



Wood ash filter to remove contaminants from rainwater destined for poultry farming

Filtro com cinza de madeira para remoção de contaminantes na água da chuva destinada à avicultura

Rainer Alberto Schimitz^{1*}, Cristiano Meneghini², Leonardo Henrique de Oliveira²

Abstract: Water availability and quality directly affect poultry farming since it is used for both animal consumption and equipment. Rainwater collected and stored on the property is an alternative to ensure better use of water re-sources. However, to obtain potable water for animal consumption, the raw water must first be treated. As such, this study aimed to assess the use of a wood ash filter to remove contaminants from rainwater. The ash comes from wood burned as fuel in industrial boilers to generate steam. The pilot filter was designed using wood ash, sand and crushed stone, the last two with particle sizes between 0.42 and 2.00 mm and 6.30 and 16.00 mm, respectively. The rainwater used was collected directly from the roof of an aviary on a property in western Santa Catarina state. Analyses indicated that the proposed filtering system resulted in average reductions of 86% in turbidity, over 95% in apparent color, 86% in total coliforms and 90% in *Escherichia coli*. The inability to remove nitrates disqualifies wood ash as a means of filtering rainwater for use in animal feed.

Key words: Water reuse. Industrial waste recovery. Aviary. Filtration.

Resumo: A disponibilidade e qualidade da água são fatores que impactam diretamente no processo de criação das aves, pois esse recurso é utilizado tanto para consumo dos animais, quanto em equipamentos na avicultura. Uma alternativa para auxiliar no aproveitamento dos recursos hídricos é utilizar a água da chuva, coletada e arma-zenada na propriedade. Para o consumo animal, antes disso, é necessário submeter a água bruta a um sistema de tratamento para torná-la potável. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o uso da cinza de madeira para remoção de contaminantes presentes na água da chuva. Esta cinza provém do combustível utilizado em caldeiras para geração de vapor nas indústrias, tornando-se um resíduo após sua queima. O filtro piloto foi projetado utilizando cinza de madeira, areia com granulometria entre 0,42 e 2,00 mm e pedra britada com granulometria entre 6,30 e 16,00 mm. A água da chuva utilizada foi coletada diretamente do telhado de um aviário em uma propriedade do Oeste de Santa Catarina. Os resultados das análises demonstraram que o sistema de filtração proposto permitiu redução média de 86% na turbidez, mais de 95% na cor aparente, 86% em coliformes totais e 90% em *Escherichia Coli*. A incapacidade de remover nitrato, desqualifica a cinza de madeira como meio para filtração da água da chuva para uso na dessedentação animal.

Palavras-chave: Reuso de água. Valorização de resíduos industriais. Aviário. Filtração.

*Corresponding author

Submitted for publication on 19/02/2020, approved on 09/06/2020 and published on 10/07/2020

¹Discente na Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campus de Joaçaba, CEP: 89600-000, Joaçaba, Santa Catarina, Brasil. E-mail: rainer.schimitz@gmail.com

²Docente na Universidade do Oeste de Santa Catarina, Campus Joaçaba. E-mails: cristiano.meneghini@unoesc.edu.br; leonardo.oliveira@unoesc.edu.br

INTRODUCTION

Water is a limited natural resource essential to survival, but its availability and potability have been affected by pollution and contamination of mangroves. The continued disposal of wastewater, leaching from septic tanks and sanitary landfills and the discharge of industrial effluents represent a serious threat to both surface and underground water resources (LIBÂNIO, 2010; ZHU *et al.*, 2012).

On the other hand, natural restrictions also occur in the form of drought and climate variations. Brazil has one of the world's largest water reserves, but several regions began to experience unexpected shortages between 2012 and 2013 (TARGA; BATISTA, 2015).

As a result, water has become a growing concern for poultry farming, which requires abundant high-quality water. These factors directly affect the entire process, since water is needed for both animal consumption and the equipment involved. In chicken farming, water is considered one of the most important factors in animal nutrition, making it essential from a physiological and behavioral perspective when raising chicken (BRUNO *et al.*, 2011).

In light of these variables, rainwater has become a popular alternative to meet the water demand since it can be used for a variety of purposes, including consumption, sanitation and irrigation (GHIMIRE *et al.*, 2012). The use of rainwater has emerged as a strategy in locations where the natural flow is depleted (GHIMIRE; JOHNSTON, 2013).

It is typically rainwater is collected directly from roofs, but since it contains impurities due to leaching, must be filtered to make it suitable for use or subsequent stages, such as disinfection. Filtration is performed to remove particles responsible for color and turbidity, which reduce the effectiveness of disinfection in deactivating pathogenic microorganisms (LIBÂNIO, 2010). According to Torres *et al.* (2013), filtration involves removing suspended and colloidal particles from water by passing it through a granular medium. It also retains any microorganisms present in the water (DI BERNARDO, 2003).

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural limitado e indispensável para sobrevivência, porém, sua disponibilidade e potabilidade tem sido afetada pela poluição e contaminação dos mananciais. O contínuo lançamento de águas residuais, as infiltrações oriundas de fossas e aterros sanitários e a água descarregada pelas indústrias sem tratamento representam uma séria ameaça à superfície e recursos hídricos subterrâneos (LIBÂNIO, 2010; ZHU *et al.*, 2012).

Por outro lado, as limitações também ocorrem de maneira natural devido às crises hídricas e variações climatológicas. O Brasil, com uma das maiores reservas mundiais de água, começou a ter escassez inesperada entre 2012 e 2013 em várias regiões (TARGA; BATISTA, 2015).

Desse modo, a água vem sendo motivo de preocupação para a avicultura em períodos no qual é demandada em abundância e boa qualidade, pois estes são fatores que impactam diretamente no processo de criação das aves que a necessitam tanto para consumo, quanto para utilização em equipamentos durante seu processo de crescimento. Qualquer aspecto que envolva a água com a produção de frangos é importante do ponto de vista fisiológico e comportamental por ser considerada um dos fatores mais importantes na nutrição animal (BRUNO *et al.*, 2011).

Diante dessas variáveis, uma alternativa para suprir a demanda por água é o aproveitamento da água da chuva, sendo uma fonte que ganhou popularidade por atender vários propósitos, incluindo o consumo, saneamento e irrigação (GHIMIRE *et al.*, 2012). O aproveitamento da água da chuva surgiu como estratégia para atender a necessidade de recursos em locais onde os fluxos naturais estão degradados (GHIMIRE; JOHNSTON, 2013).

Comumente, a água da chuva é coletada diretamente de telhados, contudo, devido à lixiviação, carrega impurezas que torna necessária a filtração como tratamento complementar a fim de torná-la adequada para o uso ou para etapas posteriores, como a desinfecção. A filtração é um processo que tem como função a remoção de partículas responsáveis pela cor e turbidez, cuja presença reduz a eficácia da desinfecção na inativação de microrganismos patogênicos (LIBÂNIO, 2010). Segundo Torres *et al.* (2013), a filtração permite a separação de material particulado e coloidal passando a massa de água através de um meio granular. Também possibilita a retenção de microrganismos presentes na água (DI BERNARDO, 2003).

A number of materials can be used as water filter media, the most common being sand, anthracite and activated carbon (LIBÂNIO, 2010). The high price of activated carbon means there is a monetary incentive to identify alternative materials for its production at affordable prices (QIU; GUO, 2010). In this respect, several materials considered waste have been investigated, including pine sawdust and rose seed (AÇIKYILDIZ *et al.*, 2014), tamarind seed (SHA; PARMAR, 2018) and chicken manure (QIU; GUO, 2010).

Wood ash is the product of sawdust burned as fuel in industrial boilers and has aroused increasing interest as an adsorbent in water treatment, particularly to remove heavy metal ions (ASOKBUNYARAT; HULLEBUSCH, 2015) and dyes (GUPTA *et al.*, 2012). As a carbon-based adsorbent material, ash contains a high percentage of fixed carbon (LEECHART *et al.*, 2009).

Considering that only a fraction of the ash generated is reused, it is important to explore other reuse options for commercial application (JAYARANJAN *et al.*, 2014). As such, this study aimed to assess wood ash as a pilot filter in conjunction with sand and crushed stone as an alternative to activated carbon with a view to reusing this industrial waste.

MATERIALS AND METHODS

Characterization of the ash

The wood ash was characterized in triplicate, in line with some of the requirements stipulated in EB-2133 (ABNT, 1991a) and listed in Table 1. This standard was considered best suited to the material under study and adopts conditions to characterize powdered activated carbon used to adsorb impurities in public water supply treatment. The use of supplementary standards is also recommended, namely MB-3410 (ABNT, 1991b) to establish the iodine number ($\text{mg g}^{-1} \text{I}_2$); MB-3413 (ABNT, 1991c) for apparent bulk density (g cm^{-3}); and MB-3414 (ABNT, 1991d) to determine the moisture content of the sample (% by weight). In addition, the pH of ash was determined in accordance with D3838 (ASTM, 2005).

Existem vários materiais que são utilizados como meio filtrante, sendo o mais comum a areia, antracito e carvão ativado granular (LIBÂNIO, 2010). Devido ao preço do carvão ativado tornar o projeto de aproveitamento de água mais custoso, há incentivo monetário para identificar materiais alternativos para produção de carvão ativado a preços acessíveis (QIU; GUO, 2010). Nesse sentido, vários materiais considerados rejeitos são abordados em pesquisas, tais como a serragem de pinus e semente de rosa (AÇIKYILDIZ *et al.*, 2014), sementes de tamarindo (SHA; PARMAR, 2018) e cama de frango (QIU; GUO, 2010).

A cinza de madeira é um rejeito oriundo da queima da serragem de madeira utilizada como combustível em caldeiras industriais. É um material que tem despertado crescente interesse para utilização como adsorbente no tratamento de água, principalmente para remoção de íons de metais pesados (ASOKBUNYARAT; HULLEBUSCH, 2015) e corantes (GUPTA *et al.*, 2012). A cinza, por ser um material adsorbente à base de carbono, contém elevada porcentagem de carbono fixo (LEECHART *et al.*, 2009).

Considerando que apenas uma pequena fração da cinza gerada é reutilizada, outras opções de reutilização precisam ser exploradas para aplicações comerciais (JAYARANJAN *et al.*, 2014). Assim, objetivou-se com esta pesquisa avaliar a cinza de madeira em um filtro piloto como parte do material filtrante, juntamente com areia e pedra britada, sendo um material alternativo ao carvão ativado e valorizando este rejeito industrial.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da cinza

A caracterização da cinza de madeira foi realizada em triplicata, conforme alguns dos requisitos presentes na norma EB-2133 (ABNT, 1991a) e listados na Tabela 1, que adota condições para enquadrar o carvão ativado pulverizado utilizado na adsorção de impurezas no tratamento de água para abastecimento público, sendo a norma considerada mais adequada para o material abordado. Para determinar tais características, a norma recomenda a utilização de documentos complementares, tais como as normas: MB-3410 (ABNT, 1991b), para determinar o número de iodo ($\text{mg g}^{-1} \text{de I}_2$); MB-3413 (ABNT, 1991c), para encontrar a massa específica aparente (g cm^{-3}); MB-3414 (ABNT, 1991d), utilizada para encontrar a umidade da amostra (% em massa). Além desses, foi determinado o pH da cinza conforme a norma D3838 (ASTM, 2005).

Table 1 - Upper and lower limits of powdered activated carbon characteristics**Tabela 1** - Características limites do carvão ativado pulverizado

| Characteristic | Limit |
|--|--------------|
| Iodine number (mg g ⁻¹ I ₂) | 600 min. |
| Moisture content (% by weight) | 8.0 max. |
| Apparent bulk density (g cm ⁻³) | 0.20 to 0.75 |

Source: Adapted from ABNT EB – 2133/1991.

Fonte: Adaptado da ABNT EB – 2133/1991.

Designing the filter medium

Sand and crushed stone were selected as part of the filter medium, altering some of Di Bernardo (2003) recommendations for direct descending filtration through more than one layer, such as a particle size between 0.42 and 2.00 mm for sand. The sand layer was divided into two sublayers with different granulometries. Two sieves with openings of 0.42 and 0.59 mm were used for the first sublayer and 1.41 and 1.68 mm for the second. The material retained in the two different sets of sieves was disinfected with a 2.5% sodium hypochlorite aqueous solution, washed with distilled water and dried in an oven at 90 °C for 8 h.

With respect to the application of anthracite as a filter medium, Di Bernardo (2003) suggests a particle size of 0.71 to 2.40 mm. However, it is important to note that this study aimed to analyze wood ash as a substitute for activated carbon, used in the pilot filter in crude form, that is, without sieving to separate the particles sizes.

The two supporting sublayers (3 and 4) of crushed stone at the bottom of the filter were 7.5 to 10 cm thick, with particle sizes between 6.5 and 16 mm, in accordance with Di Bernardo (2003). The crushed stone was separated using two sets of sieves, with openings of 12.7 and 16 mm for the first layer and 6.3 and 9.5 mm for the second.

Projeto do meio filtrante

Para confecção do meio filtrante, a areia e a pedra britada foram selecionadas, alterando algumas recomendações de Di Bernardo (2003), para filtração direta descendente com mais de uma camada filtrante, no qual sugere a areia com granulometria entre 0,42 a 2,00 mm. A camada de areia foi dividida em duas subcamadas com diferentes granulometrias. Para a primeira subcamada foi utilizado duas peneiras Mesh com aberturas de 0,42 e 0,59 mm. Para a segunda subcamada, duas peneiras Mesh com aberturas de 1,41 e 1,68 mm. O material retido entre esses conjuntos de peneiras foi desinfetado com solução aquosa à base de hipoclorito de sódio a 2,5%, lavado com água destilada e seco em estufa à 90 °C por 8 h.

Quanto a aplicação de antracito como material filtrante, Di Bernardo (2003) sugere a granulometria entre 0,71 e 2,40 mm. No entanto, é importante destacar que a pesquisa buscou analisar a cinza de madeira como substituto para o carvão ativado, e esta foi alocada ao filtro piloto de forma bruta, ou seja, sem realizar o peneiramento para separação de tamanho de grãos, pois entende-se que será utilizada de forma prática e natural, não sofrendo alterações para alocação no filtro.

A camada suporte de pedra britada utilizada no fundo do filtro foi montada em duas subcamadas, conforme Di Bernardo (2003), para subcamadas 3 e 4, além da composição de espessura da camada suporte entre 7,5 e 10 cm e granulometria entre 6,5 a 16 mm. A pedra britada foi separada usando dois conjuntos de peneiras, com aberturas 12,7 e 16 mm para a primeira camada e aberturas de 6,3 e 9,5 mm para a segunda camada suporte.

The glass container used to house the pilot filter measured 220 x 210 x 650 mm (width, length and height), had an 8 mm thick false bottom made from methyl methacrylate with 3 mm wide holes to allow water flow and was positioned 50 mm above the actual base. The useful volume available for the filtration material was 0.0273 m³, disregarding the false bottom, as well as a useful area of 0.0462 m².

The pilot filter was divided into 6 sections consisting of five 75 mm and one 30 mm thick layers. The first two layers, from the bottom up, consisted of crushed stone, the third and fourth of sand, the fifth wood ash, and the sixth and final layer of sand with the same particle size as the fourth layer. This top layer was added to keep the wood ash stable due to its low density. The layer with the largest granulometry was placed at the bottom of the filter, with particle sizes gradually decreasing in the subsequent layers, as shown in Figure 1.

O recipiente utilizado como filtro piloto para alocar o material filtrante foi confeccionado em vidro, com dimensões de 220 x 210 x 650 mm (largura, comprimento e altura), com fundo falso para suportar o material filtrante possuindo furos de 3 mm para escoamento da água, fabricado em metacrilato de metila com 8 mm de espessura e posicionado a 50 mm acima da base inferior. O volume útil disponível para alocação do material filtrante resultou em 0,0273 m³, desconsiderando o fundo falso, além de 0,0462 m² de área útil.

O filtro piloto foi dividido em 6 seções, sendo 5 camadas de 75 mm de altura, e uma de 30 mm de altura. As duas primeiras camadas, sendo estas a base e a subsequente, foram constituídas de pedra britada. A terceira e quarta camadas foram montadas utilizando areia. A quinta camada foi composta pela cinza de madeira. A sexta e última camada é composta por areia com a mesma granulometria da quarta camada, que foi adicionada visando manter a camada de cinza de madeira estável devido à sua baixa densidade. A camada de maior granulometria ficou alocada na parte inferior do filtro, sendo reduzida gradativamente nas camadas ascendentes, conforme detalhado na Figura 1.

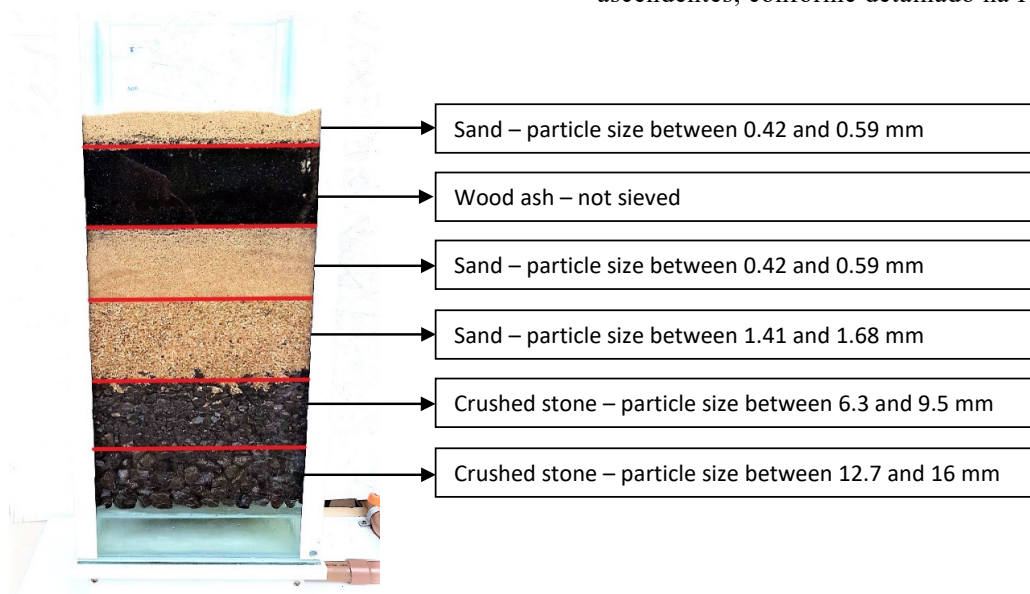


Figure 1 - Pilot descending flow filter showing the different layers and their respective particle sizes.

Source: the authors.

Figura 1 - Filtro piloto de fluxo descendente com as respectivas divisões e granulometrias das camadas

Fonte: os autores.

Water collection

The water used for analyses was collected directly from the roof of an aviary in western Santa Catarina state, Brazil, in March and April 2019. The time interval between collections was established to assess the effect of different factors, such as organic matter accumulation on the roof and gutter (hose installed for collection) and rainfall variations at the time. The first 100 L sample (sample 1) was collected in March and the second (sample 2), also 100 L, in April.

The roof was made from ceramic tile and the samples were collected via a 1 m long PVC pipe attached along the edge of the structure. The water was channeled along a 10 mm long and ½ inch wide hose into five 20 L containers located 5 m from the farm, outside the biosafety perimeter established by the company. The containers and water purification system were washed and disinfected with 2.5% sodium hypochlorite aqueous solution before each collection.

After collection, samples 1 and 2 were immediately passed through the pilot filter and sent for analysis to the Water and Sanitation Laboratory of the University of Western Santa Catarina (UNOESC), based on the operational procedures stipulated in SM 2120 B for apparent color, SM 2540 D for total dissolved solids, SM 2130 B for turbidity, DIN 38405 D9 for nitrate, SM 2130 B for sulfate, SM 4500 Cl B for chloride and SM 9221 C for total coliforms and *Escherichia coli*, all described in *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Filtration

Descending flow filtration was performed in a portable water purification system equipped with a centrifugal pump, at a flow rate of 30 L h⁻¹ for 80 uninterrupted minutes. Next, the raw water samples were collected from the storage container installed before the pilot filter and the filtered samples at the outlet of the filter. After filtration and sample collection, the pilot filter was flushed (descending flow) with distilled water for cleaning purposes.

During filtration, 150 mm of water was maintained above the 30 mm top (sixth) layer of sand to ensure uniform surface pressure. Thus, in accordance with Libânio (2010), in descending flow filters the pressure at any point in the filter medium is equivalent to the depth of the water up to the surface.

Coleta de água

A água utilizada para as análises foi coletada diretamente do telhado de um aviário localizado na região Oeste do estado de Santa Catarina-Brasil, nos meses de março e abril de 2019. O intervalo de tempo entre coletas visou avaliar o efeito de diferentes fatores, como acúmulo de matéria orgânica no telhado e mangueiras, além da variação da incidência de chuva no período. A primeira amostra contendo 100 L foi coletada em março, sendo Amostra 1. Já a segunda amostra, também contendo 100 L, foi coletada em abril, sendo Amostra 2.

O telhado é de material cerâmico e a coleta foi realizada com o auxílio de um cano de PVC com 1 m de comprimento, fixado no beiral da estrutura. A água foi direcionada por uma mangueira de ½ polegada, com 10 m de comprimento, diretamente para cinco recipientes de 20 L alocados à 5 m da granja, estando fora do perímetro de biossegurança determinado pela empresa. Os recipientes e a bancada de tratamento foram lavados e desinfetados com solução aquosa à base de hipoclorito de sódio a 2,5% antes de cada coleta.

Após coletadas, as Amostras 1 e 2 foram imediatamente direcionadas ao filtro piloto para serem submetidas à filtração e posterior análise no Laboratório de águas e saneamento da Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC, seguindo os procedimentos operacionais SM 2120 B para cor aparente, SM 2540 D para sólidos dissolvidos totais, SM 2130 B para turbidez, DIN 38405 D9 para nitrato, SM 2130 B para sulfato, SM 4500 Cl B para cloreto e SM 9221 C para coliformes totais e *Escherichia coli*, todos descritos no *Standard methods for the examination of water and wastewater*.

Filtração

A filtração em fluxo descendente foi realizada em bancada de tratamento com bomba centrífuga com controle de vazão, mantendo uma taxa constante de 30 L h⁻¹, durante 80 min, sem pausas. Após esse tempo, as amostras de água bruta foram coletadas do recipiente de armazenagem localizado antes do filtro piloto, e as amostras filtradas foram coletadas na saída do filtro piloto. Após a filtragem e coletas das amostras, o filtro piloto foi drenado e submetido a passagem de água destilada, também em fluxo descendente, a fim de promover sua limpeza.

Durante a filtração, buscou-se manter uma lâmina de água com cerca de 150 mm de altura acima da camada de areia de 30 mm da sexta seção, para permanecer uma pressão uniforme na superfície. Desta forma, conforme afirma Libânio (2010), nos filtros de escoamento descendente, a pressão em qualquer ponto do meio filtrante será a altura d'água até a superfície livre.

Determination of quality parameters

The water quality parameters stipulated for poultry farms are described in Annex II of the Ministry of Agriculture's DFIP – DSA Joint Circular 1/2008, used as reference for official inspections to monitor the chemical, physical and bacteriological condition of water at these facilities. These parameters are listed in Table 2.

In addition to the parameters in Table 1, apparent color and turbidity were included for analysis in duplicate, in line with Ordinance 2.914 of December 12, 2011, because the particles responsible for these characteristics are considered essential to removal during the filtration process (LIBÂNIO, 2010). In addition to *Escherichia coli*, total coliforms were also assessed in order to analyze a wider array of bacteria, determining the most likely number of bacteria in a 100 mL sample, since the absence of *E. coli* does not indicate a lack of other pathogenic bacteria (KAUSHIK *et al.*, 2012).

Determinação dos parâmetros de qualidade

Os parâmetros de qualidade da água exigidos para utilização nas propriedades avícolas estão descritos no Anexo II do Ofício Circular Conjunto DFIP – DSA nº 1/2008, do Ministério da Agricultura, sendo utilizado como referência pela fiscalização de estabelecimentos avícolas pelo serviço oficial para realizar o monitoramento da análise química, física e bacteriológica da água. Esses parâmetros do ofício estão listados na Tabela 2.

Além desses parâmetros mencionados na Tabela 1, foram incluídos cor aparente e turbidez para análise em duplicata, conforme a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, devido as partículas responsáveis por essas características serem também consideradas primordiais para remoção no processo de filtração (LIBÂNIO, 2010). Juntamente com a análise de *Escherichia coli*, foram incluídos os coliformes totais com o intuito de analisar um maior número de bactérias, verificando o número mais provável de bactérias em 100 mL de amostra, já que a ausência de *E. coli* não caracteriza a inexistência de outros patógenos bacterianos (KAUSHIK *et al.*, 2012).

Table 2 - Water quality parameters monitored

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade de água a serem monitorados

| Parameter | Level (mg/L) |
|------------------------------|--------------|
| Total dissolved solids (TDS) | 500 |
| pH | 6-9 |
| Total hardness | <110 |
| Chloride | <250 |
| Nitrate | <10 |
| Sulfate | 250 |
| <i>E. coli</i> | 0/100 mL |

Source: Adapted from DFIP - DSA Joint Circular 1 (2008).

Fonte: Adaptado de Ofício Circular Conjunto DFIP - DSA nº 1 (2008).

RESULTS AND DISCUSSION

Wood ash characterization

The results obtained after analyses of the physical characteristics of wood ash based on EB-2133 (ABNT, 1991a), as well as pH, are presented in Table 3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da cinza de madeira

Os resultados obtidos através da avaliação das características físicas da cinza de madeira conforme os parâmetros da norma EB-2133 (ABNT, 1991a), além do pH, estão expressos na Tabela 3.

Table 3 - Values obtained in ash characterization**Tabela 3** - Valores obtidos na caracterização da cinza

| Parameter | Result |
|------------------|--|
| Relative density | 0.4059 g cm ⁻³ |
| Iodine number | 337.46 mg g ⁻¹ I ₂ |
| pH | 7.64 |
| Moisture content | 0.415% |

Source: the authors.

Fonte: os autores.

Bulk density is the ratio of mass in relation to the volume occupied by the material. At a bulk density of 0.45 g cm⁻³, wood ash falls within the limit stipulated by EB-2133 and close to that reported by other authors in organic matter indicated as filters, such as activated carbon from chicken manure (QIU; GUO, 2010).

The iodine number recorded was below the recommended minimum value. However, it is important to underscore that in accordance with the procedure described in MB-3410 (ABNT, 1991b), and despite following the recommendation to increase sample mass, the values obtained with ash to determine the iodine number preclude application of the correction table for the filtrate, presented in Annex A of EB-2133 (ABNT, 1991a). As such, there is no calibration curve for iodine number determination, with a potential error of minus 7.5% or plus 16.25%. Considering these possible variations, the iodine number is between 312.15 and 392.29 mg g⁻¹ I₂.

Martinez *et al.* (2011) reported that the iodine number is widely used to represent the number of micropores present in carbon samples. According to Saka *et al.* (2012), the iodine number is used to determine the adsorptive capacity of activated carbon. Other authors have also reported low iodine values, such as 454 mg g⁻¹ I₂ for activated carbon from chicken manure (QIU; GUO, 2010).

The pH of activated carbon is little investigated because there is no standardized value for this variable. However, Martinez *et al.* (2011) observed that pH is important because it has a significant effect on adsorption characteristics, since it determines electrostatic interactions. The pH of wood ash was 7.64, indicating an alkaline material with a low capacity to provoke changes in rainwater. Okoli *et al.* (2015) reported a pH of 6.8 for activated carbon from tamarind seed.

A massa específica é uma variável que mede a quantidade de massa em relação ao volume ocupado pelo material, estando a cinza de madeira dentro do limite recomendado pela norma EB-2133 e próximo ao encontrado por outros autores em materiais orgânicos indicados como filtrantes, como o carvão ativado proveniente de cama de frango, com massa específica de 0,45 g cm⁻³ (QIU; GUO, 2010).

O número de iodo obtido ficou abaixo do valor mínimo recomendado. Porém, é importante ressaltar que conforme o procedimento descrito na norma MB-3410 (ABNT, 1991b), mesmo seguindo a recomendação para aumentar a massa da amostra, os valores obtidos com a cinza para determinação do número de iodo não permitiram aplicar a tabela de correção da normalidade do filtrado residual, presente no anexo A da norma EB-2133 (ABNT, 1991a). Desta forma, o resultado encontra-se sem o fator da curva de correção para ensaio do número de iodo, podendo conter um erro de até 7,5% para menos, ou até 16,25% para mais. Considerando estas possíveis variações, o valor do número de iodo está na faixa entre 312,15 e 392,29 mg g⁻¹ de I₂.

Martinez *et al.* (2011) ressaltam que o número de iodo é muito usado para representar a quantidade de microporos presentes na amostra de carvão. Saka *et al.* (2012) destacam que o número de iodo é uma técnica empregada para determinar a capacidade do carvão em adsorver outras espécies. Outros autores também encontraram valores menores para o número de iodo, como 454 mg g⁻¹ de I₂ obtidos no carvão ativado proveniente de cama de frango (QIU; GUO, 2010).

O valor do pH é uma variável do carvão ativado pouco abordada por não possuir um valor recomendado por norma. No entanto, Martinez *et al.* (2011) destacam que o pH é importante a ser estudado porque pode ter um efeito significativo nas características da adsorção, uma vez que determina as interações eletrostáticas. A cinza de madeira apresentou pH de 7,64, sendo um material alcalino e com pouca capacidade de promover alteração na água da chuva. Um estudo realizado por Okoli *et al.* (2015) encontrou 6,8 para o valor de pH no carvão ativado derivado de semente de tamarindo.

The moisture content obtained was 8% below the maximum value recommended in MB – 3414 (ABNT, 1991d) and that recorded in studies with activated carbon from organic matter, such as the investigation by Shah and Parmar (2018), who reported a moisture content of 1.2% for activated carbon from tamarind seed.

On comparison with EB 2133 (ABNT, 1991a), the data obtained demonstrated that only the bulk density and moisture content of wood ash are considered suitable for application as a filter medium for the public water supply. It is important to underscore that the wood ash analyzed did not undergo chemical or physical activation, which may have improved its effectiveness as a filter medium. Chemical or physical activation increases the diameter of small pores, influencing surface characteristics (ABATAN *et al.*, 2019). Additionally, the activation method and conditions used affect pore formation and volume as well as the surface areas, characteristics that interfere with adsorption properties (DANISH; AHMAD, 2018).

Water analysis

The results obtained for sample 1 (collected in March) are presented in Table 4 and separated into the raw (before filtration) and filtered sample, in addition to the respective percentage variations represented by the average value for the analysis in duplicate, with the exception of total coliforms and *Escherichia coli*.

The results for sample 2 (collected in April) are expressed in Table 5, also separated into the raw (before filtration) and filtered sample, along with the respective percentage variations represented by the average value for the analysis in duplicate, with the exception of total coliforms and *Escherichia coli*.

The initial nitrate value was high in both samples and within the maximum 10 mg L⁻¹ permitted for consumption purposes. Nitrate contamination may be the result of inadequate disposal of sanitary and industrial waste, urban and agricultural runoff and animal feces, among others (BHATNAGARA *et al.*, 2010). Thus, the nitrate found in the water collected may originate in the large number of trees and birds in the area around the aviary, resulting in the accumulation of waste in the gutter (collection hose) and roof, leading to leaching during rainfall.

O teor de umidade ficou abaixo dos 8% indicado pela norma MB – 3414 (ABNT, 1991d) como valor máximo e do encontrado em estudos com carvão ativado proveniente de material orgânico, como o de Shah e Parmar (2018), que obtiveram para o carvão ativado de semente de tamarindo o teor de umidade de 1,2%.

Os dados obtidos, confrontados com a norma EB 2133 (ABNT, 1991a), mostraram que apenas a massa específica e o índice de umidade das cinzas de madeira são considerados adequados para aplicação como meio filtrante destinado ao abastecimento público. É importante destacar que a cinza de madeira analisada é um material que não passou pela etapa de ativação química ou física e tal procedimento poderia aumentar sua eficiência como material filtrante. A ativação química ou física promove aumento no diâmetro de pequenos poros, influenciando na característica superficial (ABATAN *et al.*, 2019). Além disso, o método e as condições do processo de ativação influenciam na formação e volume dos poros e área superficial, sendo características que interferem nas propriedades de adsorção (DANISH; AHMAD, 2018).

Análise da água

Os resultados da amostra coletada no mês de março, Amostra 1, estão expressos na Tabela 4, sendo separados entre amostra bruta (antes da filtração) e amostra filtrada (após filtração), além das respectivas variações percentuais, representados pela média da análise realizada em duplicata, com exceção de coliformes totais e *Escherichia coli*.

Os resultados da amostra coletada no mês de abril, Amostra 2, estão expressos na Tabela 5, sendo separados entre amostra bruta (antes da filtração) e amostra filtrada (após filtração), além das respectivas variações percentuais, também representados pela média da análise realizada em duplicata, com exceção de coliformes totais e *Escherichia coli*.

O íon nitrato apresentou alto valor inicial em ambas as amostras, enquadrando-as acima de 10 mg L⁻¹, considerado o máximo permitido para consumo. As origens de contaminação do nitrato podem ser o descarte inadequado de resíduos sanitários e industriais, escoamento agrícola e urbano, fezes de animais entre outros (BHATNAGARA *et al.*, 2010). Desta forma, uma possibilidade da origem do nitrato na água coletada seria o grande número de árvores próximas e de pássaros que trafegam no ambiente circundante do aviário que acabam acumulando resíduos no telhado e na calha de coleta, sendo lixiviados durante a chuva.

Table 4 - Values of the parameters obtained for sample 1 (raw and filtered)**Tabela 4** - Valores dos parâmetros obtidos na análise da Amostra 1, bruta e filtrada

| Parameter | Raw Sample | Filtered Sample | Percentage Variation |
|------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Nitrate | 81 mg L ⁻¹ | 79 mg L ⁻¹ | 2.5% reduction |
| Sulfate | 4.54 mg L ⁻¹ | 3.56 mg L ⁻¹ | 22% reduction |
| Chloride | 1.2217 mg L ⁻¹ | 1.396 mg L ⁻¹ | 14% increase |
| Total Coliforms | 90000 MPN 100mL ⁻¹ | 17000 MPN 00mL ⁻¹ | 81% reduction |
| Escherichia coli | 5000 MPN 100mL ⁻¹ | 500 MPN 100mL ⁻¹ | 90% reduction |
| Apparent color | 3.5 mg L ⁻¹ | ≤ 0.2 mg L ⁻¹ | ≥ 94% reduction |
| Turbidity | 2.21 NTU | 0.4 NTU | 82% reduction |
| Dissolved solids | 378 mg L ⁻¹ | 373 mg L ⁻¹ | 1.3% reduction |
| pH | 7.02 | 6.94 | 1.1% reduction |

MPN - Most probable number; NTU - Nephelometric turbidity unit.

Source: the authors.

NMP - Número Mais Provável; NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Fonte: os autores.

Table 5 - Values of the parameters obtained for sample 2, raw and filtered**Tabela 5** - Valores dos parâmetros obtidos na análise da Amostra 2, bruta e filtrada

| Parameter | Raw Sample | Filtered Sample | Percentage Variation |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Nitrate | 126 mg L ⁻¹ | 111 mg L ⁻¹ | 12% reduction |
| Sulfate | 5 mg L ⁻¹ | 3.49 mg L ⁻¹ | 30% reduction |
| Chloride | 2.792 mg L ⁻¹ | 5.933 mg L ⁻¹ | 113% increase |
| Total coliforms | 1600000 MPN 100mL ⁻¹ | 140000 MPN 100mL ⁻¹ | 91% reduction |
| Escherichia coli | 50000 MPN 100mL ⁻¹ | 5000 MPN 100mL ⁻¹ | 90% reduction |
| Apparent color | 6 mg L ⁻¹ | ≤ 0.2 mg L ⁻¹ | ≥ 97% reduction |
| Turbidity | 2.7 NTU | 0.245 NTU | 91% reduction |
| Dissolved solids | 466 mg L ⁻¹ | 468 mg L ⁻¹ | 0.4% increase |
| pH | 6.58 | 6.51 | 1.1% reduction |

MPN - Most probable number; NTU - Nephelometric turbidity unit.

Source: the authors.

NMP - Número Mais Provável; NTU - Unidade Nefelométrica de Turbidez.

Fonte: os autores.

Nitrate content declined slightly after filtration. Nitrate is difficult to remove during filtration because of its high solubility and stability in water (KALARUBAN *et al.*, 2016). The need to modify material to make it more efficient at nitrate removal is the object of recent studies. According to Keränen *et al.* (2015), lignocellulosic materials provide a bio-based platform for the production of anion exchange materials, requiring chemical modification (cationization) of their structure to allow anion sorption. Yang *et al.* (2016) found that biochars exhibited a low nitrate sorption capacity of 0.029 to 0.78 mg g⁻¹.

Após filtração, o índice de nitrato sofreu leve redução. A remoção do íon nitrato no processo de filtração é considerada difícil devido à sua alta solubilidade e estabilidade na água (KALARUBAN *et al.*, 2016). A necessidade de modificar o material para torná-lo eficiente na remoção de nitrato é objeto de estudos recentes. Segundo Keränen *et al.* (2015), materiais lignocelulósicos fornecem uma plataforma de base biológica para a produção de materiais de troca aniônica, sendo requerida modificação química (cationização) de sua estrutura para permitir a sorção de ânions. O estudo de Yang *et al.* (2016) mostrou que o biocarvão feito de biomassa apresentou baixa capacidade de sorção para nitrato, estando na faixa 0,029 a 0,78 mg g⁻¹.

Filtration reduced sulfate concentration in samples 1 and 2. According to Kalaruban *et al.* (2016), sulfate has two negative charges and therefore tends to be preferentially adsorbed to chloride, which has one negative charge. This may be the reason for the greater sulfate decline than that observed for nitrate. On the other hand, filtration increased the chloride concentration of the samples, albeit within the recommended upper limit. A study on low-cost adsorbent materials for nitrate removal found that nitrate adsorption reduced the presence of chloride and sulfate, the latter being the most competitive anion (KALARUBAN, 2016). This may explain the greater decline in sulfate than that observed for nitrate, indicating the presence of chloride in the wood ash incorporated into the water under filtering.

The total coliform results for raw samples 1 and 2 (Tables 4 and 5) may be due to the high concentration of organic matter on the aviary roof resulting from the large number of birds in the surrounding area, as well as dust inside the aviary from cleaning and movement when a new batch of poultry arrives. Indeed, Ahmed *et al.* (2017) reported that rainwater acquires microorganisms from the feces of birds, insects, bats, marsupials and reptiles and debris deposited on roofs and gutters. A study on the presence of bacterial communities in rainwater samples collected from water tanks indicated that 43% of samples from one collection site showed signs of contamination from bird droppings (AHMED *et al.*, 2017).

After filtration, total coliforms and *Escherichia coli* declined by almost 90% in both samples (Tables 4 and 5), not dispensing with the use of disinfection to remove any remaining bacteria. Li *et al.* (2012) used direct rapid sand filtration for effluent treatment and achieved successful removal of 0.6 to 1.5 log-units of fecal coliforms, that is, 74.9 to 96.8%, depending on the loading rate and grain size distribution. Coagulation and flocculation were not performed before filtration; flocculation may affect coliform removal efficiency and produce better results, as reported by Li *et al.* (2012), who tested the effect of different flocculant doses before filtration.

A filtração promoveu redução na concentração de sulfato nas Amostras 1 e 2. Conforme Kalaruban *et al.* (2016), o sulfato tem duas cargas de escape e, portanto, tem tendência de ser adsorvido preferencialmente ao cloreto, que tem uma carga. Desta forma, este pode ser o motivo da redução de sulfato da amostra ser maior do que o nitrato. Por outro lado, a passagem das amostras pelo filtro provocou aumento na concentração de cloreto, porém os índices estão dentro do valor máximo permitido. Um estudo sobre materiais adsorventes de baixo custo para remoção de nitrato, relatou que a adsorção de nitrato reduziu devido à presença de cloreto e sulfato, sendo este último um ânion mais competitivo (KALARUBAN, 2016). Este pode ser o motivo da redução de sulfato ter sido em maior quantidade do que a de nitrato, mostrando que o cloreto está presente na cinza de madeira e é incorporado à água quando submetida ao filtro.

Os valores obtidos para coliformes totais nas Amostras brutas 1 e 2 (Tabelas 4 e 5) podem ser abordados levando em consideração a alta concentração de material orgânico existente em telhados de aviários, devido à alta circulação de pássaros nos arredores do local, além de poeira depositada proveniente da área interna do aviário, decorrente da movimentação ou limpeza realizada no local a cada troca de lote de frango. Para corroborar, Ahmed *et al.* (2017) afirmam que, no telhado, a água da chuva adquire microrganismos das fezes de pássaros, insetos, morcegos, marsupiais, répteis e detritos depositados na calha do telhado. Um estudo para investigar a presença de comunidades bacterianas realizado com amostras de água da chuva coletadas diretamente em tanques de armazenamento indicou que, em uma das regiões de coleta, 43% das amostras continham sinais de contaminação fecal de aves (AHMED *et al.*, 2017).

Após submetidas ao filtro, ambas as amostras obtiveram reduções próximas à 90% no número de coliformes totais e *Escherichia coli* (Tabelas 4 e 5), não dispensando o uso da desinfecção para inativar as bactérias restantes. Estudo realizado por Li *et al.* (2012) em filtro de areia rápido e direto com o uso de coagulante para tratamento de águas residuais mostrou eficiência na remoção de coliformes fecais, variando de 0,6 a 1,5 log de unidades fecais, ou seja, de 74,9 a 96,8%, sendo a variação consequência da taxa de carregamento e da distribuição do tamanho dos grãos. O experimento não fez uso de coagulante e floculante previamente à etapa de filtração, sendo que este último pode interferir na eficiência de remoção de coliformes e trazer melhores resultados, conforme abordado em estudos realizados por Li *et al.* (2012), para testar o efeito de floculantes com diferentes dosagens antes da filtração.

Apparent color decreased by more than 90% in both samples (Tables 4 and 5), with values below the minimum measurement of 0.2 mg L⁻¹ for the spectrophotometer used, indicating efficient removal. There was an 80% decline in turbidity in both samples, greater than the 73% reported by Morales *et al.* (2013) in tests with a pilot filter of sand and gravel. The successful removal of turbidity and color may be due to the adhesion mechanisms of the filter medium, whereby the space between particles was smaller than the size of the impurities present in the water. The same effect may explain the negligible change in total dissolved solids after filtration, since the particles dissolved in the water are small and not adhered.

There was no significant alteration in pH in either sample, indicating that the material caused no changes in the water (Tables 4 and 5). In addition, the fact that complementary products such as coagulants or flocculants were not used contributed to pH stability.

CONCLUSIONS

Wood ash proved to be an efficient filter medium in reducing turbidity, color, total coliforms and *Escherichia coli* in rainwater when applied with sand and crushed stone;

Wood ash was not efficient as a filter medium to remove nitrate, chloride and total dissolved solids from rainwater;

The inability to remove nitrate disqualifies wood ash as a means of filtering rainwater for use in animal feed.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to the Support Fund for the Maintenance and Development of Higher Education (FUMDES), government funding from Santa Catarina state via the UNIEDU program, and the research grant awarded.

A cor aparente apresentou redução superior a 90% em ambas as amostras (Tabelas 4 e 5), sendo que os resultados obtidos com a leitura realizada nas amostras após filtração ficaram abaixo de 0,2 mg L⁻¹, sendo este o valor mínimo de medição do espectrofotômetro utilizado, demonstrando eficiência de remoção. A turbidez apresentou redução maior que 80% nas Amostras 1 e 2, sendo que estes resultados foram maiores do que o encontrado por Morales *et al.* (2013), com testes em filtro piloto utilizando apenas areia e cascalho, obtendo 73% de eficiência na remoção de turbidez. A boa remoção de cor e turbidez pode ter ocorrido devido aos mecanismos de adesão do material filtrante, sendo o espaço entre as partículas menor do que o tamanho das impurezas presentes na água. O mesmo efeito pode ser abordado para explicar a desprezível alteração dos sólidos dissolvidos totais após a amostra passar pelo filtro piloto, tendo em vista que as partículas dissolvidas na água são muito pequenas e não são aderidas.

O pH das amostras não apresentou alterações consideráveis, evidenciando que o material não ocasionou alterações na água (Tabelas 4 e 5). Além disso, a não aplicação de produtos complementares para tratamento, como coagulante ou floculante, contribuíram para inalteração do pH.

CONCLUSÕES

A cinza de madeira como meio filtrante se mostrou eficiente na etapa de filtração, quando aplicada juntamente com areia e pedra britada, para redução de cor, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* presentes na água da chuva;

A cinza de madeira como meio filtrante não se mostrou eficiente para remoção de nitrato, sulfato, cloreto e sólidos dissolvidos totais presentes na água da chuva;

A incapacidade de remover o alto índice de nitrato desqualifica a cinza de madeira como meio para filtrar a água da chuva para uso na dessedentação animal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior – FUMDES, com financiamento do Governo do Estado de Santa Catarina por meio do programa UNIEDU, pela bolsa de pesquisa concedida.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ABATAN, O. G.; ONI, B. A.; AHBOOLA, O.; EFEVBOKHAN, V.; ABIODUN, O. O.; Production of activated carbon from African star apple seed husks, oil seed and whole seed for wastewater treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 441-450, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.378>
- AÇIKYILDIZ, M.; GÜRSES, A.; KARACA, S. Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with chemical activation. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 198, p. 45-49, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1280560>
- AHMED, W.; STALEY, C.; HAMILTON, K. A.; BEALE, D. J.; SADOWSKY, M. J.; TOZE, S.; HASS, C. N. Amplicon-based taxonomic characterization of bacteria in urban and peri-urban roof-harvested rainwater stored in tanks. **Science of the Total Environment**, v. 576, p. 326-334, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.090>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American Public Health Association, 21^a ed., 2005.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3838-05 – Standard Test Method for pH of Activated Carbon**. United States, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB-2133 – Carvão ativado pulverizado**. Rio de Janeiro, 1991a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3410 – Carvão ativado pulverizado – Determinação do número de iodo**. Rio de Janeiro, 1991b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3413 – Carvão ativado pulverizado – Determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 1991c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB-3414 – Carvão ativado pulverizado – Determinação da umidade**. Rio de Janeiro, 1991d.
- ASOKBUNYARAT, V.; HULLEBUSCH, E. D.; LENS, P. N. L.; ANNACHHATRE, A. P. Coal bottom ash as sorbing material for Fe(II), Cu(II), Mn(II), and Zn(II) removal from aqueous solutions. **Water Air and Soil Pollution**, v. 226, n. 5, p. 1-17, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2415-5>
- BHATNAGARA, A.; KUMARB, E.; SILLANPÄÄC, M. Nitrate removal from water by nano-alumina: Characterization and sorption studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 163, n. 3, p. 317-323, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2010.08.008>
- BRASIL. Portaria n.2914, de 12 de dezembro de 2011. Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 de dezembro de 2011. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/33161595/dou-secao-1-14-12-2011-pg-39>. Acesso em 22 de maio de 2019.
- BRASIL. Ofício Circular Conjunto DFIP – DSA nº 1 / 2008. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Esclarecimentos referentes aos procedimentos para registro e fiscalização de estabelecimentos avícolas. Disponível em: http://www.cidasc.sc.gov.br/defesasaniaanimal/files/2012/09/Memo-118_CPRP.pdf. Acesso em 03 de junho de 2019.
- BRUNO, L. D. G.; MAIORKA, A.; MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GIVISIEZ, P. E. N. Water intake behavior of broiler chickens exposed to heat stress and drinking from bell or and nipple drinkers. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 13, n. 2, p. 147-152, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2011000200009>
- DANISH, M.; AHMADB, T. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 87, p. 1-21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.003>
- DI BERNARDO, L. (coord.). Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. São Paulo: ABES, RiMa, 2003. 498 p.
- GHIMIRE, S. R.; JOHNSTON, J. M. Impacts of domestic and agricultural rainwater harvesting systems on watershed hydrology: A case study in the Albemarle-Pamlico river basins (USA). **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 13, p. 159-171, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.03.007>
- GHIMIRE, S. R.; WATKINS JUNIOR, D. W.; LI, K. Life cycle cost assessment of a rain water harvesting system for toilet flushing. **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 12, n. 3, p. 309-320, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2011.135>

- GUPTA, V. K.; MITTAL, A.; JHAREC, D.; MITTAL, J. Batch and bulk removal of hazardous colouring agent Rose Bengal by adsorption techniques using bottom ash as adsorbent. **RSC Advances**, v. 2, p. 8381-8389, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1039/C2RA21351F>
- JAYARANJAN, M. L. D.; HULLEBUSC, E. D.; ANNACHHATRE, A. P. Reuse options for coal fired power plant bottom ash and fly ash. **Reviews Environmental Science and Biotechnology**, v. 13, p. 467-486, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9336-4>
- KALARUBAN, M.; LOGANATHAN, P.; SHIM, W. G.; KANDASAMY, J.; NGO, H. H.; VIGNESWARAN, S. Enhanced removal of nitrate from water using amine-grafted agricultural wastes. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 503-510, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.194>
- KAUSHIK, R.; BALASUBRAMANIAN, R.; CRUZ, A. A.; Influence of Air Quality on the Composition of Microbial Pathogens in Fresh Rainwater. **Applied and Environmental Microbiology**, v.78, n. 8, p. 2813-2818, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.07695-11>
- KERÄNEN, A.; LEIVISKÄ, T.; HORMI, O.; TANSKANEN, J. Preparation of cationized pine sawdust for nitrate removal: Optimization of reaction conditions. **Journal of Environmental Management**, v. 160, n. 1, p. 105-112, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.012>
- LEECHART, P.; NAKBANPOTE, W.; THIRAVETYAN, P. Application of 'waste' wood-shaving bottom ash for adsorption of azo reactive dye. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 2, p. 912-920, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.02.005>
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: Átomo, 2010. 494 p.
- LI, Y.; YU, J.; LIU, Z.; MA, T. Estimation and modeling of direct rapid sand filtration for total fecal coliform removal from secondary clarifier effluents. **Water Science & Technology**, v. 65, n. 9, p. 1615-1623, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2012.054>
- MARTINEZ, M. S.; PIZA, A. V. T.; DANTAS, A. D. B.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; BERNARDO, L. D. Remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água por adsorção em carvão ativado. **Revista DAE**, v. 59, p. 35-39, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2014.071>
- MORALES, C. G.; SÁNCHEZ, G. A.; JIMÉNEZ, C. C.; CARMONA, C. G.; PÉREZ, F. M.; TRUJILLO, L. E. V. Control de *Fasciola hepatica* en el agua de consumo animal a través de filtración rápida y lenta. **Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia**, v. 10, p. 133-141, 2013.
- OKOLI, C. A.; ONUKWULI, O. D.; OKEY-ONYESOLU C. F.; OKOYE, C. C. Adsorptive removal of dyes from Synthetic wastewater using activated Carbon from tamarind seed. **European Scientific Journal**, v. 11, p. 190-221, 2015.
- QIU, G.; GUO, M. Quality of poultry litter-derived granular activated carbon. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 379-386, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.050>
- SAKA, C. BET, TG-DTG, FT-IR, SEM, iodine number analysis and preparation of activated carbon from acorn shell by chemical activation with ZnCl₂. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 95, p. 21-24, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.12.020>
- SHAH, K.; PARMAR, A. Adsorptive removal of Orange G dye from an aqueous solution by Activated Carbon prepared from Coconut shell. **International Journal of Latest Engineering and Management Research**, v. 3, p. 1-4, 2018.
- TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Benefits and legacy of the water crisis in Brazil. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 234-239, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1629>
- TORRES, L. M. P.; LOZADA, P. T.; VÉLEZ, C. H. C.; RIVERA, J. C. E. Influencia de la configuración del medio filtrante sobre el proceso de filtración a tasa constante del agua clarificada del río Cauca. **Revista Escuela de Ingeniería de Antioquia**, n. 38, p. 38-44, 2013.
- YANG, J.; LI, H.; ZHANG, D.; WU, M.; PAN, B. Limited role of biochars in nitrogen fixation through nitrate adsorption. **Science of the Total Environment**, v. 592, n. 15, p. 758-765, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.182>
- ZHU, G.; ZHENG, H.; CHEN, W.; FAN, W.; ZHANG, P.; TSHUKUDU, T. Preparation of a composite coagulant: Polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS) for wastewater treatment. **Desalination**, v. 285, p. 315-323, 2012.