

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

**DISSERTAÇÃO**

**TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA  
BOVINOCULTURA DE LEITE UTILIZANDO COAGULANTE  
NATURAL E FILTRO ORGÂNICO**

**CARINA SOARES PIRES**

**2020**



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

**TRATAMENTO DA ÁGUA RESIDUÁRIA DA BOVINOCULTURA DE LEITE  
UTILIZANDO COAGULANTE NATURAL E FILTRO ORGÂNICO**

**CARINA SOARES PIRES**

*Sob a Orientação da Professora*  
**Érika Flávia Machado Pinheiro**

*e Coorientação do Professor*  
**David Vilas Boas de Campos**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Engenharia Agrícola e Ambiental**, no curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de Concentração em Meio Ambiente.

SEROPÉDICA, RJ  
FEVEREIRO DE 2020

A reprodução total ou parcial deste documento é permitida para fins técnicos, acadêmicos e científicos, desde que na reprodução sejam citados a autora, o título, a instituição e o ano da dissertação.

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

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

P667t Pires, Carina Soares, 1992-  
Tratamento da água residuária da bovinocultura de  
leite utilizando coagulante natural e filtro orgânico  
/ Carina Soares Pires. - Petrópolis, 2020.  
68 f.

Orientadora: Érika Flávia Machado Pinheiro.  
Coorientador: David Vilas Boas de Campos.  
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro, Programa de pós graduação em  
engenharia agrícola e ambiental, 2020.

1. Saneamento rural. 2. Tecnologias de baixo  
custo. 3. Filtração. 4. Separação sólido-líquido. I.  
Pinheiro, Érika Flávia Machado, 1975-, orient. II.  
Campos, David Vilas Boas de, 1972-, coorient. III  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Programa de pós graduação em engenharia agrícola e  
ambiental. IV. Título.

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

**CARINA SOARES PIRES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – PGEAAmb, como requisito parcial para obtenção do título de **Mestra em Engenharia Agrícola e Ambiental**, tendo como Área de Concentração Meio Ambiente.

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM 12/03/2020**

**Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020**, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Membros da Banca:

Érika Flávia Machado Pinheiro. Dra. UFRRJ. (Orientadora/Presidente da banca)

Leonardo Duarte Batista da Silva. Dra. UFRRJ.

Paola Afonsa Vieira Lo Monaco. Dra. IFES.

Talita de Santana Matos. Dra. UFRRJ.



Emitido em 27/08/2020

**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 34/2020 - IT (12.28.01.27)**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 27/08/2020 16:23 )*

**ERIKA FLAVIA MACHADO PINHEIRO**

*PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR*

*DeptS (12.28.01.00.00.00.33)*

*Matrícula: 1740899*

*(Assinado digitalmente em 28/08/2020 23:17 )*

**LEONARDO DUARTE BATISTA DA SILVA**

*PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR*

*DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.00.44)*

*Matrícula: 2353141*

*(Assinado digitalmente em 04/09/2020 16:50 )*

**PAOLA ALFONSA VIEIRA LO MONACO**

*ASSINANTE EXTERNO*

*CPF: 247.096.338-94*

*(Assinado digitalmente em 27/08/2020 18:54 )*

**TALITA DE SANTANA MATOS**

*ASSINANTE EXTERNO*

*CPF: 102.499.957-27*

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrrj.br/documentos/> informando seu número: **34**, ano: **2020**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **27/08/2020** e o código de verificação: **054a2d2ba0**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a Deus e aos meus pais,  
Paulo Cezar e Marina que nunca mediram  
esforços em favor dos meus estudos.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, pelo dom da vida, por mais essa conquista, pela proteção e cuidados a mim dedicados, pela oportunidade de poder estudar, por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho e por me dar forças e saúde para lutar pelos meus sonhos.

Aos meus queridos pais Paulo Cezar e Marina, por serem exemplos para mim, por todo amor, incentivo e apoio durante toda minha vida. À minha querida irmã Larissa, pelo amor, amizade e incentivo. Ao meu amado esposo Leandro, pelo companheirismo, amor e por compreender minhas ausências.

Aos meus amigos: Alfredo Santos Júnior, Tatiane Gedgeski, Rayza Carvalho e Aolibama Moraes pela amizade, por todo apoio, comprometimento, por acreditarem no projeto e não medirem esforços para ajudar em todas as etapas da pesquisa, tornando essa trajetória mais alegre, leve e feliz. Sem a ajuda de vocês eu não teria conseguido chegar até aqui, contem sempre comigo!

Aos meus familiares e amigos, pelo amor, por acreditarem em mim e por torcerem pelo meu sucesso profissional.

À professora Dra. Érika Flávia Machado Pinheiro, meus agradecimentos por acreditar em mim e por todo apoio, paciência, incentivo e orientação neste trabalho.

Ao meu Co-orientador Dr. David Campos Villas Boas, pela disponibilidade e apoio.

Às amigas do alojamento da UFRRJ, em especial Amanda, Nayani, Mariana e Nayara, pelo acolhimento, amizade e apoio ao longo dessa jornada.

Às amigas do alojamento da pós-graduação, em especial Michele, Yollanda, Otávia, Thamires, Daiana, Sheyla, Ana Paula, Aline e Mônica pelos momentos de descontração, conselhos e todo apoio ao longo dessa trajetória.

À Eng<sup>a</sup> Danielle França, pela amizade e toda ajuda na etapa de produção de carvão e valiosa contribuição com análises de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia de energia dispersiva.

Aos amigos e colegas Patrícia, Bárbara, Rozileni, prof<sup>a</sup> Dra. Érica, Farlei, Erinaldo, Camila, Luiz e Rosimar pela imensa contribuição durante as análises químicas.

Ao professor Dr. Azarias Machado, pelos conselhos, disponibilidade e contribuição valiosa na elaboração deste trabalho.

Ao professor Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva, meus agradecimentos pelos conhecimentos transmitidos, pelos conselhos, por todo incentivo e apoio durante os experimentos.

Ao professor Dr. Alexandre Lioi Nascentes, pela orientação durante o estágio de docência e apoio na pesquisa.

Ao Martin Freire, por todo apoio, disponibilidade e ajuda em todas as etapas deste trabalho.

Ao técnico do Instituto de Florestas José Carlos, pela amizade, confiança e por todo auxílio durante o preparo dos materiais filtrantes.

Ao técnico Sr. Dedeco, pela confiança e apoio durante as análises químicas.

Ao professor Dr. Edvá, pelo apoio e disponibilidade durante o preparo dos materiais filtrantes.

Ao Instituto de Florestas, na pessoa do diretor o prof. Dr. Paulo Lelles, por disponibilizar a madeira da *Corymbia citriodora* do povoamento florestal da UFRRJ.

Aos professores e aos amigos do curso de pós-graduação de Engenharia Agrícola e Ambiental, pelos conhecimentos transmitidos ao longo dessa trajetória.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Matéria Orgânica do Solo, Camila Matos, Melaine, Camilla, Suelen, Pedro, Virgínia, Franciele e Christiane, por toda ajuda, descontração e pelos bons momentos compartilhados.

À equipe da Fazendinha Agroecológica do km 47, sempre solícita e prestativa, meus agradecimentos pela disponibilidade e apoio.

À equipe do Campo Experimental São Mônica (CESM), EMBRAPA Gado de Leite, pela disponibilidade e ajuda durante a coleta dos efluentes.

Aos membros da banca, prof. Dr. Leonardo, prof<sup>a</sup> Dra. Paola e Dra. Talita, pela solicitude.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – código de financiamento 001, pelo apoio financeiro.

À Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), pelo financiamento da pesquisa através do Edital nº05/2018, viabilizando a compra de materiais, reagentes e participação de eventos científicos.

À empresa BWE, pela doação do tanino utilizado nesta pesquisa.

Ao Laboratório de Matéria Orgânica do Solo e ao Departamento de Solos pela disponibilidade de infraestrutura e recursos.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental (PGEAAMB), pela oportunidade de realizar o curso e desenvolver esta pesquisa.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela disponibilidade de infraestrutura e recursos, e principalmente, por fornecer condições que viabilizaram a realização do meu maior sonho: estudar.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho.



## **BIOGRAFIA**

CARINA SOARES PIRES, filha de Marina Rodrigues Soares Pires e Paulo Cezar Pires, nasceu em dia 03 de abril de 1992, na cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro. Em 2009, concluiu o ensino médio no Instituto Educacional Professor Alaor. Em 2011, ingressou no curso de graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em 2017. Em 2018, ingressou no programa de pós-graduação a nível de mestrado, em Engenharia Agrícola e Ambiental, na área de Meio Ambiente, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, submetendo-se à defesa de dissertação em março de 2020.

## RESUMO

PIRES, Carina Soares. **Tratamento da água residuária da bovinocultura de leite utilizando coagulante natural e filtro orgânico**. 2020. 67 p Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental, Meio Ambiente). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

A gestão dos resíduos gerados nas unidades produtoras de leite no país é escassa e têm-se, como agravante, o grande volume de efluentes produzido de forma cada vez mais concentrada em menores áreas. Os efluentes possuem alta concentração de matéria orgânica, nutrientes, metais pesados, microrganismos patogênicos. Este trabalho avalia a eficiência de se utilizar técnicas de baixo custo no tratamento a nível primário dos efluentes produzidos em duas unidades produtoras de leite no estado do Rio de Janeiro. O objetivo do estudo é avaliar a eficiência das tecnologias de baixo custo de separação da fração sólida-líquida, utilizando coagulante natural, e de filtração, com uso de partículas de madeira e carvão vegetal, no tratamento da água residuária da bovinocultura de leite. Primeiramente, foi investigada a eficiência da separação da fração sólida-líquida através da aplicação de um coagulante natural à base de tanino extraído da casca da Acácia negra (*Acacia Mearnsii*) no tratamento do efluente da bovinocultura de leite do Sistema de Produção Agroecológica (SIPA). Também foi avaliado o processo de filtração com o uso de partículas de madeira de *Corymbia citriodora* e carvão vegetal de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) no tratamento da água residuária da bovinocultura de leite gerada no Campo Experimental Santa Mônica (CESM). Para isso, os efluentes coletados em ambas unidades foram caracterizados química e fisicamente. No primeiro experimento, os tratamentos avaliados foram: T1) aplicação de 4,0 mL L<sup>-1</sup> de tanino e; T2) 9,0 mL L<sup>-1</sup> de tanino. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos e quatro repetições. Foram avaliados o potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), cor verdadeira, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e fósforo dissolvido (P dissolvido) na fração líquida após a realização de cada tratamento. No experimento avaliando o processo de filtração foram construídas colunas com garrafas de Poli Tereftalato de Etileno (PET) que foram preenchidas com 750 g dos materiais orgânicos com granulometria entre 1,0 e 2,0 mm, nas proporções de acordo com o tratamento proposto: 70% de partículas de madeira (525g) e 30% de carvão vegetal (225g). Durante a operação foram filtrados 30 L de ARB e desse efluente avaliou-se, a cada cinco litros, o pH, CE, ST, SF, SV, DQO, P dissolvido, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd e Cr. A cada dez litros, a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e Nitrogênio total. Como resultado principal da técnica de separação sólido-líquido observou-se que o efluente tratado com a menor dose de tanino apresentou boa clarificação, pequena redução nos valores de pH, um pequeno acréscimo na CE e remoções de DQO (88%) e fósforo dissolvido (24%). Dentre os principais resultados do processo de filtração destaca-se a remoção máxima de DQO (93%), P dissolvido (23%), sólidos totais (31%), sólidos voláteis (48%), nitrato (50%), sódio (18%), potássio (24%) e magnésio (16%). A passagem da ARB nas condições avaliadas promoveu reduções de cobre (6%) e acréscimo nos teores de cádmio (2%), zinco (45%), chumbo (6%) e manganês (88%). Entende-se que as técnicas avaliadas de separação da fração sólido-líquida e filtração foram eficientes na melhoria da qualidade do efluente da bovinocultura de leite. Deve-se ressaltar que as duas técnicas apresentam potencial por utilizar compostos de natureza orgânica no tratamento de efluente que se for utilizado na agricultura não causa a degradação do solo. No entanto, por se tratar de um tratamento a nível primário, nenhuma das tecnologias avaliadas permite o lançamento dos efluentes da bovinocultura de leite em corpos hídricos.

**Palavras-chave:** filtração, separação sólido-líquido e saneamento rural.

## ABSTRACT

PIRES, Carina Soares. **Wastewater treatment of dairy cattle using natural coagulant and organic filter**. 2020. 67 p. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering, Environment). Institute of Technology, Engineering Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

The management of waste generated in the milk producing units in the country is scarce and, as an aggravating factor, the large volume of effluents produced is increasingly concentrated in smaller areas. The effluents have a high concentration of organic matter, nutrients, heavy metals, pathogenic microorganisms. This work evaluates the efficiency of using low cost techniques in the treatment at the primary level of the effluents produced in two milk producing units in the state of Rio de Janeiro. The objective of the study is to evaluate the efficiency of low-cost technologies for separating the solid-liquid fraction, using natural coagulant, and filtration, using wood particles and charcoal, in the treatment of wastewater from dairy cattle. First, the efficiency of the separation of the solid-liquid fraction was investigated through the application of a natural tannin-based coagulant extracted from the black Acacia bark (*Acacia Mearnsii*) in the treatment of the dairy cattle effluent from the Agroecological Production System (SIPA). The filtration process was also evaluated with the use of *Corymbia citriodora* wood particles and eucalyptus charcoal (*Eucalyptus* spp.) In the treatment of waste water from dairy cattle generated at Campo Experimental Santa Mônica (CESM). For this, the effluents collected in both units were characterized chemically and physically. In the first experiment, the treatments evaluated were: T1) application of 4.0 mL L<sup>-1</sup> of tannin and; T2) 9.0 mL L<sup>-1</sup> of tannin. The experimental design was completely randomized, with two treatments and four replications. The hydrogen potential (pH), Electrical Conductivity (EC), true color, Chemical Oxygen Demand (COD) and dissolved phosphorus (dissolved P) in the liquid fraction were evaluated after each treatment. In the experiment evaluating the filtration process, columns were constructed with bottles of Polyethylene Terephthalate (PET) that were filled with 750 g of organic materials with a particle size between 1.0 and 2.0 mm, in the proportions according to the proposed treatment: 70% of wood particles (525g) and 30% of charcoal (225g). During the operation, 30 L of ARB were filtered and from this effluent the pH, CE, ST, SF, SV, COD, dissolved P, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg, Mn, Zn were evaluated every five liters. Cu, Pb, Cd and Cr. Every ten liters, the Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>) and Total Nitrogen. As a main result of the solid-liquid separation technique, it was observed that the effluent treated with the lowest dose of tannin showed good clarification, a small reduction in pH values, a small increase in EC and removals of COD (88%) and dissolved phosphorus (24%). Among the main results of the filtration process, the maximum removal of COD (93%), dissolved P (23%), total solids (31%), volatile solids (48%), nitrate (50%), sodium (18%), potassium (24%) and magnesium (16%). The passage of the ARB under the conditions evaluated promoted a reduction in copper (6%) and an increase in the levels of cadmium (2%), zinc (45%), lead (6%) and manganese (88%). It is understood that the techniques evaluated for separating the solid-liquid fraction and filtration were efficient in improving the quality of the effluent from dairy cattle. It should be noted that the two techniques have the potential to use compounds of an organic nature in the treatment of effluent which, if used in agriculture, does not cause soil degradation. However, since it is a treatment at the primary level, none of the evaluated technologies allows the release of effluents from dairy cattle in water bodies.

**Keywords:** filtration, reuse water and rural sanitation.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Caracterização físico-químicas da água residuária da bovinocultura de leite (ARB). .....	20
<b>Tabela 2.</b> Características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite (ARB) oriunda do SIPA, coletada em outubro de 2019. ....	30
<b>Tabela 3.</b> Estatística descritiva do rendimento e propriedades do carvão vegetal da madeira de Eucalipto ( <i>Eucalyptus</i> spp) pirolisado à temperatura máxima de 400 °C. ....	32
<b>Tabela 4.</b> Valores médios da composição elementar da madeira e carvão vegetal de Eucalipto spp. utilizados durante o processo de filtração. ....	34
<b>Tabela 5.</b> Características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite bruta oriunda do por extenso. Valores médios das coletas de junho e julho de 2019. ....	40
<b>Tabela 6.</b> Características visuais, como floco formado e clarificação, da água residuária da bovinocultura após tratamento com a adição do coagulante tanino para a separação da fração sólida-líquida. ....	42
<b>Tabela 7.</b> Valores médios de pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio, cor verdadeira e fósforo dissolvido na ARB bruta e nas frações líquidas obtidas após a separação da fração sólida-líquida utilizando tanino nas doses 4,0 mL L-1 (Tratamento 1) e 9,0 mL L-1 (Tratamento 2). ....	44
<b>Tabela 8.</b> Características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite (ARB) oriunda do CESH após o pré-tratamento utilizado (sedimentação das partículas com uso de tanino vegetal, tempo de 2 horas). Valores médios, de três repetições, das coletas de junho e julho de 2019. ....	46
<b>Tabela 9.</b> Concentração de substâncias inorgânicas na ARB após pré-tratamento por sedimentação das partículas e limite máximo permitido para lançamento de efluentes líquidos conforme Resolução 430/11 e NT 202/86. ....	48
<b>Tabela 10.</b> Valores médios de condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e cor verdadeira dos efluentes por volume filtrado após etapa de filtração. ....	49
<b>Tabela 11.</b> Caracterização química do efluente da bovinocultura de leite durante o processo de filtração com partículas de madeira e carvão vegetal. ....	50
<b>Tabela 12.</b> Valores médios dos teores de substâncias inorgânicas ao longo do processo de filtragem da ARB com partículas de madeira e carvão vegetal. ....	54

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Inconvenientes nos corpos d'água, causados pelo lançamento de esgotos não tratados.....	21
<b>Quadro 2.</b> Desempenho dos filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias. ....	27
<b>Quadro 3.</b> Análises estatísticas fornecidas pelo software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014) para a fração líquida resultado da separação sólido-líquido utilizando coagulante natural da água residuária da bovinocultura de leite. ....	64

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Efetivo de animais ordenhados no Brasil (A) e o ranking da Produtividade de leite no Brasil (B). Fonte: Adaptado de IBGE (2019)..... 18
- Figura 2.** Distribuição das microrregiões de acordo com a produção de leite por área na região sudeste em 2017. .... 19
- Figura 3.** Estrutura hipotética dos taninos. Tanino hidrolisável (A) e Tanino condensado (B). Fonte: Adaptados de Dias (2014). .... 24
- Figura 4.** Etapas do processo de separação sólido-líquido. Efluente bruto (A), etapa de agitação (B) e separação das fases (C)..... 29
- Figura 5.** Recipiente de inox utilizado para a pirólise do material vegetal (A) e Mufla elétrica programada para alcançar a temperatura de 400°C. .... 31
- Figura 6.** Imagens de microscopia eletrônica de varredura da amostra de madeira de Eucalipto com aumento de 54x (A), aumento de 1000x (B) e do carvão vegetal com aumento de 54x (C), aumento de 1000x (D)..... 52
- Figura 7.** Espectroscopia de energia dispersiva das amostras. Cavacos de eucalipto (*Eucalyptus* spp) (A) e carvão vegetal de eucalipto (*Eucalyptus* spp) pirolisado a 400°C (B). .. 35
- Figura 8.** Detalhamento do processamento da madeira de *Corymbia citriodora* para obtenção das partículas de madeira. Madeira cortada em discos (A), corte em cavacos (B), hidratação do material (C), processamento no moinho (D) e amostra do resultado das partículas processadas (E). .... 36
- Figura 9.** Modelo esquemático da coluna filtrante..... 37
- Figura 10.** Vista superior da coluna de garrafas PET utilizada como suporte para o filtro orgânico (A), homogeneização do material orgânico (B) e preenchimento das colunas (C)..... 37
- Figura 11.** Tanque de armazenamento da ARB (A) e unidade de ordenha do Campo Experimental Santa Mônica (CESM) (B)..... 38
- Figura 12.** Remoção de sólidos grosseiros com auxílio de uma peneira de 4,0 mm de abertura de malha (A) e regime contínuo de escoamento para alimentação das colunas (B). .... 39
- Figura 13.** Amostras da água residuária bruta (A), da fração líquida (B) e da fração sólida após tratamento com tanino na dose de 4,0 mL L<sup>-1</sup> (C)..... 43

<b>Figura 14.</b> Aspecto visual das amostras da fração líquida após o processo de separação da fração sólida com 9,0 mL L <sup>-1</sup> de tanino. A fileira da frente com amostras da fração líquida e as fileiras traseiras com a fração sólida. ....	43
<b>Figura 15.</b> Concentração relativa dos teores de CE (A), cor verdadeira (B), sólidos totais (C) e sólidos voláteis (D) do efluente em relação ao afluente (C/C <sub>0</sub> ) em função do volume filtrado pelas colunas preenchidas com material orgânico. ....	49
<b>Figura 16.</b> Concentração relativa do pH ao longo do processo de filtração (C/C <sub>0</sub> ). ....	51
<b>Figura 17.</b> Valores de concentrações relativas dos parâmetros ao longo do processo de filtração DBO <sub>5</sub> (A), DQO (B), N-total (C), N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (D), P – dissolvido (E), Mg (F), K (G) e Na (H). ....	53
<b>Figura 18.</b> Teores de substâncias inorgânicas antes e após o processo de filtração. ....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS

ARB	Água residuária de bovinocultura
ARS	Água residuária de suinocultura
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NBR	Norma Brasileira
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
UASB	Reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	18
2.1.	A bovinocultura no Brasil	18
<b>2.2.</b>	<b>Características físico-químicas da ARB</b>	19
<b>2.3.</b>	<b>Tratamento primário utilizado no tratamento de águas residuárias</b>	21
2.3.1.	Separação sólido-líquido	22
2.3.2.	Filtração	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	29
<b>3.1.</b>	<b>Experimento I: Separação sólido-líquido utilizando coagulante natural</b>	29
3.1.1.	Área de estudo	29
3.1.2.	Coleta da ARB	29
3.1.3.	Descrição do procedimento experimental	29
3.1.4.	Análises laboratoriais da fração líquida da ARB	30
<b>3.2.</b>	<b>Experimento II: Filtração utilizando partículas de madeira e carvão vegetal</b>	30
3.2.1.	Área de estudo	30
3.2.2.	Preparo e caracterização dos materiais filtrantes	31
3.2.2.1.	Carvão vegetal	31
3.2.2.2.	Partículas de madeira	35
3.2.3.	Coleta da ARB	37
3.2.4.	Descrição do procedimento experimental	38
3.2.5.	Análises laboratoriais	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	41
<b>4.1.</b>	<b>Experimento I: Separação sólido-líquido utilizando coagulante natural</b>	41
4.1.1.	Avaliação do efeito da dose sobre a eficiência do processo de coagulação / floculação	42
<b>4.2.</b>	<b>Experimento II: Filtração da ARB utilizando partículas de madeira e carvão vegetal</b>	46
4.2.1.	Caracterização da ARB bruta	46
4.2.2.	Avaliação da eficiência do processo de filtração	48
4.2.2.1.	Caracterização física do efluente após a filtração	48
4.2.2.2.	Caracterização química do efluente após a filtração	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	56
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	56
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	58
	ANEXO	64

# 1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos está entre as atividades que mais consome os recursos naturais (FAO, 2017). O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial nesse segmento, sendo o quinto colocado no ranking mundial na produção de leite (IBGE, 2019). No sistema de produção leiteira em que os animais são mantidos confinados, tem-se o aumento da produtividade, maior controle do processo e melhoria da qualidade do produto final (BRASIL, 2018). Contudo, um aspecto negativo desse modelo de produção é o aumento considerável da geração de efluentes líquidos por unidade de área que, caso não seja disposto corretamente ou aproveitado, pode causar impactos negativos nas bacias hidrográficas.

Os resultados divulgados pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) mostram que, de 2010 a 2019, 38,3 milhões de metros cúbicos de efluentes do setor agropecuário foram tratados no país (BRASIL, 2019). Apesar dos avanços verificados na última década com a adoção das tecnologias recomendadas pelo Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), a gestão dos resíduos sólidos e líquidos gerados nas pequenas unidades produtoras de leite ainda é escassa no país. A maioria dos pequenos produtores destina os efluentes para tanques de alvenaria e a disposição final é, em geral, a simples aplicação como adubo de forragens.

A aplicação *in natura* desses dejetos animais oferece riscos sanitários de contaminação do solo e da água. Em contrapartida, a reutilização das águas residuárias na agricultura é um fator importante na gestão dos recursos hídricos, considerando que a atividade tolera o uso da água com qualidade inferior, impróprias para uso doméstico e algumas atividades industriais. Levantamentos realizados pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) apontam que a agricultura é a principal usuária dos recursos hídricos disponíveis, com uma média de 70% do consumo mundial (FAO, 2017). O uso agrícola dessas águas residuárias deve ser então planejado com implantação de tecnologias para tratamento dos efluentes, no sentido de controlar em longo prazo, os efeitos deletérios sobre o solo e as culturas.

Dentre as diversas possibilidades de tratamento da água residuária da bovinocultura (ARB), a separação da fração sólida-líquida com uso de coagulantes naturais e a filtração utilizando materiais orgânicos como meio filtrante, constituem potenciais alternativas acessíveis e eficientes, principalmente, aos pequenos produtores, que podem fazer uso de materiais disponíveis na própria propriedade e a aquisição de outros materiais de baixo custo para promover a melhoria na qualidade físico-química dos efluentes tratados.

O uso de coagulantes naturais, em substituição aos sais inorgânicos (sulfato de alumínio e cloreto férrico), comumente utilizados nas etapas de separação sólido-líquido, apresenta-se como uma opção mais segura e sustentável. Os sais de alumínio, apesar de serem muito eficazes no processo de coagulação/floculação, geram lodo não biodegradável que deve ser disposto em aterro específico pois, apresenta potencial poluidor ao ambiente e prejudicial à saúde humana. Por sua vez, o uso de coagulantes naturais e orgânicos, como o tanino, possibilita o aproveitamento agrícola da fração sólida devido ao seu caráter biodegradável.

Outra tecnologia de baixo custo é a filtração utilizando também materiais orgânicos como meios filtrantes. Essa opção pode ser adotada como tratamento primário ou como polimento, sendo, normalmente, inserida como etapa posterior a separação sólido-líquido. Essa técnica apresenta como objetivo principal a remoção de sólidos sedimentáveis. Para tornar essa técnica ainda mais eficiente na remoção de poluentes, acredita-se que a inserção de materiais com elevada capacidade de adsorção, como o carvão torna-se uma boa alternativa. De acordo com Huggins et al. (2016), os materiais adsorventes à base de carbono desempenham um papel

importante na remediação de águas contaminadas. Adicionalmente, os meios filtrantes após serem utilizados podem ser estabilizados por compostagem e serem utilizados como fertilizante orgânico na produção vegetal.

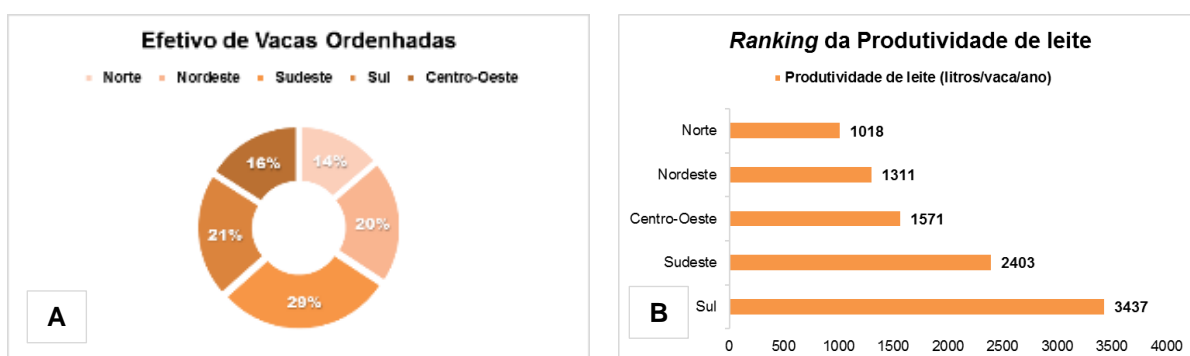
O presente estudo apresenta as seguintes hipóteses científicas: 1) A separação da fração sólido-líquida da ARB, utilizando extrato natural de tanino e, a filtração com filtros orgânicos constituídos de partículas de madeira e carvão vegetal promovem de forma eficiente o tratamento do efluente à nível primário e, diminui as concentrações de matéria orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio, DBO<sub>5</sub> e Demanda Química de Oxigênio, DQO) e metais pesados. O trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da tecnologia de baixo custo de separação da fração sólida-líquida, utilizando tanino como coagulante natural, e o processo de filtração, com uso de partículas de madeira e carvão vegetal, no tratamento da água residuária da bovinocultura de leite.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A bovinocultura de leite no Brasil

O Brasil é o quinto maior produtor de leite no *ranking* mundial, de acordo com dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Unites States Department of Agriculture – USDA). A pecuária leiteira é considerada um dos setores mais importantes do complexo agroindustrial brasileiro. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a produção brasileira de leite foi de 33,84 bilhões de litros no ano de 2018.

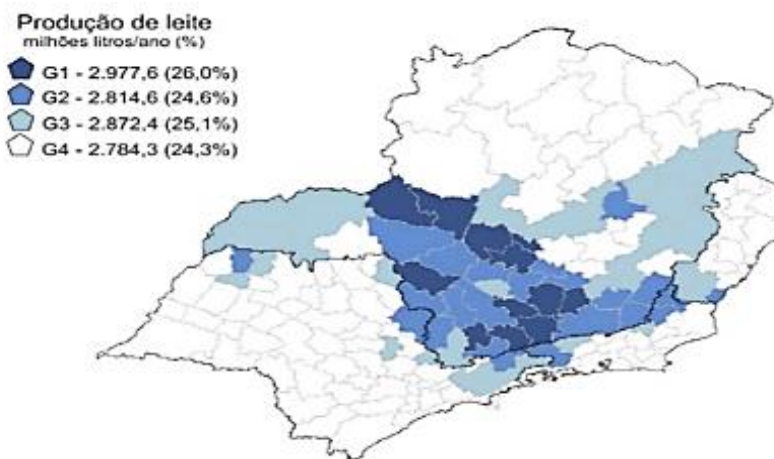
O efetivo de vacas ordenhadas estimado pelo IBGE, em 2018, foi de 16,4 milhões de animais. O Sudeste possui o maior efetivo de animais ordenhados (29,2%), seguido da região Sul (20,6%) e da região Nordeste (20,4%) (Figura 1A), com diferença percentual pequena embora com diferenças significativas em termos de produtividade. A região Sul apresenta rendimento mais elevado e rebanho de maior produtividade e o Sudeste manteve-se em segundo lugar no *ranking* (Figura 1B), onde o estado de Minas Gerais apresentou melhores produtividades. Em 2018, a produção leiteira no Sudeste foi de 11,45 bilhões de litros de leite. Minas Gerais produziu 77,8% desse total, enquanto São Paulo foi responsável por 14,8%; Rio de Janeiro, 4,1%; e Espírito Santo, 3,3% do volume total (ZOCCAL, 2019).



**Figura 1.** Efetivo de animais ordenhados no Brasil (A) e o ranking da Produtividade de leite no Brasil (B). Fonte: Adaptado de IBGE (2019).

Na Figura 2, está apresentado um mapa da região sudeste, no qual as microrregiões foram classificadas de acordo com a densidade de produção, ou seja, litros de leite por km<sup>2</sup>, com o objetivo de avaliar, de forma independente, as áreas de maior concentração de produção.

A bovinocultura leiteira está presente em praticamente todo estado fluminense, estando, porém, concentrada na região sul que é responsável por cerca de 70% da produção de leite do estado e em pequenas propriedades, menos de 100 hectares (EMATER RJ, 2017; IBGE, 2016). Dentre os municípios com maior produção de leite no estado estão Valença, Barra Mansa e Resende, como pode ser observado na Figura 2.



**Figura 2.** Distribuição das microrregiões de acordo com a produção de leite por área na região sudeste em 2017.

Os sistemas de criação predominantes no país são o extensivo com ou sem suplementação e os sistemas confinados. Nos sistemas de confinamento do gado leiteiro, a alimentação é exclusivamente fornecida em cochos e baseia-se na silagem de milho, feno de alfafa ou gramínea de alta qualidade e concentrado (BRASIL, 2018). Segundo Assis et al. (2005) nesse modelo de criação, os rebanhos são geralmente formados por animais puros de raças taurinas ou com alto grau de sangue holandês. Em linhas gerais, pode-se afirmar que o confinamento possibilita maiores ganhos de produtividade devido ao maior controle do processo e a maior eficácia no manejo dos animais.

Apesar dos ganhos econômicos e sociais que o crescimento do setor leiteiro proporciona, sabe-se que tal crescimento também está atrelado ao aumento dos passivos ambientais inerentes a criação dos bovinos. A agropecuária contribui com 14% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE), sendo o terceiro maior setor na emissão desses gases (BRASIL, 2018). Além dos impactos na atmosfera, o aumento considerável de geração de efluentes líquidos, por unidade de área, nos sistemas de confinamento causa impactos negativos nas bacias hidrográficas.

## 2.2. Características físico-químicas da ARB

Os materiais excretados pelos animais (fezes e urina), restos de rações, pelos e água (de consumo e lavagem das instalações) são os principais constituintes da ARB. Vários autores apresentam dados mostrando grande variabilidade na composição físico-química e microbiológica da ARB, mas em geral, esta apresenta elevados níveis de compostos orgânicos,

nutrientes como nitrogênio e fósforo, além da presença de metais pesados e patógenos (FRANCISCO et al. 2014, SILVA, 2012; ERTHAL et al., 2010).

De acordo com Brasil (2018), o volume e a concentração desses dejetos variam entre os sistemas de produção animal, composição da dieta, produtividade animal, idade do rebanho, ambiente e consumo de água. Os dados de produção média de água residuária para os sistemas de produção animal são escassos, Campos et al. (2002) estimam que o volume total de efluentes orgânicos produzido no setor varia de 9,0 a 12,0% do peso vivo do rebanho por dia.

Para proporcionar condições adequadas a qualidade das águas, a Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece padrões para o lançamento de efluentes em corpos hídricos (Brasil, 2011). A resolução visa que os efluentes tratados apresentem características que não ultrapassem a capacidade suporte do corpo receptor.

Com relação às características qualitativas da ARB, Erthal et al. (2010) ressaltam que são ricas em macro e micronutrientes e alertam para a concentração elevada de sais dissolvidos e a presença de íons tóxicos, organismos patogênicos. Além do conhecimento da composição química da ARB, é de suma importância que os outros fatores sejam considerados na tomada de decisão do modelo de tratamento a ser adotado, como a disponibilidade de área, o volume produzido, a vazão, entre outros.

A possibilidade de ser aproveitada na agricultura, como fonte de nutrientes para as plantas, é um aspecto benéfico quanto à composição desses efluentes. A utilização de águas residuárias, é uma prática adotada pelos agricultores como forma de reaproveitar os nutrientes, pois esta melhora a fertilidade do solo por meio da adição de nutrientes como fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio, aumento do pH e consequentemente a insolubilização de elemento alumínio, que é tóxico para as plantas (BRESSAN et al., 2012). De modo geral, Al-Nakshabandi et al. (1997), citado por Bressan et al. (2012), ao avaliarem os efeitos da utilização de água residuária na agricultura constataram que a prática trouxe benefícios a ciclagem de nutrientes, com a consequente redução de fertilizantes químicos, contribuindo para preservação do meio ambiente.

A Tabela 1 apresenta características físico-químicas obtidas de diferentes autores nacionais ao estudarem efluentes de bovinocultura leiteira. Pode-se observar a elevada variabilidade das principais características físico-químicas da ARB.

**Tabela 1.** Caracterização físico-químicas da água residuária da bovinocultura de leite (ARB).

Características físico-químicas	Valores Médios				
	Pires et al. (2018) <sup>1</sup>	Almeida (2016) <sup>1</sup>	Francisco et al. (2014) <sup>1</sup>	Silva (2012) <sup>1</sup>	Erthal et al. (2010) <sup>2</sup>
pH	7,06	6,79	7,20	6,48	7,84
ST (mg L <sup>-1</sup> )	1.622,50	-	2.884,0	24.179,0	7.429,0
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	-	1.973,80	3.137,0	26.877,0	16.539,0
N-total (mg L <sup>-1</sup> )	-	120,88	-	696,2	697,21
P (mg L <sup>-1</sup> )	-	75,92	-	81,15	131,80
Na (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	-	75,0	90,84

1 - ARB proveniente da bovinocultura de leite do SIPA (Sistema Integrado de Produção Agroecológica), Seropédica – RJ; 2 - ARB proveniente do setor de bovinocultura de leite do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa – MG.  
ST- sólidos totais; SST – sólidos suspensos totais; DQO – demanda química de oxigênio; N-total – nitrogênio total; P-total – fósforo total e Na – sódio.

### 2.3. Tecnologias utilizadas no tratamento de águas residuárias

O despertar da sociedade e das indústrias para os problemas ambientais tem crescido nas últimas décadas e estimulado a adoção de sistemas de tratamento. As tecnologias de tratamento devem diminuir a concentração de patógenos, e concentrar a carga orgânica e nutrientes na fração sólida, permitindo sua aplicação na agricultura como fertilizantes e, maximizando reuso dos efluentes tratados na cadeia produtiva (higienização de equipamentos e instalações).

De acordo com Kiedrzyńska et al. (2017), na última década houve uma maior intensidade de investigação científica sobre a eficácia dos sistemas de tratamento de águas residuárias na remoção de contaminantes. No entanto, os autores afirmam que devido a crescente pressão sobre os recursos hídricos, há uma necessidade cada vez maior de otimizar o potencial desses sistemas como método de tratamento desses efluentes, e isso exige uma maior compreensão dos mecanismos de tratamento. Portanto, para permitir essa melhoria na qualidade da água, está se tornando cada vez mais importante o desenvolvimento de uma prática de tratamento e aproveitamento de águas residuárias que possua baixo custo de implementação e que seja eficiente, exequível de ser implementada, sendo mais específica para atendimento das necessidades da bacia hidrográfica onde a atividade está inserida.

A escolha da tecnologia a ser adotada deve considerar a disponibilidade de área, o custo de implementação, o nível de tratamento (primário, secundário ou terciário), padrão ambiental exigido, dentre outras considerações técnicas. Atualmente é crescente a preocupação em relação ao grau de tratamento e ao destino final dos efluentes, a suas consequências sobre o meio ambiente, à qualidade das águas, e seus potenciais de reuso. A necessidade de adoção de tecnologias capazes de promover melhorias na qualidade dos efluentes, evitando impactos negativos a qualidade dos corpos hídricos é incontestável. Jordão e Pessoa (2009) relacionaram os principais inconvenientes nos corpos hídricos causados pelos diversos constituintes do esgoto, no lançamento indiscriminado, apresentados no Quadro 1. Não raro, observa-se que, para alguns parâmetros físico-químicos, a ARB pode apresentar concentrações até cem vezes maiores que as dos esgotos domésticos (JORDÃO e PESSOA, 2009; ERTHAL et al, 2010).

**Quadro 1.** Inconvenientes nos corpos d'água, causados pelo lançamento de esgotos não tratados.

PARÂMETRO	PROBLEMAS OBSERVADOS
Matérias orgânicas solúveis	<ul style="list-style-type: none"><li>• Causam a depleção do oxigênio contido nos rios;</li><li>• Produção de gostos e odores às fontes de abastecimento de água.</li></ul>
Matérias tóxicas e íons de metais pesados	<ul style="list-style-type: none"><li>• Toxidez e transferência através da cadeia alimentar.</li></ul>
Cor e turbidez	<ul style="list-style-type: none"><li>• Indesejáveis do ponto de vista estético;</li><li>• Exigem maiores trabalhos às ETA's.</li></ul>
Nutrientes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumentam processos de eutrofização;</li><li>• Inaceitáveis nas áreas de lazer e recreação.</li></ul>
Óleo e materiais flutuantes	<ul style="list-style-type: none"><li>• Indesejáveis esteticamente;</li><li>• Interferem na decomposição biológica.</li></ul>
Sulfetos e sulfitos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Produzem odores na atmosfera.</li></ul>
Ácidos e álcalis	<ul style="list-style-type: none"><li>• Neutralização exigida na maioria das regulamentações;</li><li>• Interferem na decomposição biológica e na vida aquática.</li></ul>

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2009).

As diversas tecnologias disponíveis para tratamento de efluentes são fundamentadas em processos de tratamento. Os processos, por sua vez, são formados por uma série de operações unitárias como a sedimentação, a flotação, coagulação química, oxidação biológica, entre outros, adotadas para a remoção de substâncias não desejáveis ou transformação em outras formas aceitáveis (JORDÃO E PESSOA, 2009; VON SPERLING, 2014). O tratamento de efluentes pode ser classificado em níveis (preliminar, primário, secundário e terciário) que utilizam processos físicos, químicos e/ou biológicos de remoção de impurezas. Dentre as tecnologias convencionais utilizadas no tratamento de efluentes estão as lagoas de estabilização, filtros biológicos, lodos ativados e reatores anaeróbios.

Conforme descrito por Kunz et al. (2010), a primeira etapa usualmente empregada consiste na separação de sólidos, por processos físicos. O nível primário de tratamento objetiva a remoção de sólidos sedimentáveis e flutuantes. Uma parte significativa destes sólidos em suspensão é compreendida pela matéria orgânica em suspensão. Logo, com a implementação de uma etapa de tratamento primária, tem-se em decorrência, uma redução da carga da demanda bioquímica de oxigênio dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção representa maiores custos ao processo (VON SPERLING, 2014).

Diante do déficit de tratamento dos efluentes observado no setor pecuário, aliado ao quadro epidemiológico e ao perfil socioeconômico dos pequenos bovinocultores brasileiros, a opção por sistemas de tratamento simplificados que garantam de forma associada a proteção ambiental e saúde da população assume grande importância. As soluções alternativas, baseadas em sistemas simplificados, apresentam vantagens sobre os sistemas convencionais por conjugar baixos custos de implantação e operação, simplicidade operacional, índices mínimos de mecanização e uma maior sustentabilidade do sistema.

### 2.3.1. Separação sólido-líquido

As tecnologias a nível primário de tratamento físico-químico têm por objetivo principal a eliminação de sólidos suspensos. De acordo com Von Sperling (2014), a remoção de sólidos em suspensão nos processos de separação sólido-líquido pode ser otimizada com o uso de agentes coagulantes. O processo de separação de fases, quando se utiliza agentes clarificantes, pode ser dividido em três etapas: coagulação, floculação e sedimentação. Em linhas gerais, a coagulação é um fenômeno químico, que envolve a redução da carga elétrica entre as partículas suspensas, com a adição de agentes coagulantes, promovendo a desestabilização química e a colisão entre as partículas coloidais e o coagulante. A etapa denominada floculação é um fenômeno físico, no qual ocorrem colisões entre as partículas geradas na coagulação, formando partículas maiores ou flocos, favorecendo a sedimentação. A sedimentação é a etapa onde ocorre a separação das partículas, sólidas em suspensão, de densidade específica maior do que a da água ( $1 \text{ g cm}^{-3}$ ), por ação da gravidade.

Segundo Katrivesis et al. (2019), na maioria dos casos, as partículas nas águas naturais têm uma forte carga negativa em suas superfícies, o que as força a permanecer distantes uma das outras, formando soluções estáveis com meios de partículas em suspensão. Os coagulantes desestabilizam as partículas coloidais, permitindo a criação de micro flocos. Polaseki et al. (2005) salientam que a dosagem do coagulante é um fator muito importante que influencia a qualidade geral do processo. Além da dosagem, Di Bernardo et al. (2005) explicam que a escolha do coagulante é um fator importante para que haja um funcionamento adequado do processo de coagulação. Os autores esclarecem ainda que a escolha dependerá principalmente

das características da água ou efluente a ser tratada, da tecnologia do tratamento e do custo do coagulante.

Os produtos químicos tipicamente utilizados como coagulantes são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico (KAWAMURA, 2000; JORDÃO e PESSOA, 2009). Apesar de serem muito eficazes, o uso desses sais gera como resíduo um lodo não biodegradável que, de acordo a legislação vigente, deve ser disposto em aterro específico e licenciado. Katrivesis et al. (2019) citam outros entraves de ordem técnica observados com utilização de sais contendo alumínio, dentre os quais podem se destacar o volume abundante de lodo produzido, de difícil tratamento e desidratação, a formação de flocos pouco resistentes as distorções mecânicas externas e eficiência fortemente relacionada ao pH. O aproveitamento agrícola desse subproduto é impossibilitado devido aos prejuízos causados às plantas (toxidez) e ao solo (estrutural). Além dos fatores técnicos, o alumínio tem caráter acumulativo e, dependendo da dosagem, pode oferecer riscos à saúde humana como doenças de coordenação motora, distúrbios neurológicos e mal de Parkinson (KATRIVESIS et al., 2019; SKORONSKI et al., 2014; THAKUR e CHOUBEY, 2014; FIORENTINI, 2005).

Apesar dos sais inorgânicos serem amplamente empregados, a utilização de materiais vegetais como agentes de tratamento de água ocorre há séculos, particularmente os extratos naturais de plantas como *Moringa oleífera*, *Jatropha curcas*, *Cyamopsis tetragonoloba*, *Strychnos potatorum*, *Hibiscus sabdariffa* e *Clidemia angustifolia* (Geay et al., 2000 e Tarón-Dunoyer, 2017). Vários autores comprovaram a eficácia de diferentes materiais vegetais no uso como coagulantes naturais, como *Moringa oleífera* (LO MONACO et al., 2013; HUSSAIN et al., 2012; OKUDA et al., 1999) e *Strychnos potatorum* (GAIKWAD e MUNAVALLI, 2019). Apesar da aplicação dessas substâncias de origem vegetal para tal finalidade ser considerada antiga, é relativamente recente o interesse em pesquisas e desenvolvimento de coagulantes orgânicos e biodegradáveis de origem vegetal, para aplicação em grande escala. Coagulantes naturais, à base de tanino têm sido utilizados em processos de clarificação de águas (BARRADAS, 2004; COUTO JUNIOR et al., 2012).

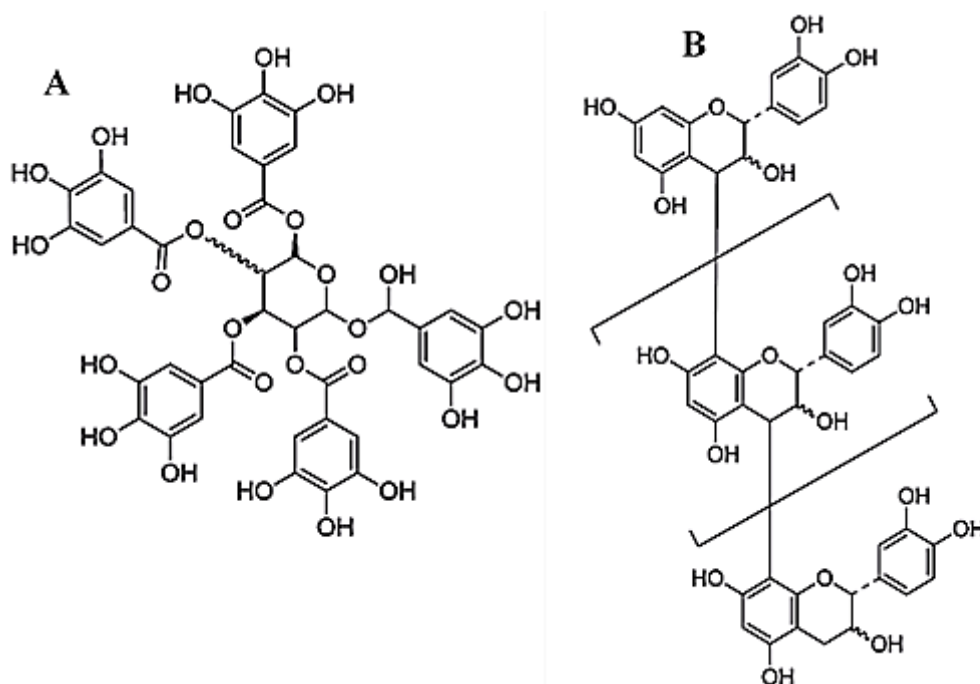
A definição química mais antiga para taninos pode ser resumida como sendo “substâncias orgânicas de extrato vegetal capazes de precipitar proteínas” (Cruz, 2004). São compostos aromáticos policíclicos com hidroxilas livres, de alto peso molecular e de diferentes graus de condensação ou polimerização (JUSTINA, 2017). São largamente encontrados no reino vegetal, desempenham mecanismos de defesa nas plantas e podem estar presentes em várias partes como nas raízes, folhas, cascas e sementes. Sousa (2015) descreve a importância econômica dos taninos que são amplamente utilizados em diversos setores da indústria, como: alimentícia, farmacêutica, curtimento de couro, produção de borracha, tratamento de água, entre outros.

Quanto à estrutura química, podem ser classificados em dois grupos: hidrolisáveis e condensados. Segundo Cruz (2004), ambos são substâncias com estrutura polimérica. O autor explica ainda que os taninos hidrolisáveis são resultantes da esterificação de ácidos fenólicos, em geral ácidos gálicos, com polióis como açúcares. São susceptíveis a hidrólise ácida ou alcalina dando origem a outras moléculas e por essa razão são denominados “hidrolisáveis”. A Figura 3A mostra a estrutura de uma molécula de tanino hidrolisável.

Os taninos condensados são polímeros de unidades de flavonóides, unidas por ligações carbono-carbono, resistentes à quebra por hidrólises, conforme ilustrado na Figura 3B. De acordo com Monteiro et al. (2005), são polímeros de flavan-3-ol e/ou flavan-3,4-diol, produtos do metabolismo do fenilpropanol. De acordo com Sousa (2015), os taninos condensados e seus precursores, os flavonóides, são conhecidos por possuírem uma larga distribuição na natureza



e, particularmente, pela expressiva concentração encontrada tanto na madeira quanto na casca de várias espécies, como *Eucalyptus sideroxylon*, *Rhizophora candelaria*, *Acacia mearnsii*. Os elevados níveis nas cascas das plantas estão relacionados à proteção térmica e às suas propriedades antimicrobianas, atuando como forma de defesa das mesmas (JUSTINA, 2017).



**Figura 3.** Estrutura hipotética dos taninos. Tanino hidrolisável (A) e Tanino condensado (B).  
Fonte: Adaptados de Dias (2014).

Por serem biodegradáveis, esses polímeros contribuem para a diminuição de riscos ambientais e, apresentam-se mais vantajosos quando comparados aos coagulantes inorgânicos, por não gerarem resíduos com concentrações elevadas de íons Al e Cl (KUNZ et al., 2010). Além das vantagens citadas, Couto Júnior et al. (2012) ressaltam ainda que o uso de biopolímeros em relação aos reagentes químicos é vantajoso por não consumir a alcalinidade da água durante o processo de tratamento e pela possibilidade de ser obtido de plantas locais, com fácil processamento e potencial redução de custos operacionais.

De acordo com Justina (2017), os taninos vegetais não apresentam naturalmente características catiônicas necessárias para uso como coagulante. De acordo com o autor, faz-se necessário submeter o tanino a um processo denominado cationização, para que a estrutura obtenha tal característica. Neste processo, também denominado de reação de *Mannich*, um nitrogênio quaternário é adicionado à estrutura polifenólica do tanino pela sua reação com um aldeído e uma amina, produzindo um composto de peso molecular maior que o inicial (JUSTINA, 2017). De acordo com Anjos (2016), o tanino cationizado preserva as principais características do extrato vegetal, tais como solubilidade, estabilidade a diferentes níveis de pH ou atividade quelante de metais tóxicos. As características adquiridas pelo tanino neste processo estão relacionadas com a atividade de coagulação, pois os produtos com carga positiva podem

desestabilizar os colóides aniônicos quando misturados em solução aquosa (SOUZA et al., 2017).

O uso de taninos, como coagulante natural, tem proporcionado resultados satisfatórios em etapas de coagulação e floculação (BARRADAS, 2004; COUTO JUNIOR et al., 2012). Nesse sentido, diversos autores obtiveram resultados de pesquisas que comprovam a eficiência de coagulantes naturais à base de taninos, na remoção de poluentes em diferentes tipos de água (BARRADAS, 2004; CRUZ, 2004; STEINMETZ, 2007; KUNZ et al., 2010; PELEGRINO, 2011; COUTO JUNIOR et al., 2012; THAKUR et al., 2014; SOUSA, 2015; LUCYK et al., 2015; JUSTINA, 2017). Além da utilização de polímeros naturais, outras formas viáveis e seguras de tratamento primário de águas residuárias em pequenas comunidades têm sido estudadas, como a filtração utilizando materiais orgânicos.

### 2.3.2. Filtração

A filtração é um processo físico de tratamento que tem por objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis. A ação mecânica baseia-se no princípio de que um meio poroso pode reter impurezas com dimensões menores que as dos poros da camada filtrante (POVINELLI e MARTINS, 1973). Oliveira (2018) salienta que aspectos como simplicidade operacional, rapidez do processo de tratamento e o baixo custo de implementação tornam a filtração uma opção atrativa, especialmente para os pequenos produtores rurais. Essa tecnologia, no entanto, não atende em geral aos requisitos ambientais previstos na legislação brasileira (Brasil, 2011) para lançamento dos efluentes tratados em corpos hídricos, devendo então ser empregada em conjunto com outras etapas de tratamento ou como alternativa para viabilizar o reuso da água em atividades que tolerem águas com qualidade inferior.

A agricultura é uma das atividades onde o aproveitamento dos efluentes pecuários pode ser aplicado. E, sobretudo, salienta-se que a reutilização de águas residuárias nesse setor tem um papel importante no planejamento e na gestão dos recursos hídricos. Brandão (2003) enfatiza, no entanto, que o aproveitamento agrícola desses efluentes é limitado pela quantidade de sólidos suspensos e dissolvidos que causam entupimentos em bombas, tubulações e equipamentos de irrigação, principalmente, em emissores. Nesse contexto, a filtração tem sido considerada por vários autores como uma alternativa para remoção de material suspenso e dissolvido, possibilitando seu aproveitamento na agricultura.

De acordo com Oliveira (2018), o meio filtrante utilizado nos processos de filtração pode ser um material inorgânico, orgânico, ou uma combinação de ambos. Segundo Brandão et al. (2003), a utilização de filtros preenchidos com materiais convencionais, como a areia, não é recomendada para tratamento de efluentes pecuários devido à alta concentração de sólidos que provoca rápida colmatação superficial e impedimento ao fluxo. A possibilidade de produção de fertilizante orgânico através de um processo de estabilização, como a compostagem, do material após ultrapassada a capacidade filtrante, é um aspecto que torna o uso de materiais orgânicos, ainda mais vantajoso (MATOS, 2008; LO MONACO 2011). Vários autores indicam que a utilização de materiais orgânicos tem sido considerada uma alternativa eficiente e viável em diversas atividades agropecuárias (BRANDÃO et al., 2003; MAGALHÃES et al., 2006; LO MONACO et al., 2011; FRANCISCO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2017; OLIVEIRA, 2018).

Os materiais orgânicos com capacidade de absorção e adsorção de solutos, apresentam-se como mais vantajosos para os pequenos produtores que os convencionais devido a maior

disponibilidade, baixo custo de obtenção e disposição fácil e segura no ambiente, quando for preciso substituir o meio filtrante. Evangelista et al. (2019) afirmam que para garantir a eficácia do processo de filtração, os materiais escolhidos devem apresentar características como estabilidade interna, porosidade aberta, permeabilidade hidráulica adequada, componentes não cimentantes, isto é, não solúveis em água, assentamento adequado de grãos, entre outros.

A granulometria é considerada por vários autores como um fator de suma importância no desempenho de sistemas de filtração. Lo Monaco et al. (2011a), ao avaliarem o desempenho de filtros orgânicos no tratamento de efluentes de suinocultura, verificaram que a remoção de micronutrientes e metais pesados, em geral, foi maior nos filtros constituídos de materiais filtrantes de menor granulometria. Wu et al. (2017) avaliaram a eficiência de biofiltros na remoção de partículas e nutrientes de águas pluviais urbanas e destacaram que a seleção de meios relativamente finos, como o solo, comparada à filtração rápida da areia comum em sistemas de água potável, fornece excelente remoção de partículas. Segundo os autores, partículas maiores sem partículas devem ser tensionadas na superfície da mídia, enquanto partículas menores foram capturadas pela mídia por meio de sedimentação, interceptação e mecanismo de transporte de difusão.

Kiedrzyńska et al. (2017) avaliaram a eficiência de um modelo que denominaram como sistema híbrido de biofiltração sequencial para remoção de sólidos em suspensão, nutrientes e compostos bifenilos policlorados de efluentes tratados em estações convencionais. O modelo proposto pelos autores foi construído com duas barreiras, uma geoquímica (leitões de filtração com calcário, carvão e serragem) e uma barreira biológica (zonas úmidas com macrófitas), operando em paralelo. Segundo os autores, a escolha de utilizar o carvão na área de desnitrificação no sistema resultou na remoção de todos os compostos de nitrogênio avaliados, apesar das temperaturas flutuantes, pH acima do ideal e condições quase anaeróbias.

Apesar da investigação científica acerca do uso de filtros orgânicos ter sido intensificada nos últimos anos, verifica-se que poucos sistemas em escala real foram estudados. Nesse sentido, Cruz et al. (2013) e Cruz et al. (2019) avaliaram a eficiência do uso de cascas de coco como material filtrantes em filtros anaeróbios para tratamento de efluentes domésticos. De acordo com os autores, a qualidade do efluente gerado por essa combinação está em conformidade com a legislação brasileira e europeia, possibilitando sua reutilização nas atividades agrícolas. Os estudos mostraram a viabilidade do uso de cascas de coco em filtros anaeróbios, provando que podem substituir materiais como brita, diminuindo os custos de instalação do sistema e proporcionando um destino novo e mais sustentável para esse material, que normalmente é tratado como resíduo sólido.

Assim como as cascas de coco, vários materiais que são considerados como resíduos sólidos possuem propriedades que permitem seu aproveitamento em sistemas de filtração, como as partículas de madeira. De acordo com Brito (1995), o setor madeireiro produz e utiliza partículas, de diferentes granulometrias, para a fabricação de chapas e painéis e, conseqüentemente, existe geração de grandes volumes de resíduo durante o processo. Nas serrarias e nas marcenarias, após o processamento mecânico da madeira, é comum o descarte de grandes volumes de materiais como a serragem, o pó-de-serra, as maravalhas, as cascas, os pequenos fragmentos, as costaneiras, as lascas e partículas de granulometrias variadas (SANTIAGO e ANDRADE, 2005). A composição desses materiais ricos em celulose, característica que confere alta estabilidade à ação biológica (CRUZ et al., 2013), e a facilidade de obtenção na granulometria ideal, são características que mostram o potencial vantajoso na utilização desse material como meio filtrante.

Visando minimizar a influência dos extrativos da madeira na coloração do efluente após o tratamento de filtração, optou-se por utilizar a madeira da espécie *Corymbia citriodora*, que, de acordo com Neves (2008) e Garcia et al. (2014) apresenta alborno e cerne com coloração clara, pouco pigmento vermelho, variando entre branco-palha a pardo-claro-acinzentado.

Materiais adsorventes à base de carbono, como o carvão vegetal, possuem propriedades que podem ser efetivas na remoção de contaminantes (HUGGINS et al., 2016). Tais características são variáveis, pois sofrem a influência direta da matéria prima que lhe deu origem e do processo de carbonização, aspectos de difícil controle (DIAS JÚNIOR et al., 2015). O processo de produção tem grande influência nas características químicas e físicas do carvão produzido, especialmente no que tange a porosidade (macro e microporos).

A qualidade do carvão vegetal é determinada de acordo com suas características físicas e químicas como a porosidade, densidade, resistência mecânica ou friabilidade, composição química (carbono fixo, cinzas e materiais voláteis), dentre outros (OLIVEIRA et al., 2010). De acordo com Dias Júnior et al. (2015), a fração denominada material volátil é liberada durante o aquecimento do carvão vegetal, sendo constituída por moléculas de CO, CO<sub>2</sub> e hidrocarbonetos. Oliveira et al. (2010) enfatizam que apesar do teor de materiais voláteis ser influenciado pela temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira, a temperatura se sobressai sendo o principal parâmetro que regula os teores de materiais voláteis e carbono fixo do carvão. A cinza é o resíduo de óxidos minerais obtidos pela combustão completa do carvão (DIAS JÚNIOR et al., 2015). Melhores propriedades químicas do carvão estão em geral, associadas a maiores teores de carbono fixo (OLIVEIRA et al., 2010).

Estudos utilizando técnicas de microscopia de varredura eletrônica (MEV) realizados por Siebeneichler (2011) e Linhares et al. (2016), com intuito de investigar a morfologia física das superfícies dos carvões obtidos, a partir de diferentes fontes de matéria prima, mostraram que, de forma geral, a temperatura máxima adotada no processo de pirólise influencia a morfologia do produto final.

Wang e Ren (2015) citado por Huggins et al. (2016), salientam a importância da análise da composição elementar de materiais como carvão no tratamento de efluentes, de maneira a permitir a seleção de materiais que não apresentem riscos de lixiviação de metais. De acordo com Huggins et al. (2016), a composição mineral dos carvões pode desempenhar papel importante na adsorção de diversos contaminantes através de processos como co-precipitação e complexação.

No Quadro 2 são apresentadas informações extraídas de referências bibliográficas nacionais, referentes ao desempenho dos mesmos no tratamento de águas residuárias de diversas atividades agropecuárias, constituídos com diversos materiais orgânicos. Os dados mostram certa variabilidade das concentrações físico-químicas dos efluentes, que de maneira geral, podem ter sido influenciadas pela granulometria e características químicas dos diferentes materiais orgânicos filtrantes. Apesar da eficácia na adsorção de contaminantes ser comprovada em diversos trabalhos na literatura (Bueno e Carvalho, 2007; Zanin et al., 2009, Coelho et al., 2012; Wang e Ren, 2015; Huggins et al., 2016), a utilização do carvão vegetal em filtros orgânicos não se destacou entre os materiais avaliados por Brandão et al. (2003) e Francisco et al. (2014).

**Quadro 2.** Desempenho dos filtros orgânicos no tratamento de águas residuárias.

<b>Autores</b>	<b>Água Residuária</b>	<b>Meio filtrante</b>	<b>Observações</b>
1	Suinocultura	BC, CA, CC, CV, SG, SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A serragem de madeira e o bagaço de cana-de-açúcar foram os mais eficazes, devido a maior capacidade de reter elementos químicos;</li> <li>• Todos os materiais utilizados foram eficientes na remoção de Cu, com remoção de até 43,6%.</li> </ul>
2	Suinocultura	BC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O intervalo ótimo de volume de ARS filtrada foi entre 30 e 40L, onde obteve-se eficiências acima de 40% na remoção de ST e SVT e acima de 99% para metais pesados e micronutrientes.</li> </ul>
3	Bovino-cultura de leite	CV, FB, FE, RG, SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remoção média de 40% de ST, 46% de SST e 33% de DQO;</li> <li>• Os materiais orgânicos utilizados como meio filtrante não variaram estatisticamente entre si para os parâmetros analisados (ST, SST, DQO).</li> </ul>
4	Suinocultura	FC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Decréscimo no valor de pH nos 100 primeiros litros de ARS filtrados;</li> <li>• Eficiente na remoção de sólidos com resultados entre 40 - 60% para ST e SVT, 50% para SFT e 70% para SST;</li> <li>• Remoção média de 28% de nitrogênio e 58% do fósforo da ARS;</li> </ul>
5	Suinocultura	SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maiores eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub> e DQO (40 e 80%) e ST (70%) foram obtidas para as granulometrias maiores (2,0 – 2,83mm);</li> <li>• A menor granulometria foi mais eficiente na remoção de N-total, com valores em torno de 50%.</li> </ul>
6	Suinocultura	SG, BC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maiores eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub> e metais pesados (Cu e Zn) foram, em geral, obtidas nos filtros com maiores granulometrias;</li> <li>• A granulometria dos materiais analisados não influenciou significativamente na remoção de DQO, ST, N-total e P-total.</li> </ul>
7	Suinocultura	BC, SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A serragem de madeira foi mais eficaz que o bagaço de cana-de-açúcar na remoção de SS, alcançando valores de 99%;</li> <li>• A eficiência de filtração aumentou com o passar do tempo, ocasionada pela obstrução gradativa dos poros e pela retenção de sólidos da ARS nas colunas filtrantes.</li> </ul>
8	Esgoto Sanitário	SM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O sistema de tratamento de coagulação seguido de filtração proporcionou elevadas taxas de remoção de atributos físicos, químicos e bioquímicos, como: turbidez (73,6%), ST (71,3%), SFT (76,8%), SVT (68,7%), SST (50,2%), SSF (96,7%), DBO<sub>5</sub> (35,6%); DQO (84,7%) e P-total (64,8%).</li> </ul>
9	Suinocultura	BC, SM, PC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os materiais proporcionaram elevadas taxas de remoção de óleos e graxas, bagaço de cana-de-açúcar (97,2%), serragem de madeira (88,9%) e pergaminho de grãos de café (82,3%). Contudo, os valores obtidos não atendem a Resolução CONAMA nº 430/2011.</li> </ul>
10	Lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro	SM, BC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A serragem de madeira foi mais eficiente na remoção de DBO e DQO, enquanto o bagaço de cana-de-açúcar;</li> <li>• Os materiais proporcionaram elevadas taxas de remoção de ST, SS, N-total e P-total.</li> </ul>

Brandão et al. (2003); 2- Oliveira et al. (2017); 3- Francisco et al. (2014); 4- Lo Monaco et al. (2009); 5- Lo Monaco et al. (2004); 6- Lo Monaco et al. (2011a); 7 - Magalhães et al. (2006); 8- Lo Monaco (2014); 9- Magalhães et al. (2013); 10 - Lo Monaco et al. (2011b). SG – Sabugo de milho; BC – bagaço de cana-de-açúcar; CA – casca de arroz; CV – carvão vegetal; SM – serragem de madeira; FB – folha de bambu; RG – ramos de glicíndia; FE – folhas de eucalipto; FC – fibra de coco e PC – Pergaminho de grãos de café.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Experimento I: Separação sólido-líquido utilizando coagulante natural

##### 3.1.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido na área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA – “Fazendinha Agroecológica do km 47”). Possui uma área total de, aproximadamente, 60 hectares destinada à experimentação agrícola sob manejo agroecológico e está situado na região da baixada fluminense, no município de Seropédica – RJ, entre os meridianos 43°40'00'' e 43°41'10'' oeste e os paralelos de 22°44'30'' e 22°45'30'' sul. (EMBRAPA, 1999)

De acordo com Carvalho et al. (2006), o clima da região é classificado como Aw segundo Köppen, com temperaturas elevadas e chuvas no verão e um inverno seco com temperaturas amenas, com precipitação anual média de 1.213 mm e temperatura média anual de 24,5 °C.

##### 3.1.2. Coleta da ARB

A água residuária da bovinocultura de leite foi coletada na esterqueira do SIPA, que recebe o efluente produzido por dez matrizes manejadas em sistema orgânico de produção de leite e com o uso da homeopatia. A limpeza das instalações é realizada por meio de jateamento de água e os efluentes são conduzidos para a esterqueira. A esterqueira possui formato piramidal. O efluente foi coletado imediatamente antes de cada ensaio.

##### 3.1.3. Descrição do procedimento experimental

O coagulante utilizado foi o polímero orgânico polifenólico, derivado da casca da acácia negra (*Acacia Mearnsii*), gentilmente cedido pela BWE (Veta Organic®, BWE, Brasil). Para o experimento, foram utilizadas oito bombonas plásticas (40 L), previamente higienizadas, para acondicionar a água residuária bruta.

Para a otimização da dosagem de coagulante (Veta Organic®, BWE, Brasil) foram realizados ensaios de coagulação/floculação em *Jar-test*. A partir dos resultados observados em escala laboratorial, propôs-se as doses e tempos das fases do processo de separação sólido-líquido. Os tratamentos avaliados foram: T1) aplicação de 4,0 mL L<sup>-1</sup> de tanino e; T2) 9,0 mL L<sup>-1</sup> de tanino. Foi inserido o coagulante e em seguida, foi feita uma agitação manual suficiente para propiciar uma mistura rápida durante cinco minutos. Na fase de sedimentação, o tempo de espera foi de 30 minutos, de modo a permitir a sedimentação dos flocos e a clarificação do efluente. A Figura 4 mostra o desenvolvimento dos processos do experimento.



**Figura 4.** Etapas do processo de separação sólido-líquido. Efluente bruto (A), etapa de agitação (B) e separação das fases (C).

As amostras das frações líquidas foram coletadas em cada unidade experimental e enviadas para o Laboratório de Matéria Orgânica do Solo do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia (UFRRJ) e para o Laboratório de Monitoramento Ambiental I do Departamento de Engenharia do Instituto de Tecnologia (UFRRJ) para análise. Utilizou-se frascos de 50 mL de polipropileno, previamente descontaminados com HCl 10% (v/v) e água destilada, na coleta das amostras para as determinações dos parâmetros que serão descritos posteriormente.

### 3.1.4. Análises laboratoriais da fração líquida da ARB

Após o uso do coagulante natural tanino, a fração líquida da ARB foi coletada e analisada. O pH foi medido por meio de um peagâmetro de bancada, marca Sensoglass SP1800. A condutividade elétrica medida utilizando um condutivímetro de bancada. A demanda química de oxigênio (DQO) foi analisada seguindo-se o método do refluxo calorimétrico (APHA, 2012) seguido da determinação por meio de um espectrofotômetro, marca HACH, no comprimento de onda de 420 nm. As amostras para as análises fósforo dissolvido e cor verdadeira foram preparadas por meio dos processos de centrifugação e filtração. No processo de centrifugação utilizou-se uma centrífuga de bancada, com rotação de 3500 rpm durante 10 minutos e posteriormente, a parte sobrenadante das amostras foram filtradas com auxílio de papel filtro. O fósforo dissolvido foi medido de acordo com método do ácido ascórbico (APHA, 2012), utilizando-se o espectrofotômetro HACH, nos comprimentos de onda 880nm. A cor verdadeira foi determinada utilizando-se o espectrofotômetro HACH, no comprimento de onda 455nm.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios obtidos na determinação dos parâmetros físico-químicos da água residuária da bovinocultura de leite. Os resultados apresentados evidenciam a necessidade de promover o tratamento do efluente antes de ser destinado a corpos hídricos, visando a redução da carga orgânica e de nutrientes, como o fósforo.

**Tabela 2.** Características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite (ARB) oriunda do SIPA, coletada em outubro de 2019.

Parâmetro	Unidade	Valores médios <sup>1</sup>
Potencial hidrogeniônico	-	6,38
Condutividade elétrica	mS m <sup>-1</sup>	1,45
Demanda química de oxigênio	mg L <sup>-1</sup>	5.678,57
Fósforo dissolvido	mg L <sup>-1</sup>	26,50
Cor verdadeira	mg Pt Co L <sup>-1</sup>	182,75

1 – Análises realizadas em triplicata.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tratamentos e quatro repetições. As médias dos parâmetros avaliados foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5 % de significância. A análise estatística dos resultados foi realizada com apoio do software livre SISVAR (FERREIRA, 2014).

## 3.2. Experimento II: Filtração utilizando partículas de madeira e carvão vegetal

### 3.2.1. Área de estudo

A ARB foi coletada no Campo Experimental Santa Mônica – CESM, da Embrapa Gado de Leite. Possui uma área total de 1.678 hectares destinada às pesquisas em melhoramento

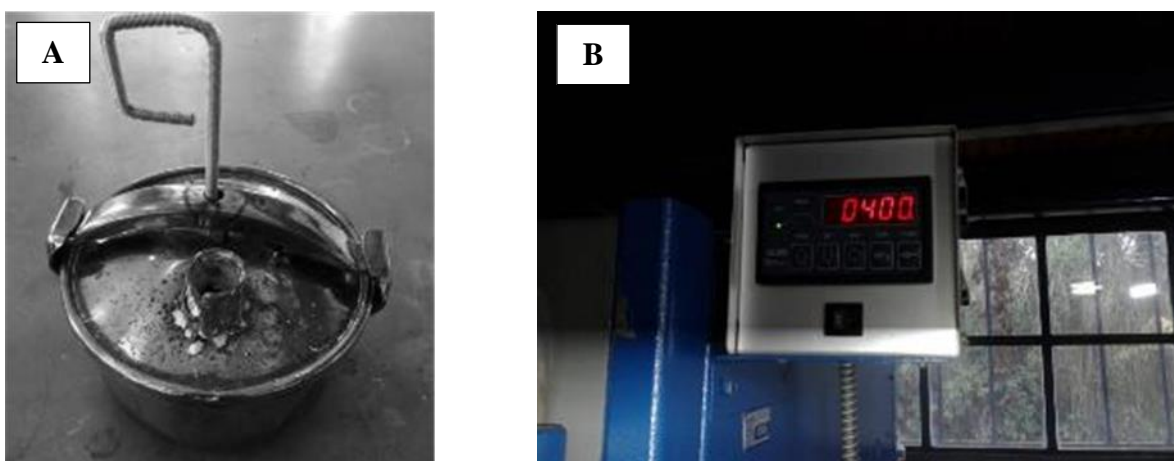
genético animal, reprodução e sanidade animal, qualidade do leite, melhoramento de forrageiras, manejo de solo e de pastagem. Também são relevantes as diversas ações de transferência de tecnologia realizadas juntamente com entidades de ensino e pesquisa da região. Está localizada na região sul fluminense, no distrito de Barão de Juparanã no município de Valença-RJ.

### 3.2.2. Preparo e caracterização dos materiais

#### 3.2.2.1. Carvão vegetal

O carvão vegetal foi produzido entre os meses de agosto de 2018 e janeiro de 2019 no Laboratório de Energia da Madeira do Departamento de Produtos Florestais, no Instituto de Florestas (UFRRJ), por meio de pirólise da madeira de Eucalipto (*Eucalyptus spp*).

Optou-se por utilizar madeira com idade aproximada entre 10 e 15 anos, aproximando das condições verificadas nas produções comerciais. As pirólises foram conduzidas até a temperatura máxima de 400°C, com duração total do processo de 3 horas e taxa de aquecimento de 2,2 °C min<sup>-1</sup>, utilizando-se amostras de, aproximadamente, 1700 g de eucalipto (*Eucalyptus spp.*), secas em estufa à temperatura de 105 ± 3 °C, durante 24 horas. As amostras foram acondicionadas em um recipiente de aço inox, adaptada para liberar os gases e vapores produzidos durante o processo de pirólise. O recipiente de inox foi colocado no interior de uma mufla elétrica para efetivação da pirólise. As Figuras 5A e 5B mostram o recipiente de inox utilizado no processo e a mufla elétrica programada para a temperatura máxima de 400 °C, respectivamente.



**Figura 5.** Recipiente de inox utilizado para a pirólise do material vegetal (A) e Mufla elétrica programada para alcançar a temperatura de 400°C.

Após atingir temperatura ambiente o carvão foi pesado, prensado e peneirado. No presente estudo utilizou-se o carvão com granulometria entre 1,0 e 2,0 mm. No Laboratório de Energia da Madeira foram realizadas análises de rendimento (%) e a composição química imediata (teores de materiais voláteis, de cinzas e de carbono fixo), que foi determinada de acordo com a Norma da ABNT NBR 8112 (ABNT, 1983).

Os valores médios do rendimento e dos teores de materiais voláteis, fixos e carbono fixo dos carvões produzidos estão apresentados na Tabela 3.



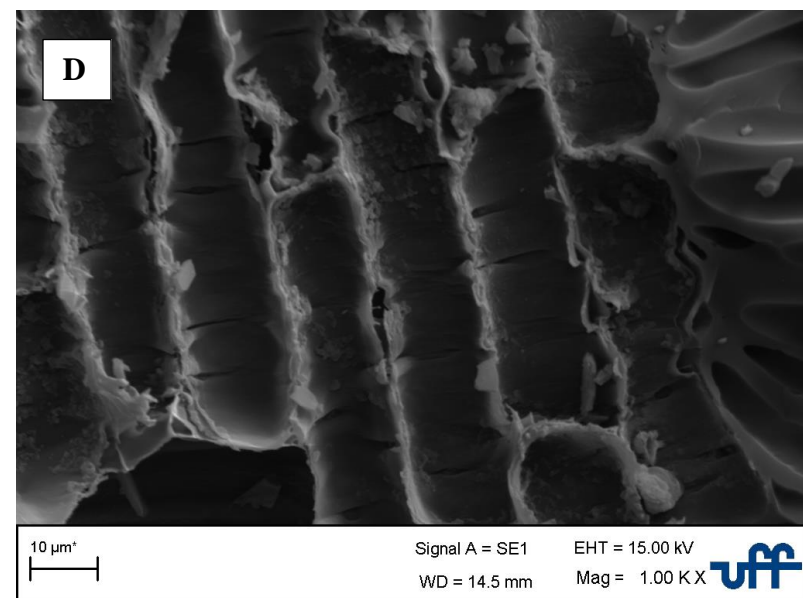
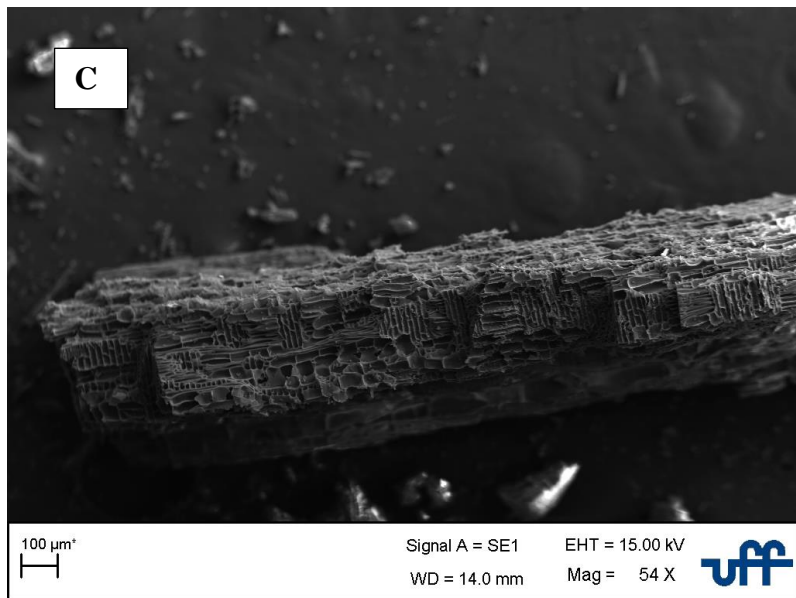
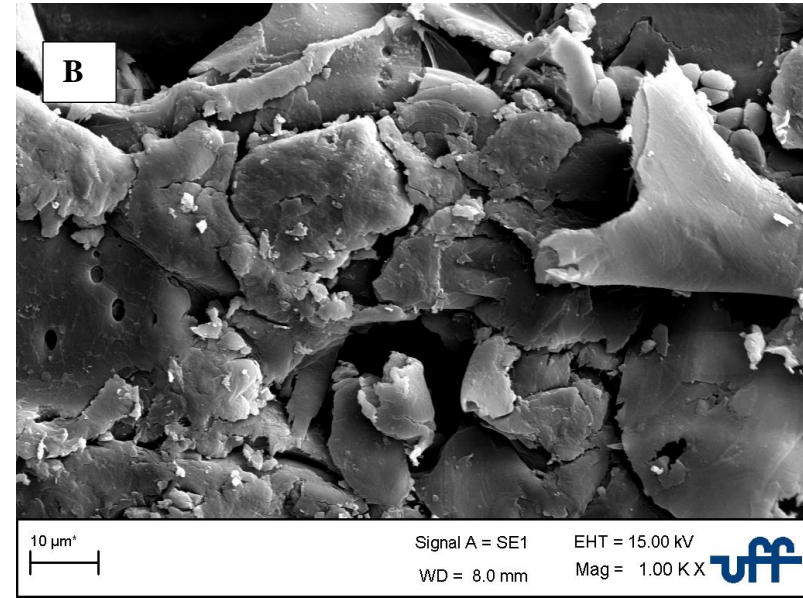
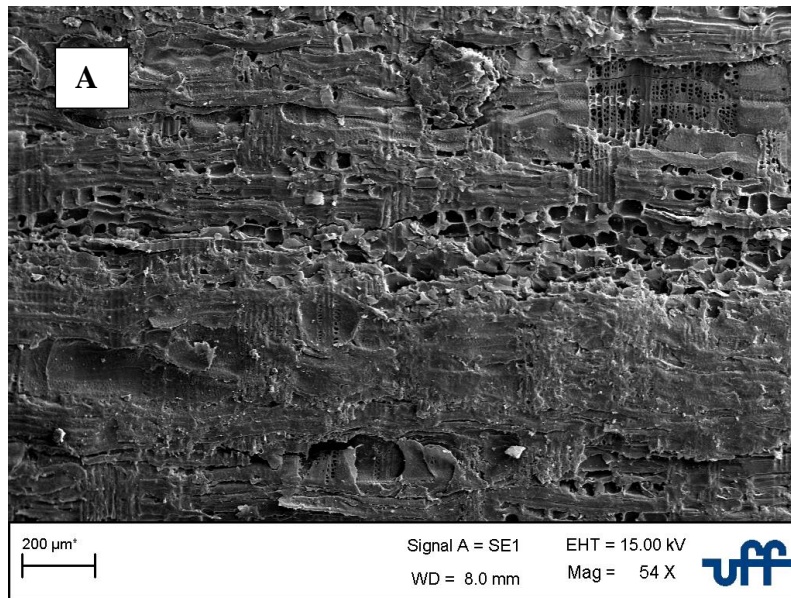
**Tabela 3.** Estatística descritiva do rendimento e propriedades do carvão vegetal da madeira de Eucalipto (*Eucalyptus* spp) pirolisado à temperatura máxima de 400 °C.

	<b>Rendimento (%)</b>	<b>Teor de materiais voláteis (%)</b>	<b>Teor de cinzas (%)</b>	<b>Teor de carbono fixo (%)</b>
N	11	9,0	9,0	9,0
Mínimo	27,51	25,60	2,80	64,70
Máximo	34,58	31,80	5,00	70,50
Média	31,55	27,10	3,33	67,81
Mediana	32,19	28,84	3,70	69,20
Var	4,32	13,40	1,99	18,77
DP	1,64	3,66	1,41	4,33

N- Número de amostras; Var – variância; DP- desvio padrão;

Em parceria com a Universidade Federal Fluminense, foram realizadas análises de espectroscopia de dispersão em energia (EDS) e obtidas imagens utilizando microscópio de varredura eletrônica (MEV) de amostras dos cavacos de madeira e dos carvões, para investigar a composição elementar e investigar a morfologia física (macro e microporosidade) dos carvões obtidos. Apesar de ser conhecido que o carvão apresenta alguma condutividade elétrica, durante a análise de microscopia de varredura eletrônica, uma cobertura de ouro foi aplicada sobre as amostras antes das observações, para garantir condutividade suficiente para gerar boas imagens.

Na Figura 6 são apresentadas imagens de MEV com aumentos de 54x e 1000x, de amostras do cavaco de madeira de eucalipto, utilizadas na pirólise e do resultado do processo, o carvão vegetal, na granulometria de 1,0 a 2,0 mm, que foram as aplicadas nas colunas filtrantes. Na Figura 6 D observa-se que a amostra de carvão utilizada apresentou superfície homogênea, com cavidade dos poros alongada e abertura de formatura oval, com predominância de formato oval.



**Figura 6.** Imagens de microscopia eletrônica de varredura da amostra de madeira de Eucalipto com aumento de 54x (A), aumento de 1000x (B) e do carvão vegetal com aumento de 54x (C), aumento de 1000x (D).

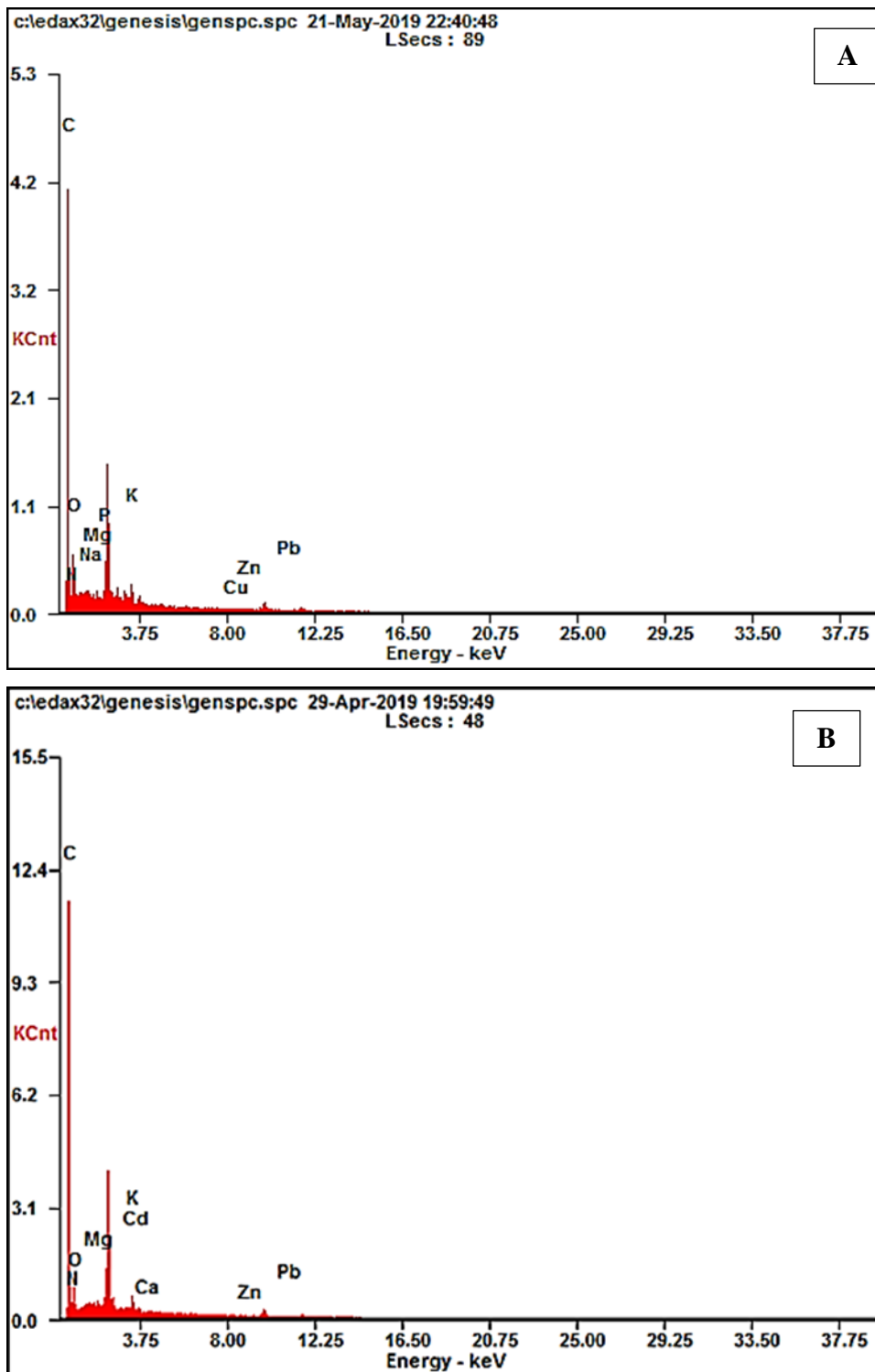
A Tabela 4 apresenta os valores dos componentes elementares presentes nas áreas analisadas por EDS, da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp.

**Tabela 4.** Valores médios da composição elementar da madeira e carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. utilizados durante o processo de filtração.

Amostra	Composição Elementar <sup>1</sup> (%)										
	C	N	O	Na	Ca	Mg	P	K	Cd	Cu	Zn
Madeira	71,19	6,35	15,63	0,13	-	0,25	1,77	2,63	-	0,52	1,53
Carvão vegetal	76,34	10,69	7,87	-	0,20	0,14	-	3,01	0,90	-	0,86

<sup>1</sup> Valores sinalizados com traço não foram detectados.

A Figura 7 mostra o espectro da análise EDS para composição elementar das amostras da madeira (Figura 7A) e do carvão vegetal (Figura 7B).



**Figura 7.** Espectroscopia de energia dispersiva das amostras. Cavacos de eucalipto (*Eucaliptus* spp) (A) e carvão vegetal de eucalipto (*Eucaliptus* spp) pirolisado a 400°C (B).

### 3.2.2.2. Partículas de madeira

A madeira da espécie *Corymbia citriodora* utilizada foi proveniente do povoamento florestal da UFRRJ, localizado no Campus de Seropédica-RJ. O material foi obtido em formato de discos com aproximadamente 5,0 cm de espessura (Figura 8 A). Retirou-se a casca e utilizando-se um facão obteve-se cavacos com aproximadamente 5,0 cm de comprimento

(Figura 8 B). Os cavacos foram colocados em água por sete dias e utilizando-se um moinho de martelos foram convertidos em partículas. A Figura 8 apresenta imagens com o detalhamento do processamento da madeira para obtenção das partículas.



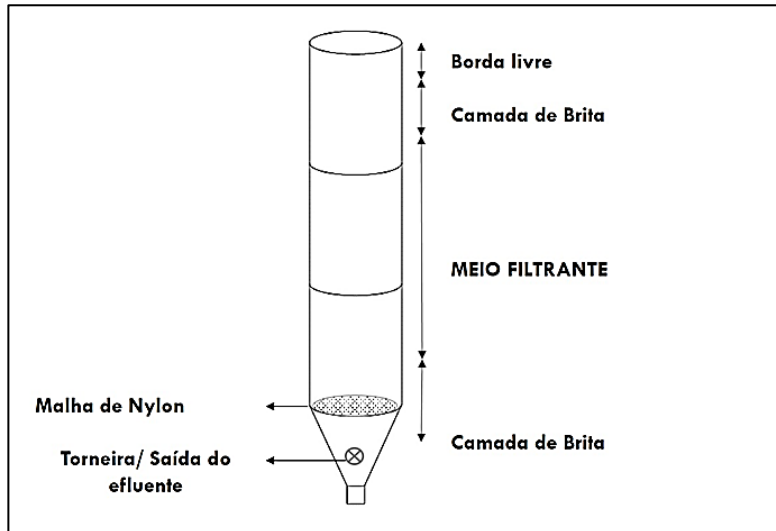
**Figura 8.** Detalhamento do processamento da madeira de *Corymbia citriodora* para obtenção das partículas de madeira. Madeira cortada em discos (A), corte em cavacos (B), hidratação do material (C), processamento no moinho (D) e amostra do resultado das partículas processadas (E).

Para obtenção do material na granulometria entre 1,0 e 2,0 mm secou-se as partículas em casa de vegetação por sete dias e, posteriormente, utilizando-se um agitador eletromagnético da marca Bertel, classificou-se as partículas em cinco faixas de granulometria (maiores que 4,0 mm; entre 4,0 e 2,0 mm; entre 2,0 e 1,0 mm; entre 1,0 e 0,297 mm e menores que 0,297 mm).

### 3.2.2.3. Montagem das colunas filtrantes

Foram montadas quatro colunas (quatro por tratamento) utilizando-se garrafas de Poli Tereftalato de Etileno (PET), com capacidade de 3,0 L, conforme descrito por Oliveira et al. (2017). O uso do PET deu-se por ser um material resistente, reciclável e baixo custo aquisitivo. Cada coluna foi montada utilizando-se três garrafas da seguinte forma: da garrafa inferior retirou-se o fundo e das outras duas retirou-se o fundo e o bico. Para a conexão das garrafas utilizou-se cola, silicone e fita adesiva. Com o intuito de evitar o fluxo preferencial, colou-se em cada coluna maravalha triturada nas paredes internas das colunas filtrantes, aumentando a rugosidade, conforme indicado por Oliveira et al. (2017), Francisco et al. (2011), Magalhães et al. (2006). Para evitar o selamento superficial e acúmulo de sólidos na entrada da torneira, utilizou-se uma camada de pedra brita (nº 3) na parte superior e inferior do filtro, com aproximadamente 10 cm de espessura. Sobre a camada inferior de pedras colocou-se uma malha de nylon com intuito de impedir a saída do material. Na Figura 9 está apresentado o modelo esquemático da coluna filtrante.





**Figura 9.** Modelo esquemático da coluna filtrante.

Para o preenchimento das colunas foi adicionado 750 g do material orgânico, sendo as seguintes proporções: 70% de partículas de madeira e 30% de carvão vegetal (525 g de partículas de madeira e 225 g de carvão vegetal). Na Figura 10 estão apresentadas imagens da coluna preparada para receber o material filtrante, homogeneização do material e do preenchimento com material orgânico.



**Figura 10.** Vista superior da coluna de garrafas PET utilizada como suporte para o filtro orgânico (A), homogeneização do material orgânico (B) e preenchimento das colunas (C).

### 3.2.3. Coleta da ARB

A ARB foi coletada no tanque de armazenamento de efluentes líquidos do CESM, que recebe os dejetos produzidos na limpeza da unidade de ordenha, onde cerca de 800 animais são manejados. A Figura 11 mostra o tanque de armazenamento de ARB e as instalações da unidade de ordenha do CESM.



**Figura 11.** Tanque de armazenamento da ARB (A) e unidade de ordenha do Campo Experimental Santa Mônica (CESM) (B).

Utilizou-se nas coletas da ARB bombonas plásticas com capacidade de 40 L, baldes e cordas. As coletas foram realizadas nos dias 10 de junho e 2 de julho de 2019.

#### **3.2.4. Descrição do procedimento experimental**

O processo de filtração foi conduzido nas dependências do Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia, no Instituto de Tecnologia (IT) da UFRRJ. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com um tratamento e quatro repetições. Os ensaios foram conduzidos em dois blocos, nos dias 13 de junho e 4 de julho de 2019.

A ARB foi transferida das bombonas plásticas para caixa d'água (500 L) com auxílio de baldes. Utilizou-se uma peneira de 4 mm para reter os sólidos mais grosseiros, conforme mostra a Figura 11. O efluente foi homogeneizado e em seguida foi aplicada uma dose de  $1,0 \text{ mL L}^{-1}$  do polímero orgânico polifenólico, derivado da casca da acácia negra (*Acacia Mearnsii*), obtido comercialmente (Veta Organic®, BWE, Brasil). Após a adição de 500 mL do coagulante, realizou-se uma agitação manual suficiente para propiciar uma mistura rápida durante dez minutos, favorecendo o contato do coagulante com as partículas sólidas do efluente da bovinocultura. Em seguida manteve-se uma mistura mais lenta, durante 20 minutos. Na fase de sedimentação dos flocos, o tempo de espera foi de uma hora, para favorecer a sedimentação de partículas mais pesadas. Foram posicionadas as colunas dos filtros orgânicos embaixo de cada registro da caixa d'água, como pode ser observado na Figura 12. As válvulas de esfera da caixa d'água foram abertas simultaneamente e o escoamento foi mantido constante, em meio saturado, durante o processo de filtração.



**Figura 12.** Remoção de sólidos grosseiros com auxílio de uma peneira de 4,0 mm de abertura de malha (A) e regime contínuo de escoamento para alimentação das colunas (B).

Não houve entupimento dos poros das colunas filtrantes em nenhum dos dois blocos. As colunas foram operadas por aproximadamente quatro horas ininterruptas, sendo obtidos 30 L de efluente tratado.

As amostras do efluente filtrado de cada unidade experimental foram coletadas a cada 5,0 L utilizando-se galões plásticos, homogêneas e, a partir dessas amostras, foram coletadas alíquotas de 150,0 mL utilizando frascos previamente descontaminados com HCl 10% (v/v) e água destilada para a realização das análises laboratoriais. Os frascos com as amostras foram mantidos em gelo até o envio para os laboratórios.

### 3.2.5. Análises laboratoriais

Os parâmetros DBO<sub>5</sub> e Nitrogênio total foram analisados no laboratório particular, Green Brasil Serviços Ambientais LTDA. As análises foram feitas conforme especificações contidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), seguindo-se os métodos SM 5210 – B (DBO<sub>5</sub>) e SM 4500 – NC (Nitrogênio total).

Os teores de sólidos totais e sólidos fixos foram determinados pelo método gravimétrico (APHA, 2012) e a quantificação dos sólidos voláteis deu-se pela diferença entre o teor de sólidos totais e fixos.

As amostras para as análises de cobre (Cu), magnésio (Mg), manganês (Mn), zinco (Zn), chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr), fósforo dissolvido (P diss), cor verdadeira, nitrato (NO<sub>3</sub>), sódio (Na<sup>+</sup>) e potássio (K<sup>+</sup>) foram preparadas para as análises por meio dos processos de centrifugação e filtração. No processo de centrifugação utilizou-se uma centrífuga de bancada, com rotação de 3500 rpm durante 10 minutos e posteriormente, a parte sobrenadante das amostras foram filtradas com auxílio de papel filtro. Os teores de nitrato foram determinados de acordo com a metodologia de Miranda et al. (2001), com modificações de Arruda (2014). As concentrações de sódio e potássio foram determinadas por fotometria de emissão de chama. A quantificação de metais e substâncias inorgânicas deu-se nos extratos filtrados por espectroscopia de absorção atômica (EAA), em equipamento modelo Varian 55 B, com capacidade sequencial rápida e correção com lâmpada de deuterium.

As análises dos parâmetros pH, CE, DQO, P dissolvido e cor verdadeira foram realizadas conforme descrito no item 3.1.4.

A Tabela 5 apresenta os valores médios da caracterização físico-química da água residuária da bovinocultura de leite.



**Tabela 5.** Características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite bruta oriunda do Campo Experimental Santa Mônica – Embrapa Gado de Leite. Valores médios das coletas de junho e julho de 2019.

Parâmetro	Unidade	ARB bruta <sup>1,2</sup>
Potencial hidrogeniônico	-	6,8
Condutividade elétrica	mS m <sup>-1</sup>	1,5
Cor verdadeira	mg PtCo L <sup>-1</sup>	875,0
Demanda química de oxigênio	mg L <sup>-1</sup>	13.770,6
Demanda bioquímica de oxigênio	mg L <sup>-1</sup>	209,9
Relação DQO/DBO	-	65,6
Fósforo dissolvido	mg L <sup>-1</sup>	24,0
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	9,8
Nitrato	mg L <sup>-1</sup>	1,2
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	162,7
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	16,0
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	32,4
Sólidos Totais	mg L <sup>-1</sup>	3735,0
Sólidos Fixos	mg L <sup>-1</sup>	2465,0
Sólidos Voláteis	mg L <sup>-1</sup>	1270,0
Cobre	mg L <sup>-1</sup>	0,021
Zinco	mg L <sup>-1</sup>	0,479
Manganês	mg L <sup>-1</sup>	1,372
Chumbo	mg L <sup>-1</sup>	0,190
Cádmio	mg L <sup>-1</sup>	0,050
Cromo total	mg L <sup>-1</sup>	-
Cromo tetravalente	mg L <sup>-1</sup>	-
Cromo hexavalente	mg L <sup>-1</sup>	-

1 – Análises realizadas em triplicata.

2 – Valores sinalizados com traço não foram detectados.

Para cada atributo físico e químico da ARB bruta, pré tratada e filtrada, foram obtidos valores médios e concentrações relativas (C/C0), que expressam a razão entre a concentração ou valor do atributo físico ou químico no efluente (C) e no afluente (C0). De acordo com Lo Monaco et al. (2009), essa relação indica a porcentagem de remoção ou aumento do parâmetro analisado, sendo que, valor maior que 1,0 significa que o efluente possui teor do parâmetro analisado maior que o afluente.

Por meio da análise de regressão foi feito o ajuste de equações matemáticas relacionando a concentração relativa C/C0 em função do volume de ARS filtrado. A análise estatística foi

realizada utilizando o software Sisvar (FERREIRA, 2014) e na elaboração dos gráficos utilizou-se planilha eletrônica.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Experimento I: Separação sólido-líquido utilizando coagulante natural

Com relação ao pH, a ARB apresentou valor dentro do limite estabelecido pela legislação vigente, entre 5,0 e 9,0 (Brasil, 2011), mantendo-se próximo a neutralidade e ligeiramente inferior aos observados na literatura (ERTHAL et al., 2010; SILVA, 2012; FRANCISCO et al., 2014; ALMEIDA, 2016). O monitoramento desse parâmetro, em conjunto com outros fatores, permite inferir sobre a possibilidade de aproveitamento agrícola e, até mesmo, se a destinação do efluente para corpos hídricos apresenta algum risco a vida aquática, impedindo então o seu lançamento. Para agricultura, o monitoramento desse parâmetro se faz importante pois o potencial hidrogeniônico influencia a solubilidade, a concentração e a forma iônica de diversos nutrientes no solo (SILVA et al., 2012). De acordo com Jordão e Pessoa (2009), a manutenção da vida aquática nos corpos d'água requer uma faixa de pH em geral de 6 a 9. Na produção agrícola, o valor de pH ótimo para o cultivo da maioria das culturas está entre 6,0 e 6,5 (Camargo et al., 1982), resultando em maior disponibilidade de nutrientes.

A condutividade elétrica também é considerada um parâmetro chave para discernir sobre possibilidade de aproveitamento agrícola do efluente. Segundo Ferreira (2006), valores menores que  $0,7 \text{ dS m}^{-1}$  ( $70 \text{ mS m}^{-1}$ ) não apresentam nenhuma restrição para ser usado na irrigação. Essa informação indica que, a ARB coletada no SIPA não apresentou nenhuma restrição para aplicação na agricultura. À medida que a concentração de sais aumenta na solução do solo o potencial osmótico reduz, requerendo assim mais energia para absorver a água do solo (SILVA et al., 2012). Portanto, a planta pode ter o seu desenvolvimento comprometido por um estresse hídrico, mesmo com o teor de água no solo próximo à capacidade de campo.

O efluente apresentou valor elevado de DQO, muito superior a valores tipicamente observados em esgotos domésticos, indicando que o efluente possui alto poder poluidor. A demanda química de oxigênio (DQO) corresponde a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na amostra, em via ácida. Apesar da legislação federal não a relacionar como um parâmetro de controle, esse parâmetro vem sendo cada vez mais utilizado no controle operacional tendo em vista a possibilidade de obtenção de resultados mais rápido em relação a DBO e, considera não somente a demanda satisfeita biologicamente, mas tudo o que é susceptível a demandas de oxigênio, como os sais minerais (JORDÃO e PESSOA, 2009). O valor observado é menor do que o verificado por Erthal et al. (2010), Silva et al. (2012) e Silva (2012), porém, maior que os observados por Almeida (2016) e Francisco et al. (2014) que também analisaram o efluente do SIPA, mostrando o quanto esse parâmetro pode variar de acordo com o manejo nas instalações da bovinocultura.

O fósforo é um dos elementos que integram a composição da ARB, podendo estar presente no efluente sob a forma de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Quando desperdiçado o potencial de aproveitamento agrícola desses efluentes, a presença desse elemento, juntamente com o nitrogênio, torna-se preocupante devido ao potencial de eutrofização de corpos hídricos, principalmente de regimes lentos. O fósforo reativo ocorre nas formas dissolvida e suspensa. A filtração por meio de filtros de membrana com  $0,45 \mu\text{m}$  de diâmetro dos poros separa as formas dissolvidas das formas suspensas (APHA, 1999). O valor de fósforo dissolvido observado no efluente aproxima-se das médias de fósforo total comumente verificadas em esgotos domésticos. Quando comparado a valores totais reportados por diversos autores na literatura pode ser considerado um teor elevado de fósforo (Erthal et al.,

2010; Silva, 2012; Francisco et al., 2014; Almeida, 2016). A legislação do Estado do Rio de Janeiro, na Norma Técnica do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), NT 202 R-10 fixa o limite máximo de 1,0 mg P L<sup>-1</sup>, nos casos de lançamento em corpos d'água fechado (INEA, 1986).

A cor apresentou valor inferior aos observados por Almeida (2016) e Melo (2017). O parâmetro cor indica a qualidade estética do efluente. É determinado pela presença de substâncias dissolvidas na água e não possui limite estabelecido na legislação brasileira (Brasil, 2011).

#### **4.1.1. Avaliação do efeito da dose sobre a eficiência do processo de coagulação / floculação**

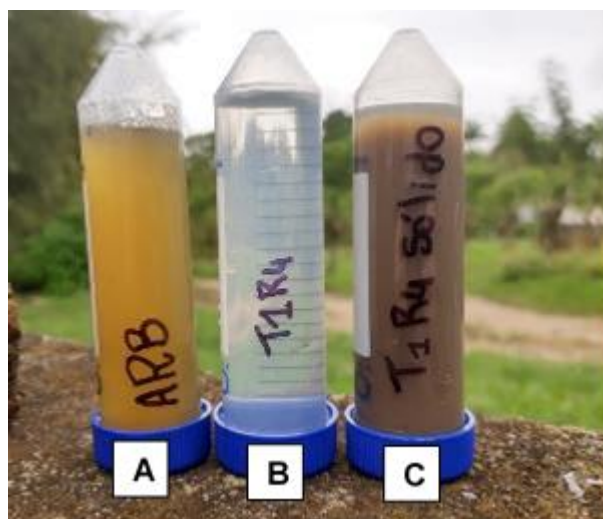
Para inferir sobre o efeito da dose de tanino no desempenho do processo de separação sólido-líquido, além das análises físico-químicas, foi realizada uma avaliação visual dos resultados, onde foram observados o tamanho e o grau de clarificação do efluente tratado de acordo com Rodrigues et al. (2016).

Na Tabela 6 são apresentados os resultados da avaliação visual, como floco formado e clarificação, da água residuária após tratamento com a adição do coagulante tanino para a separação da fração sólida-líquida. De forma similar aos resultados reportados por Rodrigues et al. (2016), o aumento abrupto da dose diminuiu a formação de flocos e desfavoreceu a clarificação da fração líquida. O tratamento 1 mostrou-se mais satisfatório considerando os aspectos visuais porque promoveu melhor clarificação do efluente. Segundo Katrivesis et al. (2019), a explicação para a diminuição da eficácia com a aplicação de doses elevadas de eletrólitos está na alteração da carga negativa das partículas suspensas para positiva, longe do ponto isoelétrico em que o potencial zeta se tornará igual a zero. Observou-se que onde foram aplicados o Tratamento 2 (dose 9 mL L<sup>-1</sup>), o efluente tratado adquiriu uma coloração avermelhada, indicando um excesso de coagulante aplicado. De acordo com Katrivesis et al. (2019), outro efeito negativo do procedimento de superdosagem é que a quantidade em excesso do eletrólito adicionado permanecerá na água tratada e vai para a cadeia de consumo.

**Tabela 6.** Características visuais, como floco formado e clarificação, da água residuária da bovinocultura após tratamento com a adição do coagulante tanino para a separação da fração sólida-líquida.

<b>Dose (mL L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Floco formado</b>	<b>Clarificação</b>
4,0	Médio	Boa
9,0	Pequeno	Média

A comparação visual entre o efluente bruto (ARB), a fração líquida e a fração sólida do Tratamento 1 e 2 pode ser observada nas Figuras 13 e 14.



**Figura 13.** Amostras da água residuária bruta (A), da fração líquida (B) e da fração sólida após tratamento com tanino na dose de  $4,0 \text{ mL L}^{-1}$  (C).



**Figura 14.** Aspecto visual das amostras da fração líquida após o processo de separação da fração sólida com  $9,0 \text{ mL L}^{-1}$  de tanino. A fileira da frente com amostras da fração líquida e as fileiras traseiras com a fração sólida.

#### 4.1.1.1. Caracterização físico-química da fração líquida da ARB

Na Tabela 7 estão apresentados os atributos físicos e químico da ARB bruta e tratada com tanino ( $4$  e  $9 \text{ mL L}^{-1}$ ), bem como os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Comparando os efluentes bruto e tratados com tanino, foi observada uma diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) entre a água residuária bruta e a tratada com tanino para todos os parâmetros analisados.

**Tabela 7.** Valores médios de pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio, cor verdadeira e fósforo dissolvido na ARB bruta e nas frações líquidas obtidas após a separação da fração sólida-líquida utilizando tanino nas doses 4,0 mL L<sup>-1</sup> (Tratamento 1) e 9,0 mL L<sup>-1</sup> (Tratamento 2).

Amostras	pH*	CE (mS m <sup>-1</sup> )	DQO (mgL <sup>-1</sup> )	Cor (mgPtCoL <sup>-1</sup> )	P dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )
ARB bruta	6,38a	1,45a	5678,57a	182,75a	26,50a
Tratamento 1	6,22b	1,93b	693,21b	96,50 b	20,12b
Tratamento 2	5,62c	1,71c	1422,14b	14,00c	15,21c

\*Resultados expressos em média de quatro repetições.

\*\*Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5 % de significância pelo Teste de Tukey.

Os valores de pH apresentaram uma redução diretamente proporcional com o aumento da dose do coagulante, mantendo-se, contudo, na faixa estabelecida (entre 5,0 e 9,0) pela resolução CONAMA n° 430 (BRASIL, 2011). De acordo com Couto Júnior et al. (2012), o tanino é o coagulante natural indicado para o tratamento de águas de abastecimento, dentre outros motivos, por possuir estabilização em termos de pH, dispensando o uso de alcalinizantes ou auxiliares de coagulação. Considerando que ocorreu diferença estatística entre todos os níveis avaliados, é possível inferir que a dose aplicada no T2 foi excessiva, uma vez que acarretou uma ligeira acidificação do efluente deixando-o abaixo da faixa de neutralidade, não o excluindo, contudo, do limite estabelecido na legislação. De outra forma, com a utilização de um coagulante inorgânico, como o sulfato de alumínio, Skoronski et al. (2014) afirmam que haveria redução maior na alcalinidade total e no pH da água tratada, necessitando a adição de cal hidratada para correção da alcalinidade, por exemplo, no sentido de favorecer o processo de coagulação.

Com relação a condutividade elétrica, observa-se que a ARB bruta da bovinocultura de leite possui um grau de restrição nulo para uso em irrigação, menor que 0,7 dS m<sup>-1</sup> (ALMEIDA, 2010). Após a aplicação do coagulante natural foi observado um aumento na CE nos efluentes do Tratamento 1 e 2. Mesmo assim, os efluentes tratados com tanino ainda são enquadrados com nenhuma restrição à irrigação.

O processo de coagulação e floculação foi eficiente na remoção de matéria orgânica da ARB. De acordo com a Tabela 4 observa-se que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos T1 e T2 e que os efluentes ainda apresentam valores considerados elevados para a DQO. Vale ressaltar que após a remoção dos sólidos em suspensão tem-se em decorrência uma redução da carga de matéria orgânica dirigida ao tratamento secundário, onde sua remoção representaria maiores custos ao processo. Apesar de não ter diferido estatisticamente, o T1 apresentou uma remoção de DQO duas vezes maior que o T2. A eficiência de remoção de DQO foi de 88% e 75%, para os Tratamentos 1 e 2, respectivamente. Resultados similares foram verificados na literatura, porém, em ensaios em escala laboratorial, com adição de agentes auxiliares e tempos de reações maiores.

Cruz (2004) alcançou remoção de 84% de DQO no tratamento de efluentes de lavanderia em escala laboratorial, com tempo de agitação rápida (120 rpm) de 3,0 minutos, agitação lenta (30 rpm) de 5,0 minutos e sedimentação de 1,0 hora, utilizando a dosagem de tanino igual a 166,0 mg.L<sup>-1</sup> e poliacrilamida catiônico a 2,0 mg.L<sup>-1</sup>. Couto Júnior et al. (2012) no entanto, obtiveram resultados maiores com redução de 95% da DQO, em ensaio laboratorial com tempo de mistura rápida (90 rpm) de 2,0 minutos, mistura lenta (35 rpm) de 20 minutos e

sedimentação de 30,0 minutos e, aplicação isolada de tanino na dose de 400 mg.L<sup>-1</sup> no tratamento de efluentes de estamparia.

Os resultados do presente estudo mostraram que as eficiências de redução da DQO foram ainda superiores as observadas por outros autores na literatura. Kunz et al. (2010), que ao realizarem o tratamentos de efluentes de suinocultura em escala real, observaram que a remoção de DQO com a dosagem de 2,5 mL L<sup>-1</sup> de tanino e 2,5 µg.L<sup>-1</sup> de PAM, no período pré otimização do sistema foi de 46% e que, após a otimização, para a mesma dosagem alcançaram 58%.

A dose que apresentou melhor remoção de cor verdadeira da ARB foi a de 9,0 mL L<sup>-1</sup> (Tratamento 2), com eficiência de 92%. Além da dosagem outros aspectos são considerados importantes para a remoção de sólidos que conferem cor ao efluente. Nesse sentido, Couto Jr. et al. (2012), ao estudarem sobre o desempenho do tanino no processo de separação sólido-líquido, determinaram as condições ótimas para melhor eficiência do processo tais como dosagem e duração das etapas de mistura rápida, mistura lenta e sedimentação (velocidades fixadas), no tratamento de efluentes de estamparia. Os autores concluíram que a melhor condição do processo ocorreu com a aplicação de tanino na dose de 400 mg L<sup>-1</sup> e tempos de 2, 20 e 30 min para as etapas de mistura rápida, mistura lenta e sedimentação, respectivamente.

Apesar da análise visual ter mostrado que o Tratamento 1 promoveu melhor clarificação do efluente, os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que, para o parâmetro cor verdadeira, o Tratamento 2 (dose de 9,0 mL L<sup>-1</sup>) proporcionou melhor remoção, diferindo estatisticamente do Tratamento 1. A clarificação relaciona-se também com a turbidez, estando diretamente relacionada com os materiais em suspensão no efluente. Os materiais em suspensão podem ter sido removidos nos processos de centrifugação e filtração, durante o preparo das amostras, influenciando o resultado.

Outros autores verificaram remoções de cor significativas, contudo observa-se na literatura, que altas taxas de remoções são geralmente verificadas, no tratamento de efluentes diversos, quando adicionado um agente de floculação, que aumenta o peso dos flocos, favorecendo a precipitação dos mesmos.

Cruz (2004) avaliou a aplicabilidade e eficiência do uso do tanino vegetal como agente coagulante no tratamento de efluentes de lavanderia. O autor comparou a aplicação do tanino com poliacrilamida aniônica, do tanino com adição de carvão ativado em pó e poliacrilamida aniônica, como referência, do sulfato de alumínio com poliacrilamida catiônica. A remoção de cor verificada com aplicação do sulfato de alumínio/floculante (800 mg L<sup>-1</sup> e 2,0 mg L<sup>-1</sup>) foi de 84%, utilizando o tanino/floculante (166,0 mg L<sup>-1</sup> e 2,0 mg L<sup>-1</sup>) alcançou 81% e no tratamento utilizando o tanino/carvão ativado/floculante (166,0 mg L<sup>-1</sup>, 2,0 g L<sup>-1</sup> e 2,0 mg L<sup>-1</sup>) a remoção foi de 99%.

Posteriormente, Pelegrino (2011) investigou a eficiência do tanino, associado ou não a polímeros sintéticos, no sistema de flotação para tratamento do esgoto doméstico efluente de reator anaeróbio. Foram estudadas variáveis como dosagem do coagulante natural, velocidade de flotação, tipo e dosagem do coagulante sintético. A remoção de cor aparente alcançada quando aplicada a dose ótima (65 mg L<sup>-1</sup>) de tanino, sem associação de polímero sintético, foi de 72,1%. Quando adicionada uma dose de 2 mg L<sup>-1</sup> de polímero catiônico o autor verificou que a remoção da cor aparente foi de 82,1%.

Anjos (2016) avaliou a eficiência de taninos e sulfato de alumínio, utilizados individualmente e combinados, no processo de separação sólido-líquido como tratamento de efluentes de curtume. No tratamento dos efluentes classificados como de maior carga orgânica, a remoção alcançada para o parâmetro cor foi de 94% com o sulfato de alumínio, 83% com o tanino e de 57% quando combinados numa proporção de 12,5% de sulfato de alumínio com 87,5% de tanino.

Com relação ao fósforo dissolvido observa-se uma redução nos seus valores, porém ainda não se encontra dentro do limite de 1,0 mg L<sup>-1</sup>, especificado para lançamento em corpos

hídricos de regime lento em alguns Estados da Federação, como o Estado do Rio de Janeiro, por meio da Norma Técnica do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), NT 202 R-10 (INEA, 1986). O Tratamento 2 promoveu melhor remoção de fósforo dissolvido, com eficiência de 43% e valor residual de 15,21 mg L<sup>-1</sup>. Esse resultado foi superior ao observado por Rodrigues et al. (2016) que ao utilizarem 25 mL L<sup>-1</sup> de tanino no tratamento de efluentes de frigorífico de suínos removeram 28% de fósforo dissolvido total. Verifica-se valores próximos e superiores na literatura quando há adição de agentes auxiliares de coagulação, como poliacrilamidas.

Em estudo realizado por Kunz et al. (2010), utilizando um sistema de separação sólido-líquido, em escala real, para tratamento de efluentes de suinocultura foi avaliada a eficiência do uso de tanino e poliacrilamida orgânica sintética (PAM), antes e depois de otimizações em relação ao tempo de aplicação dos agentes. O estudo mostrou que a eficiência do processo pode ser maximizada quando otimizações das etapas de interação dos floculantes com o material em suspensão, por meio da adição sequencial dos agentes floculante e coagulante são aplicadas, permitindo melhora na formação dos flocos e melhor sedimentação do lodo. Os autores verificaram que para a dosagem ideal (2,5 mL L<sup>-1</sup> de tanino e 2,5 µg L<sup>-1</sup> de PAM), a remoção de fósforo com as melhorias no sistema foram de 48 para 79%, e de acordo com os autores, esse resultado também demonstra que a fração em suspensão contém a maior parte do fósforo presente no efluente.

## 4.2. Experimento II: Filtração da ARB utilizando partículas de madeira e carvão vegetal

### 4.2.1. Caracterização da ARB pré-tratada

A Tabela 8 apresenta os valores médios da caracterização físico-química da água residuária da bovinocultura de leite, oriunda do CESM (Valença – RJ), após pré-tratamento por meio da sedimentação das partículas mais pesadas.

**Tabela 8.** Características físicas e químicas da água residuária da bovinocultura de leite (ARB) oriunda do CESM após o pré-tratamento utilizado (sedimentação das partículas com uso de tanino vegetal, tempo de 2 horas). Valores médios, de três repetições, das coletas de junho e julho de 2019.

Parâmetro	Unidade	ARB pré-tratada
Potencial hidrogeniônico	-	6,8
Condutividade elétrica	mS m <sup>-1</sup>	1,4
Cor verdadeira	mg PtCo L <sup>-1</sup>	547,0
Demanda química de oxigênio	mg L <sup>-1</sup>	11.269,1
Demanda bioquímica de oxigênio	mg L <sup>-1</sup>	275,0
Relação DQO/DBO	-	40,9
Fósforo dissolvido	mg L <sup>-1</sup>	14,7
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	9,5
Nitrato	mg L <sup>-1</sup>	0,2
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	168,9
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	16,6
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	26,1

Sólidos Totais	mg L <sup>-1</sup>	1535,0
Sólidos Fixos	mg L <sup>-1</sup>	590,0
Sólidos Voláteis	mg L <sup>-1</sup>	940,0

Os resultados mostram que não houve variação entre o efluente bruto (Tabela 5) e pré tratado para os valores de pH e, que ficaram próximos aos observados por outros autores ao caracterizarem efluentes oriundos de instalações de bovinoculturas leiteiras (ALMEIDA, 2016; SILVA, 2012 e ERTHAL et al., 2010), ambos permanecendo dentro do limite especificado na legislação vigente (BRASIL, 2011).

Mesmo sem ter valor regulamentado pela resolução CONAMA 430/2011 (BRASIL, 2011), o monitoramento da condutividade elétrica é de grande importância para verificação da possibilidade de reuso do efluente na agricultura. Para este parâmetro pode-se inferir que não teve variação expressiva nos efluentes avaliados e que os valores não apresentam restrição para uso agrícola, de acordo com Ferreira (2006). O valor médio obtido foi inferior ao verificado por Silva (2012) que obteve o valor médio igual a 2,91 mS cm<sup>-1</sup>, na caracterização da água residuária da bovinocultura preparada por meio da mistura de água potável e esterco bovino fresco obtido no SIPA.

Com relação a cor verdadeira, os resultados mostram grande concentração de compostos dissolvidos que conferem a cor ao efluente. Mesmo após a sedimentação, que proporcionou redução de 37%, verificou-se valores ainda elevados para o efluente. Almeida (2016) verificou valores maiores para este parâmetro, na caracterização de ARB oriunda no SIPA.

A DQO não possui valor limite regulamentado na legislação federal vigente (Brasil, 2011) mas vários autores citam as vantagens da análise em relação à análise de DBO<sub>5</sub> e a importância da realização do teste na avaliação da qualidade da água (THEBALDI et al., 2011; VON SPERLING, 2014). Observa-se na Tabela 8, que os valores médios de DQO foram elevados, mesmo após o processo de sedimentação quando verifica-se uma redução de 18,1%. Apesar da grande variabilidade das características físico-química da ARB, o resultado mostra-se em consonância com os valores obtidos por outros autores (Tabela 1). Ao caracterizarem efluentes da bovinocultura de leite, Silva (2012) obteve valores ainda maiores para a DQO na ARB na ordem de 26.875,0 mg L<sup>-1</sup>, enquanto Melo (2017) verificou valor médio na ordem de 1.820,4 mg L<sup>-1</sup>. Em relação aos dados apresentados, percebe-se que, embora os valores de DQO sejam elevados, os valores médios de DBO<sub>5</sub> foram relativamente baixos.

O valor médio da DBO<sub>5</sub> foi superior ao limite máximo de 120,0 mg L<sup>-1</sup>, definido na legislação vigente (Brasil, 2011). Enquanto o valor médio para a DBO<sub>5</sub> do efluente líquido do tanque do CESH foi igual a 275,0 mg L<sup>-1</sup>, Silva (2012) e Melo (2017) obtiveram valores significativamente maiores, na ordem de 3.522,0 mg L<sup>-1</sup> e 700,0 mg L<sup>-1</sup>, no SIPA, onde os animais são manejados por meio de métodos orgânicos. Nos meses do inverno ocorre o controle estratégico de carrapatos do CESH, quando são aplicados medicamentos carrapaticidas no rebanho. Portanto, os valores de DBO<sub>5</sub> possivelmente foram afetados mediante a concentração de componentes tóxicos aos microrganismos utilizados na oxidação da matéria orgânica, provocando diminuição dos valores deste parâmetro.

Segundo von Sperling (2014), dependendo da magnitude, a relação DQO/DBO<sub>5</sub> pode dar indicações sobre a biodegradabilidade do efluente. Os autores explicam que quanto maior o valor da relação entre os parâmetros, maior a fração não biodegradável presente no efluente. Como os valores de DBO<sub>5</sub> foram baixos, observou-se valores muito elevados para a relação DQO/DBO<sub>5</sub>. Thebaldi et al. (2011) avaliaram a qualidade da água de um córrego que recebe o efluente de uma unidade de tratamento de efluentes de abatedouro de bovinos. Para investigar a possível mudança na qualidade da água, em função do lançamento do efluente tratado, os autores coletaram amostras em quatro pontos do córrego. O estudo indicou valores de DBO<sub>5</sub> acima do limite estabelecido para a classe em que se enquadra o córrego e que a relação



DQO/DBO<sub>5</sub> nos diferentes pontos variou entre 1,05 a 1,54. Estes resultados mostram que a fração biodegradável é elevada e que um provável despejo de efluentes sem tratamento ocorre na região, pois é comum o aumento dos valores desta relação quando têm-se o tratamento biológico de efluentes.

Observa-se que a sedimentação das partículas mais pesadas promoveu diminuição nos teores de fósforo dissolvido, nitrogênio total e nitrato, 38,7%, 3,06% e 68,33%, respectivamente. Essas porcentagens mostram que parte dos nutrientes estavam na forma suspensa na ARB. Verificou-se, no entanto, um pequeno aumento na concentração de sódio e potássio, 3,75 e 3,81%, respectivamente.

Com a análise dos resultados apresentados na Tabela 8 sobre a série de sólidos verifica-se que o efluente coletado apresentou alta concentração de sólidos totais, fixos e voláteis. O processo de sedimentação foi eficaz, os dados mostram uma redução de sólidos totais na ordem de 58,9%, de sólidos fixos igual a 76,0% e de 25,9% para os sólidos voláteis.

A Tabela 9 apresenta a concentração de algumas substâncias inorgânicas na ARB, bem como suas concentrações máximas permitidas para lançamento dos efluentes líquidos definidas nas legislações vigentes na esfera e no estado do Rio de Janeiro, CONAMA 430/11 (Brasil, 2011) e NT 202 R-10 (INEA, 1986).

**Tabela 9.** Concentração de substâncias inorgânicas na ARB após pré-tratamento por sedimentação das partículas e limite máximo permitido para lançamento de efluentes líquidos conforme Resolução 430/11 e NT 202/86.

Substâncias inorgânicas	ARB pré-tratada <sup>1</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Concentração máxima permitida Resolução 430/11 (mg L <sup>-1</sup> )	Concentração máxima permitida NT 202 FEEMA/86 (mg L <sup>-1</sup> )
Cobre	0,016	1,0	0,5
Zinco	0,011	5,0	1,0
Manganês	0,347	1,0	1,0
Chumbo	0,150	0,5	0,5
Cádmio	0,049	0,2	0,1
Cromo total	-	-	0,5
Cromo tetravalente	-	1,0	-
Cromo hexavalente	-	0,1	-

1- Valores sinalizados com traço não foram detectados.

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram que o efluente bruto apresentou valores abaixo ou próximos das concentrações máximas exigidas pelas legislações CONAMA 430/2011 e NT 202 INEA/1986. Com a aplicação do tanino no pré-tratamento houve diminuição da concentração das substâncias inorgânicas avaliadas. Ressalta-se, contudo que o pré-preparo das amostras para análise laboratorial pode ter interferido no resultado uma vez que as substâncias inorgânicas podem ter ficado retidas na fração sólida.

#### 4.2.2. Avaliação da eficiência do processo de filtração

##### 4.2.2.1. Caracterização física do efluente após a filtração

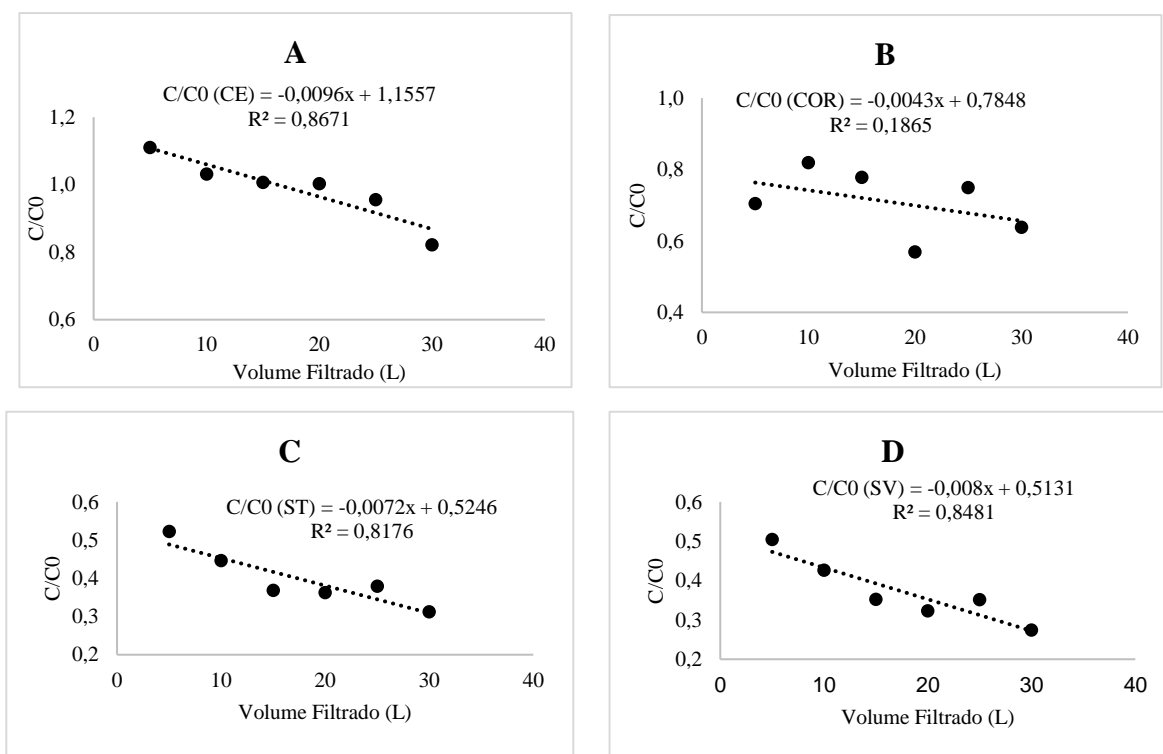
Na Tabela 10 são apresentados os valores de CE, ST, SF, SV e cor verdadeira após a passagem da ARB no filtro orgânico preenchido com partículas de *Corymbia citriodora* e

carvão vegetal de eucalipto (*Eucaliptus* spp.). Os resultados mostram que, de forma geral, a filtração promoveu redução dos parâmetros físicos ao longo da condução do processo.

**Tabela 10.** Valores médios de condutividade elétrica (CE), sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e cor verdadeira dos efluentes por volume filtrado após etapa de filtração.

Volume Filtrado (L)	CE mS m <sup>-1</sup>	ST -----mg L <sup>-1</sup> -----	SF -----mg L <sup>-1</sup> -----	SV -----mg L <sup>-1</sup> -----	Cor verdadeira mg PtCo L <sup>-1</sup>
5	1,66	1952,5	1245,0	707,5	616,5
10	1,54	1667,5	1052,5	615,0	717,0
15	1,50	1377,5	870,0	507,5	680,7
20	1,50	1355,0	797,5	557,5	498,0
25	1,43	1417,5	867,5	550,0	655,5
30	1,22	1167,5	677,5	490,0	558,7

Na Figura 15 estão apresentados os modelos ajustados relacionando as concentrações relativas com o volume filtrado para os parâmetros físicos avaliados. Pode-se observar que o comportamento dos filtros de forma geral foi decrescente evidenciando a tendência da redução dos fatores físicos.



**Figura 15.** Concentração relativa dos teores de CE (A), cor verdadeira (B), sólidos totais (C) e sólidos voláteis (D) do efluente em relação ao afluente (C/C0) em função do volume filtrado pelas colunas preenchidas com material orgânico.

A análise dos resultados permite verificar que o processo de filtração promoveu, nos primeiros volumes filtrados, um acréscimo nos teores dos parâmetros avaliados. Esse comportamento também foi verificado por outros autores ao utilizarem materiais orgânicos no processo de filtração de efluentes agropecuários (LO MONACO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2017; OLIVEIRA, 2018; ARAÚJO, 2018). Mesmo tendo comportamento decrescente, verificou-se que o parâmetro cor verdadeira sofreu um acréscimo no processo de filtração, o efluente após o pré tratamento apresentou 547,0 mg PtCo L<sup>-1</sup> e no último volume filtrado 558,7 mg PtCo L<sup>-1</sup>. Com exceção dos parâmetros cor verdadeira e condutividade elétrica, as remoções dos demais parâmetros foram positivas, sendo a de sólidos totais na ordem de 31,47%, para sólidos voláteis de 47,87, próximas as verificadas por Francisco et al. (2014).

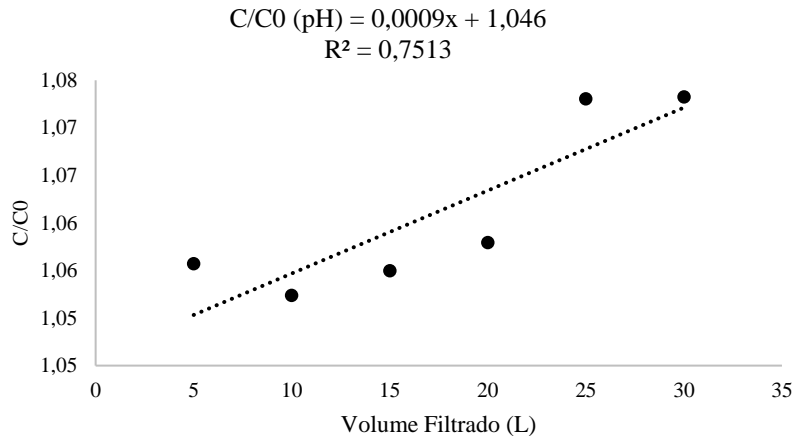
#### 4.2.2.2. Caracterização química do efluente após a filtração

Na Tabela 11 estão apresentados os valores médios da caracterização química, obtidos para cada volume filtrado.

**Tabela 11.** Caracterização química do efluente da bovinocultura de leite durante o processo de filtração com partículas de madeira e carvão vegetal.

Volume Filtrado (L)	pH	DBO <sub>5</sub>	DQO	P <sub>diss</sub>	N <sub>total</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	K	Na	Mg
	-----mg L <sup>-1</sup> -----								
5	7,15	-	1369,3	18,6	-	0,4	197,6	17,4	33,1
10	7,13	296,6	1659,7	20,4	9,9	0,5	214,5	18,6	30,1
15	7,15	-	1808,8	18,5	-	0,2	151,8	14,9	26,9
20	7,17	283,2	2324,1	20,8	10,3	0,6	194,4	18,0	35,6
25	7,27	-	1629,2	17,5	-	0,3	168,0	16,3	29,3
30	7,27	257,4	760,1	11,3	9,3	0,1	127,8	13,5	21,8

Os dados mostram que o processo de filtração promoveu um acréscimo nos valores de pH (Figura 16), visto que o efluente pré tratado apresentou pH igual a 6,8 chegando a pH igual a 7,27 aos 30L (C/C0 = 1,04). Mesmo com o acréscimo, os valores foram mantidos ainda próximos da faixa de neutralidade e dentro do limite estabelecido nas legislações vigentes CONAMA 430 e NT 202 do INEA (BRASIL, 2011; INEA, 1986). Com relação ao pH, o efluente não apresenta restrição de reuso, podendo inclusive ser aproveitado na agricultura. Esse comportamento foi também verificado por Araújo (2008) ao utilizar bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira e composto, em diferentes proporções, no tratamento de água residuária da suinocultura.



**Figura 16.** Concentração relativa do pH ao longo do processo de filtração (C/C0).

A remoção de matéria orgânica é geralmente dirigida a sistemas de tratamento a nível secundário. A legislação federal estabelece que a remoção de DBO<sub>5</sub> deve ser de no mínimo 60% e atender a um limite máximo de 120 mg L<sup>-1</sup> para lançamento do efluente tratado em corpos hídricos (BRASIL, 2011). No Rio de Janeiro, está estabelecido na diretriz DZ 215 do INEA/2007 em que a remoção e o limite máximo devem ser em função da carga orgânica bruta. Os dados de DBO<sub>5</sub> mostrados na Tabela 11 mostram que, apesar da filtração ter propiciado um comportamento decrescente, o melhor valor de remoção ocorreu aos 30L (C/C0= 0,93) e foi igual a 6,4%, não atendendo aos limites estabelecidos. Foram verificadas remoções maiores na literatura. Lo Monaco et al. (2011a) utilizando bagaço de cana-de-açúcar triturado alcançaram remoções de DBO<sub>5</sub> entre 25 e 60%. Constata-se que, possivelmente, maiores remoções seriam alcançadas se o processo de filtração fosse conduzido por mais tempo. Observa-se que nos primeiros 10 L houve um acréscimo no valor da DBO<sub>5</sub>, que possivelmente está relacionado com a solubilização de compostos dos materiais orgânicos utilizados no preenchimento das colunas. Outros autores verificaram o mesmo comportamento nos volumes iniciais do processo de filtração (LO MONACO et al., 2014; ARAÚJO, 2018).

De forma contrária ao observado com a DBO<sub>5</sub>, aos 30L (C/C0 = 0,06) o processo de filtração promoveu remoção expressiva de DQO na ordem de 93,2%, considerando o efluente pré tratado e o efluente ao término do processo. Os valores de remoção foram superiores ao verificado por Francisco et al. (2014), que encontraram remoções médias de DQO entre 28 e 43% ao avaliarem o desempenho de diferentes materiais orgânicos no processo de filtração de efluentes de bovinocultura. Outros autores também verificaram bom desempenho de filtros orgânicos na remoção de DQO (LO MONACO et al., 2011a; LO MONACO et al., 2014; ARAÚJO, 2018).

Ao final de 30 L filtrados, a relação DQO/DBO<sub>5</sub> reduziu para 2,95. Esse resultado indica que o efluente apresenta uma maior fração biodegradável em relação ao afluente a etapa de filtração quando a relação DQO/DBO<sub>5</sub> foi igual a 40,9, sendo viável a implantação de um sistema biológico de tratamento caso seja necessário o lançamento do efluente em corpos hídricos.

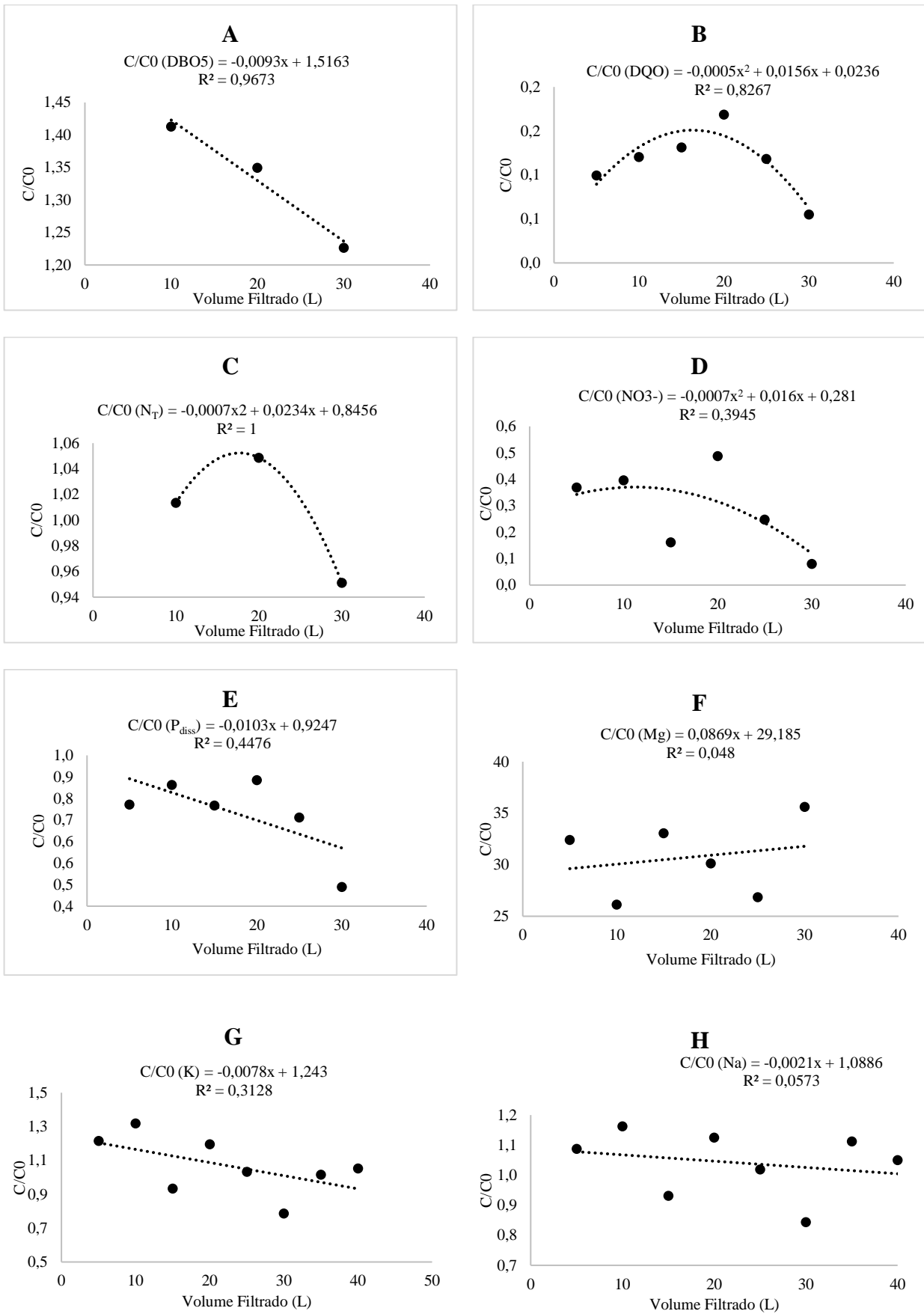
De forma similar aos demais parâmetros químicos, observou-se um acréscimo do teor de fósforo dissolvido nos volumes iniciais do processo. Os teores de fósforo dissolvido apresentaram variabilidade ao longo do processo e a remoção ocorreu apenas no último volume (30L) avaliado da etapa de filtração foi igual a 23,1% (C/C0 = 0,77). Brandão et al. (2003) também verificaram acréscimo de fósforo durante o processo de filtração com materiais

orgânicos no tratamento de efluentes de suínos. A maior remoção obtida foi similar a verificada por Lo Monaco et al. (2014), que verificaram uma remoção de 22,2% de fósforo total ao utilizarem filtro de serragem de madeira no tratamento de esgoto doméstico.

Com a análise dos resultados do nitrogênio total, pode-se inferir que a etapa de filtração não foi eficaz mantendo as concentrações relativas ao longo do processo próximas a 1,0. O baixo rendimento dos filtros para este elemento pode estar relacionado a duração do processo, ou seja, a filtração de maiores volumes de ARB provavelmente promoveria melhores eficiências globais. Ao utilizarem pergaminho de grãos de café, Lo Monaco et al. (2011b) também observaram baixos rendimentos e até mesmo, incremento de nitrogênio total no efluente após o processo de filtração. Outros autores, porém, verificaram remoções maiores para o elemento, como Lo Monaco et al. 2014, que alcançaram 50% de remoção de nitrogênio no primeiro volume coletado. O teor nitrato em efluentes pecuários é geralmente baixo, visto que o nitrogênio se encontra predominantemente na forma amoniacal. No entanto, devido à alta mobilidade do elemento, seu monitoramento faz-se importante para prevenção de contaminação de águas subterrâneas. A remoção máxima de nitrato foi de 50,7% e ocorreu aos 30L ( $C/C_0 = 0,49$ ).

Ao final de 30L, foram verificadas as maiores retenções de K, Na e Mg pelas partículas de madeira e carvão vegetal. Valores médios de 24,3% ( $C/C_0 = 0,75$ ) de potássio, 18,6% ( $C/C_0 = 0,81$ ) de sódio e 16,4% ( $C/C_0 = 0,83$ ) de magnésio. O comportamento do potássio na passagem pelo filtro mostrou-se instável, apresentando remoção apenas no último volume do filtrado. Com relação ao sódio, apesar das oscilações, verificou-se uma tendência decrescente. Ao utilizarem serragem de madeira, Lo Monaco et al. (2014) verificaram que o filtro não removeu potássio e a maior remoção de sódio foi de 38%. Brandão et al. (2003) observaram que dentre os materiais orgânicos avaliados (Tabela 1), o fino de carvão vegetal não promoveu alteração nos teores de K e Na. Os mesmos autores verificaram que o magnésio não foi retido na filtragem com casca de frutos de cafeeiro, o bagaço de cana-de-açúcar, o sabugo de milho e o fino de carvão vegetal.

Na Figura 17 estão apresentados os modelos relacionando as concentrações relativas com o volume filtrado para os parâmetros químicos avaliados. Pode-se observar que o modelo polinomial de grau dois foi utilizado para explicar o comportamento dos parâmetros Nt, DQO e  $\text{NO}_3^-$ , enquanto modelos lineares adequaram-se melhor aos demais parâmetros. Os valores de potássio e sódio não possibilitaram a elaboração de um modelo matemático satisfatório, capaz de explicar o comportamento do elemento ao longo do processo. Apesar de baixas remoções para alguns parâmetros, a Figura 17 mostra uma tendência decrescente dos fatores químicos avaliados.



**Figura 17.** Valores de concentrações relativas dos parâmetros ao longo do processo de filtração DBO5 (A), DQO (B), N-total (C), N-NO3- (D), P – dissolvido (E), Mg (F), K (G) e Na (H).

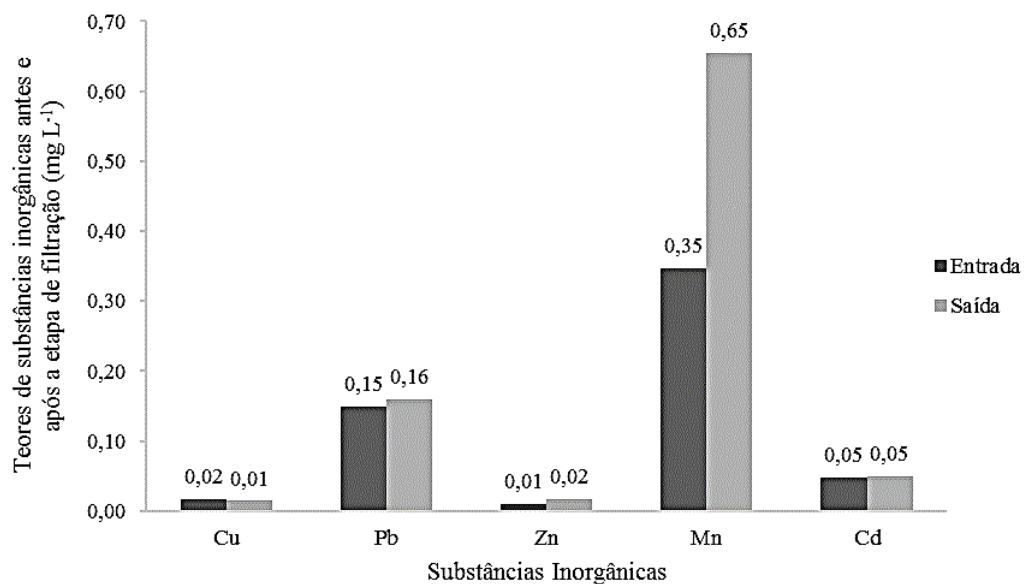
Os teores de substâncias inorgânicas foram quantificados ao longo do processo de filtração e os resultados estão apresentados na Tabela 12.

**Tabela 12.** Valores médios dos teores de substâncias inorgânicas ao longo do processo de filtragem da ARB com partículas de madeira e carvão vegetal.

Volume Filtrado (L)	Cu	Zn	Mn	Pb	Cd	Cr
	-----mg L <sup>-1</sup> -----					
5	0,022	0,479	1,372	0,190	0,051	-
10	0,017	0,011	0,347	0,150	0,049	-
15	0,016	0,031	0,866	0,145	0,051	-
20	0,014	0,020	0,621	0,165	0,050	-
25	0,018	0,027	0,573	0,160	0,049	-
30	0,015	0,016	0,655	0,160	0,050	-

Valores sinalizados com traço não foram detectados.

A análise dos resultados mostra que os valores permaneceram abaixo dos limites máximos estabelecidos nas legislações vigentes (BRASIL, 2011; INEA, 1986). A análise dos resultados apresentados na Tabela 12 permite inferir que a passagem da ARB pelas colunas constituídas de partículas de madeira *Corymbia citriodora* e carvão vegetal de eucalipto (*Eucaliptus* spp.), favoreceu o acréscimo de algumas substâncias inorgânicas nos primeiros volumes filtrados e uma tendência de diminuição ao longo do processo. A Figura 18 mostra os teores de substâncias inorgânicas na entrada (efluente pré tratado) e saída (aos 30L do processo de filtração).



**Figura 18.** Teores de substâncias inorgânicas antes e após o processo de filtração.

O aumento da concentração verificado na saída do efluente tratado possivelmente está relacionado a lixiviação dos elementos inorgânicos dos materiais filtrantes para o efluente. Huggins et al. (2016) enfatizam que esse fenômeno pode ocorrer e salientam a importância da análise elementar dos materiais filtrantes para evitar a redução da eficácia do processo.



## 5 CONCLUSÃO

As tecnologias de baixo custo de separação sólido-líquido, com uso de coagulante natural orgânico, e o processo de filtração, com uso de carvão vegetal, são eficientes sendo tecnicamente viáveis, sustentáveis e capazes de promover o tratamento a nível primário. Ambos os processos promoveram, ainda, melhoria na qualidade dos efluentes com a redução das concentrações de matéria orgânica e de nutrientes sendo, portanto, alternativas de baixo custo e indicadas para o tratamento de efluentes produzidos na bovinocultura de leite.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização dos efluentes da bovinocultura leiteira nos municípios de Seropédica e Valença mostrou que esses efluentes são altamente concentrados e apresentaram grande variabilidade entre essas unidades enfatizando que a adoção de sistemas de tratamentos deve atender a condições locais específicas das bacias hidrográficas onde estão inseridos. O estudo mostrou que existe grande potencial de aproveitamento agrícola desses resíduos que possuem elevados teores de matéria orgânica, nutrientes e teores de metais pesados abaixo dos limites máximos estabelecidos nas legislações federais e estaduais.

A adoção destas técnicas de tratamento a nível primário pode abater os custos de implantação de etapas posteriores e favorece alternativas ainda melhores do ponto de vista ambiental, como a reciclagem de nutrientes ou aproveitamento agrícola.

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- i. Desenvolvimento de um protótipo que permita avaliar o potencial de um sistema combinado utilizando as duas etapas avaliadas neste estudo em sequência, aplicando a doses adequadas do coagulante natural e filtros orgânicos com uso de carvão vegetal, em granulometrias menores;
- ii. Levantamento dos custos da implantação dos sistemas em escala real;
- iii. Filtros Orgânicos:
  - Avaliar de forma isolada o potencial do uso de carvão vegetal em filtros orgânicos com tempo de detenção hidráulica de 24h ou mais, possibilitando o desenvolvimento de um biofilme bacteriano capaz de ajudar na

bioregeneração de locais de adsorção, diminuindo a necessidade de troca do meio filtrante;

- Comparar a eficiência de filtros utilizando carvões carbonizados em diferentes temperaturas, avaliando a influência da porosidade no desempenho do sistema;
- Realização de análises de microscopia de varredura eletrônica (MEV) antes e depois do desenvolvimento da etapa de filtração;

iv. Coagulante Natural a base de extrato de Tanino:

- Estudos com o tanino comparando resultados em *Jar Test* e em escalas maiores, para definição da melhor dose a ser aplicada no tratamento de efluentes de bovinocultura de leite;
- Comparação do desempenho do uso do tanino de forma isolada e com adição de agentes de floculação;

v. Avaliação do potencial de uso agrícola dos subprodutos sólidos gerados em ambas técnicas, após tratamento de estabilização via compostagem termofílica, caracterizando-os de acordo com os parâmetros exigidos pelos órgãos competentes como fertilizante orgânico, condicionador de solos ou substrato.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8112 Carvão vegetal - Análise imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 5 p., 1983.

ALMEIDA, G. V. **Tratamento de Água Residuária de Bovinocultura de Leite, Utilizando Leitões Cultivados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

ANJOS, P. S. **Aplicação de sulfato de alumínio e taninos vegetais na coagulação-floculação de efluentes de curtume**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016

ASSIS, A. G.; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F.; GOMES, A. T.; ZOCCAL, R.; SILVA, M. R. **Sistemas de produção de leite no Brasil**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005, 6p. (Circular Técnica 85).

APHA - AMERICAM PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22ª Edição. New York: APHA, WWA, WPCR. 1496p. 2012.

BARRADAS, J. L. **TANINO Uma solução ecologicamente correta: Agente flocculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água**. Novo Hamburgo – RS, Brasil, 2004.

BRANDÃO, V.S.; MATOS, A.T.; FONTES, M.P.P.; MARTINEZ, M.A. **Retenção de poluentes em filtros orgânicos operando com águas residuárias da suinocultura**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.329-334, 2003.

BRASIL – CONAMA. Instrução Normativa 430 de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências**. Brasília – CONAMA.

BRASIL – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Pecuária de baixa emissão de carbono: Tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de bovinos de corte e leite em sistemas confinados**. Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. Brasília – MAPA, 88 p., 2018.

BRASIL – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **NOTA TÉCNICA: Diagnóstico da expansão da adoção da tecnologia de Tratamento de Dejetos Animais (TDA) no território brasileiro entre 2010 e 2019**. Brasília - MAPA, 50 p., 2019.

BRITO, EDVÁ OLIVEIRA. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* plantado no sul do Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

BUENO, C. I. C. e CARVALHO, W. A. **Remoção de chumbo (II) em sistemas descontínuos por carvões ativados com ácido fosfórico e com vapor**. Quím. Nova, v.30 n°8, São Paulo, 2007.

COELHO, E. R. C.; VAZZOLER, H.; LEAL, W. P. **Emprego do carvão ativado para remoção de atrazina em água de abastecimento público.** Eng Sanit Ambient, v.17, n.4, p. 421-428, 2012.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v. 7 - Safra 2019/20 - n. 5 - Quinto levantamento, Brasília, p. 1-25, fev 2020.

COUTO JUNIOR, O. M.; Ströher, A. P.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. **Caracterização e otimização do tratamento de efluente têxtil por coagulação-floculação, utilizando coagulante natural tanino.** Revista Ciências Exatas e Naturais, v.14, n 1, Jan/Jun 2012.

CRUZ, J. G. H. **Alternativas para a aplicação de coagulante vegetal a base de tanino no tratamento do efluente de uma lavanderia industrial.** Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

CRUZ, L. M. O.; STEFANUTTI, R.; CORAUCCI FILHO, B.; TONETTI, A. L. **Coconut shells as filling material for anaerobic filters.** Springer Plus, v. 2, 655, 2013.

CRUZ, L. M. O.; GOMES, B. G. L. A.; TONETI, A. L.; FIGUEIREDO, I. C. S. **Using coconut husks in a full-scale decentralized wastewater treatment system: The influence of an anaerobic filter on maintenance and operational conditions of a sand filter.** Ecological Engineering, v. 127, p. 454–459, 2019.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, A. M.; SOARES, V. W.; COSTA JÚNIOR, D. S.; FERREIRA, D. H. A. A.; LELES, P. S. S. **Potencial energético de sete materiais genéticos de Eucalyptus cultivados no Estado do Rio de Janeiro.** Sci. For., Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 833-843, dez. 2015.

DIAS, H. P.; PAIVA, D. S.; ROMÃO, W.; ENDRINGER, D. C. **Identificação de Polifenóis: Sequência Pedagógica para o Ensino Médio.** Rev. Virtual Quim., v. 6, n° 2, p. 467-477, 2014.

EMATER RJ – EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Relatório de atividades 2017.** Disponível em: <[http://www.emater.rj.gov.br/pdf/Relatorio\\_de\\_atividades2017.pdf](http://www.emater.rj.gov.br/pdf/Relatorio_de_atividades2017.pdf)>. Acesso em: julho de 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento semidetalhado dos solos da área do Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA) – km 47 – Seropédica, RJ.** Embrapa Solos, Rio de Janeiro, boletim de pesquisa, n. 5, 1999.

ERTHAL, V. J. T. et al. **Alterações físicas e químicas de um argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 467-477, maio 2010.

EVANGELISTA, S.; VICCIONE, G.; SIANI, O. **A new cost effective, long life and low resistance filter cartridge for water treatment.** Journal of Water Process Engineering, v. 27, p. 1–14, 2019.

FAO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias.** Ed.: José Roberto Borghetti, Washington L. C. Silva, Helder Rafael Nocko, Luís Nicolas Loyola, Gustavo Kauark Chianca. Brasília, 243 p., 2017.

- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons.** Ciência e Agrotecnologia, v. 38, p.109. 2014
- FRANCISCO, J.P.; SILVA, J.G.B.; NASCENTES, A. L.; BATISTA DA SILVA, L.D; FOLEGATTI. **Desempenho de filtros orgânicos com o uso de sementes de moringa oleífera LAM.** Irriga, Botucatu, v. 19, n.4, p. 705-713, 2014.
- GARCIA, R. A.; OLIVEIRA, N. S.; NASCIMENTO, A. M.; SOUZA, N. D. **Colorimetria de madeiras dos gêneros Eucalyptus e Corymbia e sua correlação com a densidade.** Cerne, v. 20, n. 4, p. 509-517, 2014.
- GEAY, M., MARCHETTI, V., CLÉMENT, A., LOUBINOUX, B. AND GÉRARDIN P., **Decontamination of synthetic solutions containing heavy metals using chemically modified saw dusts bearing poly acrylic acid chains.** Journal of Wood Science, v. 46, n° 4, 331-333, 2000.
- HUGGINS, T. M.; HAEGER, A., BIFFINGER, J. C.; REN, Z. J. **Granular biochar compared with activated carbon for wastewater treatment and resource recovery.** Water Research, v. 94, p.225 – 232, 2016.
- HUSSAIN, S., MANE, V., PRADHAN, V., FAROOQUI, M. **Efficiency of seeds of moringa Oleifera in estimation of water turbidity.** International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences, v. 3, n 3, p. 1334-1337, 2012.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal 2018.** ISSN 0101-4234, Rio de Janeiro, v. 46, p.1-8, 2019.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA. **Indicadores IBGE – Estatísticas da Produção Pecuária 2019.**
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico.** Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009. 5ª ed., 940 p.
- JUSTINA, D. M. **Aplicação de tanino vegetal como coagulante no tratamento de efluentes de laticínios e gestão do lodo para aplicação agrônômica.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.
- KATRIVESIS, F.K.; KARELA, A.D.; PAPADAKIS, V.G.; PARASKEVA, C.A. **Revisiting of coagulation-flocculation processes in the production of potable water.** Journal os Water Process Engineering, v 27, p. 193-204, 2019.
- KIEDRZYŃSKA, E.; URBANIAK, M.; KIEDRZYŃSKI, M.; JÓŻWIK, A.; BEDNAREK, A.; GAĞAŁA, I. & ZALEWSKI, M. **The use of a hybrid Sequential Biofiltration System for the improvement of nutrient removal and PCB control in municipal wastewater.** Science Reports, v. 7, article 5477, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05555-y>
- KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; BORTOLI, M. **Separação sólido-líquido em efluentes da suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.11, p.1220–1225, 2010.
- LO MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; JORDÃO, C.P.; CECON, P.R.; MARTINEZ, M.A. **Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, n.1, p.116-119, 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, v.17, n.6, p.473-480, 2009.

LO MONACO, P.A. V.; MATOS, A.T.; BRANDÃO, V.S. **Influência da granulometria dos sólidos triturados de sabugo de milho e bagaço de cana-de-açúcar como materiais filtrantes no tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.31, n.5, p.974-984, 2011a.

LO MONACO, P. A.; MATOS, A.T.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; 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, 2011b.

LO MONACO, P.A. V.; MATOS, A.T.; PEREIRA, M. S.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V.; BATISTA, A. P. S.; BAKER, S. A. A. **Efeito da adição de diferentes substâncias químicas no extrato de sementes de moringa utilizado como coagulante no tratamento de esgoto sanitário.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.34, n.5, p.1038-1048, 2013.

LO MONACO, P.A.; MATOS, A.T.; CACHALDORA, D. N.; EMMERICH, I. N. **Eficiência de materiais orgânicos filtrantes no tratamento de águas residuárias da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro.** In: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Anais, Vitória, p. 872 – 878, 2001.

LUCYK, N. et al. **Uso de coagulantes naturais no tratamento de coagulação/floculação de efluente proveniente de abatedouro de aves.** Revista Gest. Sust. Ambient., Florianópolis, n. esp, p.576-587, dez. 2015.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. **Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 472–478, 2006.

MAGALHÃES, M. A.; LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T. **Uso de filtros orgânicos na remoção de óleos e graxas presentes na água residuária de suinocultura.** Revista Engenharia na Agricultura, Viçosa, v. 21, n° 4, p. 387-395, 2013.

MATOS, A.T. **Tratamento de resíduos na pós-colheita do café.** In: BORÉM, F.M. (Ed.). Pós-colheita do café. Lavras: Ed. UFLA, 2008. cap. 6, p.159-202.

MELO, A. C. F. **Tratamento de água residuária de bovinocultura de leite, utilizando sistema de alagado construído cultivado com capim vetiver.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

MONTEIRO, J. M.; ALBUQUERQUE, U. P.; ARAÚJO, E. L.; AMORIM, E. L. C. **Taninos: uma abordagem da química à ecologia.** Quím. Nova, São Paulo, v. 28, n°5, 892-896, 2005.

NEVES, K. M. Estudo comparativo de classificação da madeira de *Corymbia citriodora* por RMN de <sup>13</sup>C. Monografia (Conclusão do curso de Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e a população mundial.** Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/populacao-mundial/>. Acesso em 26 de fevereiro de 2020.

OKUDA T., BAES, A. U., NISHIJIMA, W., OKADA M. **Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa oleifera seed.** Journal Water Science, v. 33, nº 15, p. 3373- 3378, 1999.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell.** Sci. For., Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

OLIVEIRA, A. P. S.; PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B. **Avaliação do tratamento da água residuária da suinocultura utilizando filtro orgânico constituído de bagaço de cana-de-açúcar.** Revista Virtual de Química, v. 9, nº. 5, 2017.

OLIVEIRA, A. P. S. **Tratamento da água residuária da suinocultura utilizando filtro orgânico e digestão aeróbia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

POLASEK, P. E MUTI, S. **Optimisation of reaction conditions of particle aggregation in water purification—back to basics.** Water SA, v. 31, nº 1, p. 61–72, 2005.

POVINELLI, J.; MARTINS, F. **Pesquisa sobre a eficiência de filtros lentos em unidades-piloto.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7, 1973, Salvador, BA. Separata. São Carlos: EESC - USP, 1973.

RODRIGUES, M. F.; GERBER, M. D.; SANTOS, L. B.; CERQUEIRA, V. S. **Avaliação da eficiência de coagulantes e floculantes na remoção de fósforo em efluentes de frigorífico de suínos.** In: XXV Congresso de Iniciação Científica, 2016, Pelotas. Anais do XXV Congresso de Iniciação Científica, 2016.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. **Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto.** Ciência Florestal, v. 15, n. 1, 2005.

SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. V.; TREVISAN, V. **Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC.** Rev. Ambient. Água, vol. 9, n. 4, Taubaté, 2014.

SIEBENEICHLER, E. A. **Características físicas e químicas do carvão de eucalipto (*Eucalyptus cloeziana*).** Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

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. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SILVA, J. B. G.; MARTINEZ, M. A.; PIRES, C. S.; ANDRADE, I. P. S.; SILVA, G. T. **Avaliação da condutividade elétrica e pH da solução do solo em uma área fertirrigada com água residuária de bovinocultura de leite.** Irriga (UNESP. CD-ROM), v. 1, p. 250, 2012.

SOUSA, T. B. **Uso de taninos de espécies florestais no tratamento de água para abastecimento.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SOUZA, B. F. B.; CIRCUNVIS, B. C.; SOUZA, M. C. C.; PICCOLI, K. R. **Aplicação da moringa oleífera como coagulante no Tratamento de efluente simulado de laticínio.** Revista Ciências Biológicas e da Saúde, Ponta Grossa, v.23, n.2, p. 118-125, jul./dez. 2017.

TARÓN-DUNOYER, A.A.; GUZMÁN-CARRILLO, L. E.; BARROS-PORTNOY, I. Evaluación de la Cassia fistula como coagulante natural en el tratamiento primario de aguas residuales. ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia v. 21 - No 1 - Año 2017.

THAKUR, S. S. E CHOUBEY, S. **Use of Tannin based natural coagulants for water treatment: An alternative to inorganic chemicals.** International Journal of ChemTech Research, v.6, No.7, pp 3628-3634, 2014.

THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S.; NETO, S. A. **Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino.** R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.15, n.3, p.302–309, 2011.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Brazil, Dairy and Products Annual, Annual Dairy Report.** 2016. Disponível em: <[https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publicatinos/Dairy%20and%20Products%20Annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_10-20-2016.pdf](https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publicatinos/Dairy%20and%20Products%20Annual_Brasilia_Brazil_10-20-2016.pdf)>. Acesso em: 13 jan 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Editora UFMG, v.1, 4 ed., 2014.

Wang, H., Ren, Z. **Bioelectrochemical metal recovery from wastewater: a review.** Water Res, vol 66, p. 219 – 232, 2015.

WU, J.; CAO, X.; ZHAO, J.; DAI, Y.; CUI, N.; LI, Z.; CHENG, S. **Performance of biofilter with a saturated zone for urban stormwater runoff pollution control: Influence of vegetation type and saturation time.** Ecological Engineering, v. 105, p.355–361, 2017.

ZANIN, C. I. C. B.; FIGUEIREDO, F. C. A.; CARVALHO, W. A. **Remoção de chumbo (II) em sistemas contínuos por carvão ativado com vapor.** Quím. Nova, vol.32 n° 9, São Paulo, 2009.

ZOCCAL, R. **Leite nas grandes regiões brasileiras.** In: Anuário Leite 2019: novos produtos e novas estratégias da cadeia do leite para ganhar competitividade e conquistar os clientes finais. MARTINS, P. C.; ZOCCAL, R.; RENTERO, N.; ALBUQUERQUE, A. (Coord.) Embrapa Gado de Leite, pág 55 – 58, 2019. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198698/1/Anuario-LEITE-2019.pdf>>. Acesso em: 13 jan 2020.



## ANEXO

**Quadro 3.** Análises estatísticas fornecidas pelo software Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014) para a fração líquida resultado da separação sólido-líquido utilizando coagulante natural da água residuária da bovinocultura de leite.

-----					
Variável analisada: PH					
Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)					
-----					
TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
-----					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
-----					
TRATAMENTO	2	1.281350	0.640675	250.972	0.0000
REP	3	0.008358	0.002786	1.091	0.4220
erro	6	0.015317	0.002553		
-----					
Total corrigido	11	1.305025			
-----					
-----					
CV (%) =	0.83				
Média geral:	6.0725000	Número de observações:	12		
-----					
-----					
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO					
-----					
DMS: 0,109576995332821 NMS: 0,05					
-----					
Média harmônica do número de repetições (r): 4					
Erro padrão: 0,0252625106520402					
-----					
Tratamentos		Médias		Resultados do teste	
-----					
2		5.620000		a1	
3		6.217500		a2	
1		6.380000		a3	
-----					
<b>Condutividade elétrica (CE)</b>					
-----					
Variável analisada: CE_					
Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)					
-----					
TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA					
-----					
FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
-----					
TRATAMENTO	2	0.481867	0.240933	219.030	0.0000
REP	3	0.005425	0.001808	1.644	0.2763
erro	6	0.006600	0.001100		
-----					
Total corrigido	11	0.493892			
-----					

CV (%) = 1.95  
Média geral: 1.7008333 Número de observações: 12

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO  
-----

DMS: 0,0719298616394929 NMS: 0,05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 0,016583123951777  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
1	1.447500	a1
3	1.717500	a2
2	1.937500	a3

-----

### **Fósforo (dissolvido)**

-----  
Variável analisada: P\_DISSOLVI

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)  
-----

#### TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	2	256.359017	128.179508	38.470	0.0004
REP	3	9.405292	3.135097	0.941	0.4775
erro	6	19.991783	3.331964		

-----

Total corrigido 11 285.756092  
-----

CV (%) = 8.86  
Média geral: 20.6108333 Número de observações: 12  
-----

-----  
Teste Tukey para a FV TRATAMENTO  
-----

DMS: 3,95879511163203 NMS: 0,05  
-----

Média harmonica do número de repetições (r): 4  
Erro padrão: 0,912683391008197  
-----

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	15.210000	a1
3	20.122500	a2
1	26.500000	a3

-----

### **Demanda química de oxigênio (DQO)**

Variável analisada: DQO\_

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	2	58003033.118717	29001516.559358	47.793	0.0002
REP	3	2721240.790825	907080.263608	1.495	0.3084
erro	6	3640927.515350	606821.252558		

Total corrigido 11 64365201.424892

CV (%) = 29.98

Média geral: 2597.9758333 Número de observações: 12

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 1689,44194927656 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4

Erro padrão: 389,493662515301

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
3	693.215000	a1
2	1422.142500	a1
1	5678.570000	a2

**Cor verdadeira**

Variável analisada: COR

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	2	56962.500000	28481.250000	16.054	0.0039
REP	3	5270.916667	1756.972222	0.990	0.4584
erro	6	10644.833333	1774.138889		

Total corrigido 11 72878.250000

CV (%) = 43.09

Média geral: 97.7500000 Número de observações: 12

Teste Tukey para a FV TRATAMENTO

DMS: 91,3496084476432 NMS: 0,05

Média harmonica do número de repetições (r): 4

Erro padrão: 21,0602640587012

Tratamentos	Médias	Resultados do teste
2	14.000000	a1
3	96.500000	a1 a2
1	182.750000	a2