES

Todos os materiais orgânicos utilizados como material filtrante alteraram as características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite sob sistema orgânico de produção. A indicação de uso dos mesmos para determinada finalidade depende do objetivo que se deseja alcançar. Todos os três reduziram importantes propriedades física da ARB (cor, turbidez, CE) e todos os materiais contribuíram com o aumento de nutrientes no efluente da ARB.

A serragem de madeira apresentou maior eficiência na redução de ST, SV e sódio total. Esse tratamento também aumentou os teores de Zn, Ca e Mg.

O sabugo de milho reduziu a turbidez da ARB. Também manteve o pH da ARB próxima ao neutro e no valor de pH indicado para a maioria das culturas. Esse material aumentou os teores de N, K e foi o que apresentou menor redução de Fe.

O bagaço de cana reduziu a cor aparente, a condutividade elétrica e o teor de alumínio da ARB. Esse material proporcionou também um aumento dos micronutrientes Cu e Mn.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem 29 (Revisado). Campina Grande – PB UFPB. trad: Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V. 218 p., 1999.

ANUALPEC. Anuário da Pecuária Brasileira. Agra FNP Pesquisas Ltda. 272p. São Paulo. 2016.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – Standart methods for the examination of water and wastewater. New York. APHA, WWA, WPCR, 19^a ed., 1995.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington: American Water Works Association, p.1386, 2005.

AROEIRA, L. J.M; STOCK, L.A.; ASSIS, A. G.; MORENS, M.J.F.; ALVES, A. A. Viabilidade da produção orgânica de leite no Brasil In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. XLIII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. SBZ, 2006. p. CDROM. 2006.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de Efluentes e Reúso da Água no Meio Agrícola. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária. São Paulo, v.1, n.1, p.152-169, 2008.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. Manual de tratamento de águas residuárias industriais. São Paulo: CETESB, 764 p, 1979.

BRANDÃO, V. S. Tratamento de águas residuárias de suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. Dissertação (Mestre em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. 65 p. 1999.

BRANDAO, 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*. vol.4, n.3, pp.327-333. 2000.

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*, Campina Grande, v.7, n.2, p.329-334, 2003.

BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, de 17 de março de 2005 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências. Diário Oficial da União, Brasília – DF, março de 2005.

BURGÜI, R. Confinamento estratégico. In: MATTOS, W.R.S. (Ed.) A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luis de Queiroz, 927p. 2001.

CARVALHO, H. P.; SILVA, I. J. O. Metais pesados presentes na água residuária de sistema de exploração leiteira Do tipo “freestall”. Revista Eletrônica Thesis, São Paulo, v. 6, p. 1-8, 2006.

CETESB. Reúso da água. São Paulo. SP. Disponível <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_reuso.asp>. 2012.

CUNHA, A. H. N.; OLIVEIRA, T. H. D.; FERREIRA, R. B.; MILHARDES, A. L. M.; SILVA, S. M. D. C. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer-Goiânia, 7(13), 2011.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 130-141. 2010.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. rev. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DUARTE, A. S.; AIROLDI, R. P. S.; FOLEGATTI, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, p.302–310, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 212 p. 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412p. 1999.

ERTHAL, V. J. T. Fertilização de capim-Tifton 85 e aveia preta com águas residuárias de bovinocultura: efeitos no solo e nas plantas. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. p. 84. 2008.

FAO. Issues in urban agriculture – Studies suggest that up to two-thirds of city and peri-urban households are involve in farming. Acessado em: FAO: <http://www.fao.org/ag/magazine/9901ap2.htm>, 1999.

FEBRER, M. C. A. Aproveitamento agrícola de material orgânico utilizado como filtro no tratamento de águas residuárias da suinocultura, Viçosa: UFV, 2000. 130p. Dissertação Mestrado. 2000.

FRANCISCO, J. P.; SILVA, J. B. G.; BATISTA DA SILVA, L. D.; LIOI, A. N.; BARBOSA, K. P. Remoção de sólidos totais de água residuária de bovinocultura utilizando-se filtros orgânicos. In: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2011, Cuiabá, MT. Anais (CD-ROM). 2011.

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, Botucatu. v. 19, outubro-dezembro, 2014.

HESPANHOL, I. A new paradigm for water resource management. Estudos Avançados 22(63):131–157, 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 3. ed. 1995.

JUNQUEIRA, J. B. Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maximum* JACQ., CV Tanzânia. 2011. 103f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia-Área de Concentração em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.

LEAL, F. C. T.; LIBÂNIO, M. Estudo da remoção da cor por coagulação química no tratamento convencional de águas de abastecimento. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 7.3, 117-128, 2002.

LO MONACO, P.A. Influência da granulometria do material orgânico filtrante na eficiência de tratamento de águas residuárias. 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2001.

LO MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; GARCIA, G.O.; LIMA, C.R.C; FAZENARO, F.L. Alteração nas características de águas residuárias da despolpa de frutos do cafeeiro submetidas à filtragem em pergaminho dos grãos de café. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14, Anais... ABID. Porto Alegre, RS. (CD-ROM). 2004.

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. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa - MG, V.17 N.6, 473-480p. NOV. / DEZ. 2009.

LO MONACO, P.A.V.; MATOS, A.T. JUNIOR, V.E.; SARMENTO, A.P.; MOREIRA, R.M.G. Desempenho de filtros constituídos por pergaminho de grãos de café (*Coffea* sp.) no tratamento de águas residuárias. *Coffee Science*, Lavras, v.6, n.2, p.120-127, 2011.

MACHADO, R.; CORREIA, R.F.; BARBOSA, R.T.; BERGAMASCHI, M.A.C.M. Escore da condição corporal e sua aplicação no manejo reprodutivo de ruminantes. Circular Técnica 57. São Carlos, SP, dezembro, 2008.

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*, Campina Grande, v.10, n.2, p.472-478, 2006.

MAGALHÃES, M. A. Parâmetros para projetos e operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura, Viçosa: UFV. Dissertação Mestrado. 103p. 2002.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Animal. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal>> 2014. Acesso em: 09/06/2017.

MATTIAS, J. L. Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina. 2006. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MORAL, R.; Perez-Murcia, MD; Perez-Espinosa, A; Moreno-Caselles, J; Paredes, C; Rufete, B. (2008). Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Management*, v. 28, p. 367-371.

MANTOVI, P.; MARMIROLI, M.; MAESTRE, E.; TAGLIAVINI, S.; PICCININI, S.; MARMIROLI, N.; Application of a horizontal subsurface flow constructed wetlands on treatment of dairy farm wastewater. *Bioresource Technology*, v.88, p. 85–94, 2003.

MATOS, A.T.; BRANDÃO, V.S.; NEVES, J.C.L.; MARTINEZ, M.A.A. Removal of Cu and Zn from swine wastewater using organic filters. *Environmental Technology*, London, v.24, n.2, p.171-178, 2003.

MATOS, A. T. Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente – MG/DEA/UFV, 2005.

MATOS, A.T.; MAGALHÃES, M.A.; FUKUNAGA, D.C. Remoção de sólidos em suspensão na água residuária da despolpa de frutos do cafeeiro em filtros constituídos por pergaminho de grãos de café submetido a compressões. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.2, p.610-616, 2006.

MATOS, A. T.; MAGALHÃES, M. A.; SARMENTO A. P. Perda de carga em filtros orgânicos utilizados no tratamento de água residuária de suinocultura. *Eng. Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.3, p.527-537, maio/jun. 2010.

OLIVEIRA, P. S. O.; PINHEIRO, E. F. M.; ÁRAUJO, S. C. Desempenho do filtro orgânico preenchido com palha de feijão no tratamento da água residuária da suinocultura. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO AMBIENTAL E BIODIVERSIDADE, 6, Anais... ISSN 2525-4928. Três Rios, RJ. 2017.

PEREIRA NETO, J.T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. UFV. Viçosa, 2007.

PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z.; SMAJSTLA, A.G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. University of Florida, Florida Cooperative Extension Service, Bulletin 258. 12 p. 2003.

SCHAAF SMA, J. A.; BALDWIN, A. H.; STREB, C. A. An evaluation of a constructed wetland to treat wastewater from a dairy farm in Maryland, USA. *Ecological Engineering*, v. 14, p. 199 - 206, 2000.

SAKOWSKI, T; KUCZY, K; PUPPEL, E; METERA, K; SŁONIEWSKIA; J. BARSZCZEWSKI. Relationships between physiological indicators in blood, and their yield,

as well as chemical composition of milk obtained from organic dairy cows. *J Sci Food Agric*, v. 92, p. 2905-2912, 2012.

SILVA, L.C. Efeitos da salinidade e regime de água do solo sobre as culturas. In: AYERS, R.S. ; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29). 1991.

SILVA, E. M. da; ROSTON, D. M. Tratamento de efluentes de sala de ordenha de bovinocultura: Lagoas de estabilização seguidas de leito cultivado. *Engenharia Agrícola*. v. 30, n. 1, p. 67-73, Jaboticabal, 2010.

SILVA, J.B.G. Uso de água residuária de bovinocultura de leite no cultivo da figueira (*Ficus carica L.*): efeitos no solo e na cultura. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 2012.

SMITH, V.H. & SCHINDLER, D.W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*, v. 24, n. 4, p. 201-207. 2009.

SOARES, J. P. G.; AROEIRA, L. J. M.; FONSECA, A. H.; SANAVRIA, A.; FAGUNDES, G. M.; SILVA, J. B. S. Produção orgânica de leite: desafios e perspectivas. In: Simpósio Nacional de Bovinocultura Leiteira, 3., 2011, Viçosa. Simpósio Internacional de Bovinocultura Leiteira, 1., 2011, Viçosa. Anais... Viçosa: 2011.

TEDESCO, J.M.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre: UFRGS. Boletim Técnico de Solos, 5. 186 p. 1985.

VAN HORN, H.H.; WILKIE, A C.; POWERS, W.J.; NORDSTEDT, R. A. Components of dairy manure management systems. *Journal Dairy Science*, v.77, p.2008-30, 1994.

VITKO, T.G. Expected quality of dairy wastewater based on the characterization of a dairy farm in Chino, California. Oakland: CWEA, Technical Articles. 1999.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG. v.1, 243p. 1996.

WOOD, J.; FERNANDEZ, G.; BARKER, A.; GREGORY, J.; CUMBEY, T.; Efficiency of reed beds in treating dairy wastewater. *Biosystems Engineering*, v.98, p. 455-469. 2007.

ZOCCAL, R. Leite no copo, no Brasil e no mundo. Embrapa Gado de Leite. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/leite-no-copo-no-brasil-e-no-mundo/>>. Acesso em: 27 maio/2017.