

EFICIÊNCIA DO SISTEMA ALAGADO CONSTRUÍDO NA REMOÇÃO DE SÓLIDOS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE AGROINDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS

Sanduel Oliveira de Andrade ¹

Thadeu Formiga Rosendo ²

Aline Rodrigues da Silva ³

Andréa Maria Brandão Mendes de Oliveira ⁴

Osvaldo Soares da Silva ⁵

RESUMO

As agroindústrias têm contribuído significativamente para o desenvolvimento econômico de diversas regiões do Brasil, em especial, da região Nordeste, fazendo com que o produtor rural permaneça no campo, mitigando um fenômeno conhecido como êxodo rural, que tem ocorrido desde o início do período pós-industrial. A maioria destes empreendimentos agroindustriais são de pequeno porte e de âmbito familiar, onde muitos não dispõem de um aporte financeiro e tecnológico para o gerenciamento dos resíduos gerados durante a cadeia produtiva, nos quais incluem as águas residuárias. Estas, caso lançadas diretamente no meio ambiente, pode provocar sérios impactos ambientais negativos, como a eutrofização de mananciais hídricos. Neste viés, através deste estudo, buscou-se avaliar o desempenho de um Sistema Alagado Construído na remoção da fração sólida neste tipo de efluente. A fração sólida pode ser composta de material presente no efluente, com exceção dos gases. A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal de Campina Grande, onde foi confeccionado um sistema composto com um biodigestor e dois segmentos vegetados, utilizando espécies nativas da região e de fácil obtenção para análises laboratoriais de turbidez, sólidos totais, fixos e voláteis. O sistema conseguiu reduzir significativamente os sólidos presentes no efluente, exceto os sólidos fixos, problema este que pode ser sanado realizando ajustes ao sistema. No geral, o SAC pode ser usado, com eficiência, na remoção da fração sólida em efluentes agroindustriais.

Palavras-chave: Saneamento, Tratamento de Esgoto, Agroindústria Familiar.

INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial brasileiro tem sido cada vez mais relevante no desenvolvimento brasileiro, em especial da região Nordeste brasileira, em virtude do elevado número de agroindústrias familiares. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas destaca que o Brasil possui 5.073.324 estabelecimentos agropecuários, sendo que 1.527.056 possuem agroindústrias

¹Doutorando do Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, prof.sanduelandrade@gmail.com;

²Graduando do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, thadeuform@gmail.com;

³Graduanda do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, alineeeeeer@gmail.com;

⁴Professora Pós-Dra. em Saneamento - Tratamento e Qualidade de Água e Efluente. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, prof.andreabrandao@gmail.com;

⁵Professor orientador. Doutor em Engenharia Química. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, osvaldo@ccta.ufcg.edu.br.

e que 1.311.830 são considerados como familiares, ou seja, 86% das agroindústrias instaladas em território nacional são empreendimentos familiares (IBGE, 2017).

No interior do Nordeste, ganham destaque as agroindústrias de laticínios, com produção de leite pasteurizado, queijos, iogurtes, bebidas lácteas, manteiga, requeijão, dentre outros. Estas agroindústrias fomentam a economia local, agregando valor a produção local, além de diminuir a taxa de êxodo rural, mitigando problemas com superlotações em áreas urbanas.

Entretanto, grande parte destas agroindústrias não possui um projeto adequado de gerenciamento dos resíduos gerados, a exemplo das águas residuárias que são ricas em matéria orgânica e minerais, a exemplo do sódio. Geralmente, os efluentes gerados no decorrer da cadeia produtiva são lançados diretamente no meio ambiente, sem nenhum tratamento. Esta prática poderá acarretar inúmeros efeitos adversos ao meio, tal como, a contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos e/ou superficiais, mediante percolação ou lixiviação destes contaminantes presentes no efluente, intensificando o processo de eutrofização deste corpo hídrico, inviabilizando o desenvolvimento de boa parte da biota local.

O aporte financeiro da maioria destas agroindústrias e as distâncias entre elas não permitem a instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto convencional e coletiva. Com isso, se faz necessário a adoção de técnicas de tratamento que sejam menos onerosas ao agricultor familiar e ao mesmo tempo, eficientes na redução da carga poluente dos efluentes gerados. Neste contexto, se destacam os Sistemas Alagados Construídos – SACs e que tornam uma opção viável e eficiente, com baixo custo de implantação e manutenção, bem como, uma boa taxa de remoção de poluentes (LAAFFAT et al., 2015; WANG et al., 2017; JI et al., 2020). Os SACs simulam um ambiente natural de pântano e utilizam macrófitas para auxiliar na remoção de determinados poluentes, além de atuarem como um filtro mecânico e biológico em virtude dos substratos utilizados, a exemplo do solo e brita.

Alguns parâmetros são utilizados para avaliar o desempenho do sistema de tratamento, dentre os quais, destacam os Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis. Uma forma eficiente de remoção destes parâmetros em efluentes agroindustriais consiste em um biodigestor associado a um SAC, cultivado com espécies adaptadas e de alta incidência na região. Diante do exposto, esta pesquisa teve por finalidade avaliar a eficiência de um SAC no processo de remoção da série de sólidos em efluentes agroindustriais de laticínios. O sistema foi confeccionado em escala piloto nas dependências da Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Pombal. Os resultados destacam que houve uma considerável redução, em especial, nos sólidos totais. Contudo, alguns ajustes podem ser realizados para atenuar a concentração de

sólidos fixos, que correspondem especialmente a sais inorgânicos presentes no efluente e no substrato do biodigestor.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no período de janeiro a março de 2021 nas dependências da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus de Pombal-PB. Na ocasião, foi confeccionado um sistema composto por um biodigestor e dois segmentos de lagoas vegetadas.

O biodigestor possuiu uma capacidade de 25 litros, confeccionadas a partir de dois recipientes de PVC com capacidade de 30 litros cada, conforme visto na Figura 1A. Cada recipiente foi seccionado aproximadamente ao meio e partes inferiores unificadas. No interior do biodigestor ainda foram adicionados fragmentos de eletrodutos flexíveis corrugados, de aproximadamente 8 cm de comprimento e 25 mm de diâmetro, que serviu para aumentar a área superficial do biofilme, conforme destaca a Figura 1B.

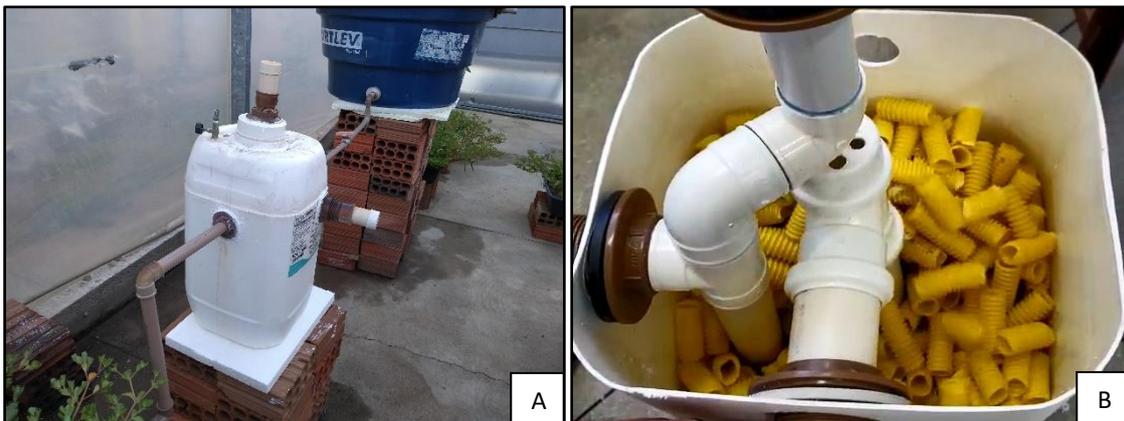


Figura 1. A. Interior do biodigestor com destaque para os eletrodutos flexíveis. B. Biodigestor em operação.
Fonte: Autor (2021).

O fluxo hídrico para o biodigestor foi controlado fazendo uso de um reservatório de capacidade de 250 litros, conforme ilustra a Figura 2. O tempo de retenção hídrica no biodigestor foi de 10 dias. Para favorecer o recrudescimento microbiológico foi inserido 50 ml de esterco bovino diluído na proporção de 1:1.



Figura 2. Reservatório utilizado para controle de vazão do efluente para o biodigestor. Fonte: Autor (2021).

Ao sair do biodigestor, o efluente seguiu para as lagoas que compõem o SAC, que possuíram dois leitos em sequência, em escala de laboratório, sendo o primeiro de fluxo ascendente e o segundo de fluxo descendente, com dimensões de 62 cm de comprimento, 38 cm de largura, 15 cm de altura e com capacidade de 20 litros cada segmento, preenchido com uma camada de 8 cm de brita comercial n. 0 e uma camada de 6 cm de solo, mostrada na Figura 3. Em cada leito foi adicionado, no centro, pontos para verificação do nível hídrico. O tempo de retenção do efluente nas lagoas foi de 48 horas.



Figura 3. Sistema Biodigestor + SAC. Fonte: Autor (2021).

No primeiro segmento da lagoa foi utilizada a espécie *Eichhornia crassipes* (Mart.), conhecida popularmente na região como aguapé, destacada na Figura 4A, e *Portulaca oleracea* L., conhecida como beldroega no segundo segmento, conforme mostra a Figura 4B. A espécie *Eichhornia crassipes* (Mart.), por ser aquática, foi coletada no rio Piancó, cujo trecho perpassa pelo município de Pombal-PB. A espécie *Portulaca oleracea* L. foi cultivada em sementeira e transplantada aos 21 dias após a germinação.



Figura 4. A. Primeiro segmento do SAC com a espécie *Eichhornia crassipes* (Mart.). B. Segundo segmento com *Portulaca oleracea* L. Fonte: Autor (2021).

Para avaliar o desempenho do SAC foi realizada uma coleta semanal, durante três semanas, no horário matutino, no ponto de entrada do efluente bruto, na saída do biodigestor, na saída do primeiro segmento da lagoa e ao final do processo, preservados adequadamente quando necessário e enviadas ao laboratório para as devidas análises. Os parâmetros avaliados foram: Temperatura Ambiente (TA), Temperatura do Efluente (TE), Umidade Relativa (UR), Irradiância Solar (IS), Turbidez (TB), Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF) e Sólidos Voláteis (SV). Foram utilizados os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (BAIRD, 2017). Os dados foram submetidos à comparação de médias mediante teste Tukey a 5% de probabilidade, com o software Sisvar 5.7.

REFERENCIAL TEÓRICO

Medina et al. (2015) destacam que 98% das propriedades agrícolas existentes pelo mundo são de característica familiar, possuindo grande relevância para a economia local e valorizando os insumos produzidos na região. Este tipo de empreendimento tem evitado que o homem do campo migre para os centros urbanos, agravando a vulnerabilidade social pela escassez de vagas no mercado de trabalho (WAQUIL; FISHER, 2012).

Na região Nordeste brasileira tem se destacado as agroindústrias de laticínios. No período de 1997 a 2019, a produção brasileira de leite inspecionado cresceu 133,96%, atingindo seu ápice no ano de 2014, com 27,72 bilhões de litros (IBGE, 2020). Só a região Nordeste do Brasil produziu 3,89 bilhões de litros de leite no ano de 2019, equivalente a 11,6% do leite nacional (EMBRAPA, 2019).

Com o aumento da produção agroindustrial também tem aumentando a geração de resíduos gerados, em especial as águas residuárias. No contexto das agroindústrias de laticínios,

Carvalho et al. (2015) afirmam que seus efluentes geralmente são compostos de leite (ou soro de leite) e água de limpeza dos utensílios, maquinários e instalações, sendo caracterizados por alta concentração de material orgânico e inorgânico, este último, devido ao uso do cloreto de sódio na produção do queijo.

Como a maioria desses empreendimentos são de pequeno porte, o produtor rural não dispõe de condições financeiras e operacionais para implantação de um sistema de tratamento de esgoto. Até mesmo a instalação de um ETE coletiva se torna inviável no meio rural devido à distância geográfica entre as agroindústrias. Nesse contexto, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas eficientes e de baixo custo a fim de evitar que os efluentes gerados durante a cadeia produtiva sejam lançados diretamente ao solo, provocando contaminação dos mananciais hídricos subterrâneos ou superficiais. Cardoso et al. (2012) reforçam que a etapa de regularização sanitária consiste como sendo a mais difícil para o produtor familiar formalizar seu empreendimento agroindustrial, o que obriga a muitos a operarem na informalidade.

Para mitigar esta problemática, uma tecnologia utilizada em diversas regiões do planeta é a que utiliza espécies vegetais para remoção de nutrientes em água, conhecida por Sistemas Alagados Construídos (SACs). O Sistema Alagado Construído, ou *Constructed Wetland*, em inglês, consiste em uma área alagada construída artificialmente no intuito do controle do potencial poluidor de diversas cargas poluentes visando o tratamento de efluentes urbanos, rurais, domésticos e industriais.

Von Sperling (2014) salienta que, com exceção dos gases dissolvidos, todos os contaminantes presentes no efluente contribuem para a carga de sólidos. A série de sólidos pode ser classificados levando em consideração suas características físicas, apresentando-se de forma suspensa, em estado coloidal e dissolvidos. Ainda podem ser classificados mediante suas características químicas em sólidos orgânicos e inorgânicos. Metcalf e Eddy (2016) salientam que os Sólidos Suspensos Totais (SST) consistem em um dos padrões mais utilizados para avaliar o desempenho dos sistemas de tratamentos para fins regulamentares de controle. Em sistemas de tratamento de esgoto que adotam algum tipo de desinfecção, como o cloro, ozônio ou UV, as partículas sólidas podem atuar como proteção a microrganismos patogênicos, através de um fenômeno conhecido como “efeito escudo”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto as condições climáticas, percebeu-se que não houve diferenças consideráveis do decorrer do tratamento, conforme mostra a Tabela 1. A temperatura ambiente apresentou uma

variação entre 30,5 e 31,8 °C, típicas da região de estudo. Já a temperatura do efluente foi levemente menor que a temperatura ambiente, variando entre 30 e 30,9 °C. A temperatura se torna um parâmetro relevante por atuar diretamente no metabolismo dos microrganismos e na taxa fotossintética das espécies vegetais presentes nos SACs. Temperaturas mais baixas podem retardar a degradação da matéria orgânica pelos microrganismos, o que pode acarretar em um maior tempo de retenção hídrica, tanto no Biodigestor quanto nos SACs.

A umidade relativa variou entre 28 e 36%. Essa leve alteração no momento da coleta nos SACs se deu em virtude de tímidas precipitações ocorridas no dia anterior a coleta, o que contribuiu também para uma leve redução da temperatura ambiente e do efluente em relação ao efluente bruto e ao biodigestor, coletados em dias diferentes. Com relação a irradiância solar, houve uma variação entre 549,4 e 636,6 W.m⁻². Este parâmetro pode influenciar na taxa fotossintética das plantas. Para Grameiro et al. (2011), a baixa incidência de luz pode provocar alterações na biota de duas formas, a primeira atua regulando a biomassa máxima atingível no sistema e a segunda, estimulando a aclimatação fisiológica às condições de pouca luz.

Tabela 1. Média das condições climáticas apresentadas no local do experimento.

PARÂMETROS	ETAPAS			
	BRT	BIO	SAC1	SAC2
Temperatura ambiente (°C)	31,8	31,3	30,5	30,5
Temperatura do efluente (°C)	30,9	30,5	30	30
Umidade Relativa (%)	33,5	28	36	36
Irradiância Solar (W.m ⁻²)	549,4	617,8	636,6	636,6

BRT – efluente bruto; BIO – efluente do biodigestor; SAC1 – primeiro segmento da lagoa; SAC2 – segundo segmento da lagoa. Fonte: Autor (2021).

A Tabela 2 mostra os resultados dos parâmetros físico-químicos avaliados. No tocante a turbidez, foi possível perceber uma redução significativa do efluente bruto em relação ao efluente final tratado, diferindo estatisticamente em cada etapa do tratamento.

A redução da turbidez foi da ordem de 94,6% no efluente final em comparação com o efluente bruto. Só o biodigestor foi responsável pela redução de 75,3% da turbidez, que pode ser explicado pela degradação microbiológica da fração orgânica da turbidez, bem como, na decantação natural de partículas mais densas, acumulando junto ao lodo que é descartado periodicamente.

Tabela 2. Análise estatística dos parâmetros Turbidez, Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis.

ETAPAS	PARÂMETROS			
	TB (NTU)	ST mg.L ⁻¹	SF mg.L ⁻¹	SV mg.L ⁻¹
BRT	1037,7 a	2,32 a	0,21 b	2,11 a
BIO	256,0 b	1,35 b	0,30 a	1,05 b
SAC1	110,0 c	1,14 c	0,36 a	0,78 c
SAC2	56,0 d	1,07 c	0,33 a	0,74 c
CV (%)	2,91	3,08	8,69	2,39

BRT – Efluente Bruto; BIO – Efluente do Biodigestor; SAC1 – Efluente da lagoa 01; SAC2 – Efluente da lagoa 2. CV – Coeficiente de Variação. TB – Turbidez; ST – Sólidos Totais; SF – Sólidos Fixos; SV – Sólidos Voláteis. Médias seguidas por letras minúsculas iguais nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey considerando o valor nominal de significância de 5%. Fonte: Autor (2021).

Já os SACs reduziram 78,1% do efluente oriundo do biodigestor, mostrando que também contribuíram significativamente para redução deste parâmetro, conforme destaca a Figura 5. Sanchez et al. (2018) também relataram reduções significativas deste parâmetro em SACs com vegetação. A turbidez em ambientes aquáticos pode reduzir a taxa fotossintética de espécies aquáticas, podendo comprometer seu desenvolvimento (GRAMEIRO et al., 2011).

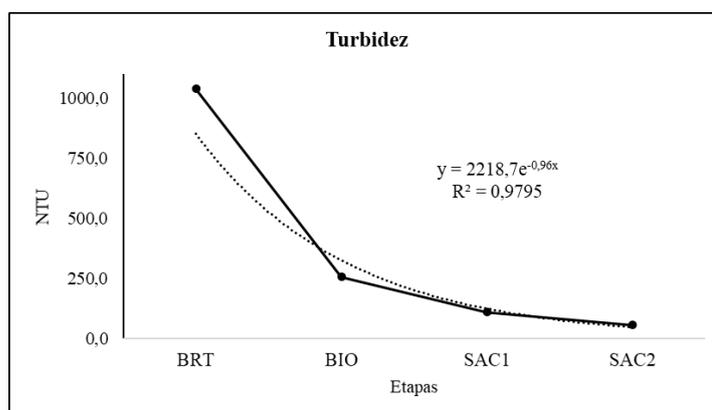


Figura 5. Variação da turbidez no decorrer das etapas de tratamento utilizando linha de tendência exponencial. Fonte: Autor (2021).

Com relação a série de sólidos, foi possível observar uma redução significativa nos Sólidos Totais, tanto no biodigestor quanto nas lagoas, reduzindo em 53,9% no efluente final. Já Koottatep et al. (2021) obtiveram índices de reduções maiores de 70% em sólidos totais em SACs. Só no biodigestor a redução foi de 41,8%. Boa parte dos sólidos fora removido no biodigestor, demonstrando que grande parte da fração sólida era de origem orgânica, confirmado pelo parâmetro Sólidos Voláteis, que obteve um comportamento proporcional, conforme ilustra a Figura 6, onde houve uma redução significativa no biodigestor e nas lagoas, obtendo uma remoção de 64,9% em comparação ao efluente bruto.

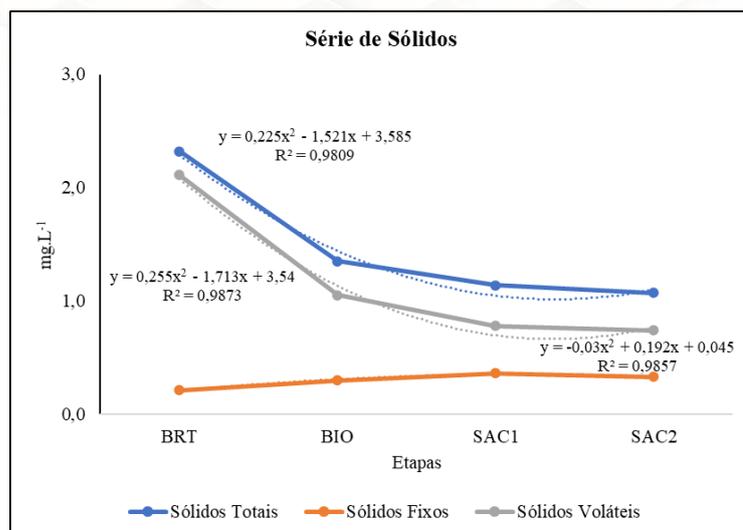


Figura 6. Variação da série de sólidos ao longo do tratamento, utilizando linha de tendência polinomial. Fonte: Autor (2021).

Já os sólidos fixos se comportaram de maneira contrária, aumentando sua concentração no biodigestor e não diferindo das lagoas, mostrando uma acumulação de sais inorgânicos, provavelmente devido ao esterco bovino inserido no biodigestor, fenômeno ressaltado por Nurmi e Harahap (2019) e Tokita et al. (2020) onde relataram que o alto teor de sal no esterco bovino é resultado do sal adicionado à dieta, usado como transportador de aditivos nutricionais para um bom desenvolvimento do rebanho. A taxa de elevação deste parâmetro foi de 36,4% em relação ao efluente bruto. O tempo de retenção nas lagoas poderia mitigar esta problemática, contudo, pela escala do sistema, caso aumente o período de retenção, haverá perdas significativas no volume hídrico devido a evapotranspiração.

CONCLUSÕES

O SAC se mostrou eficiente na remoção da fração sólida, com exceção dos sólidos fixos, que pode ser ajustado reduzindo a concentração de esterco bovino no biodigestor e elevar o tempo de retenção nas lagoas, bem como, utilizar espécies com alta possibilidade de bioacumulação de sais. No geral, em virtude do baixo custo de implantação e usar espécies que podem ser encontradas facilmente na própria comunidade rural, este sistema pode ser aplicado em agroindústrias familiares localizadas em pequenas comunidades rurais.

REFERÊNCIAS

BAIRD, R. B.; RICE, C. E.; EATON, A. D. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23rd. ed. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association, Washington, 2017.

CARDOSO, F. L. A. A “*Via Crucis*” para a legalização da agroindústria alimentar: impacto social da legislação sanitária na agricultura familiar. 2012. 236 f., il. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

EMBRAPA. **Anuário Leite 2019**. Texto Comunicação Corporativa. Embrapa Gado de Leite. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/198698/1/anuario-leite-2019.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2021.

GAMEIRO, C.; ZWOLINSKI, J.; BROTAS, V. Light control on phytoplankton production in a shallow and turbid estuarine system. **Hydrobiologia**, v. 669, n. 1, p. 249-263, 2011.

IBGE. **Atlas do Espaço Rural Brasileiro**. Brasília, 2020, p. 137-153. Disponível em: <biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101773_cap4.pdf>. Acesso em: 25 set. 2021.

IBGE. **Pesquisa trimestral do leite**. 2020. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21121-primeiros-resultados-2leite.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 24 set. 2021.

JI, B.; ZHAO, Y.; VYMAZAL, J.; QIAO, S.; WEI, T.; LI, J.; MANDER, Ü. CAN subsurface flow constructed wetlands be applied in cold climate regions? A review of the current knowledge. **Ecological Engineering**, v. 157, p. 105992, 2020.

KOOTTATEP, T.; PUSSAYANAVIN, T.; KHAMYAI, S.; POLPRASERT, C. Performance of novel constructed wetlands for treating solar septic tank effluent. **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 142447, 2021.

LAAFFAT, J.; OUZZANI, N.; MANDI, L. The evaluation of potential purification of a horizontal subsurface flow constructed wetland treating greywater in semi-arid environment. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 95, p. 86-92, 2015.

MEDINA, G.; ALMEIDA, C.; NOVAES, E.; GODAR, J.; POKORNY, B. Development conditions for family farming: lessons from Brazil. **World Development**, v. 74, p. 386-396, 2015.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5. ed. AMGH editora, Porto Alegre, 2016.

NURMI, A.; HARAHA, M. F. Palatability Test of Mineral Herbal Blocks on Performans of Local Sheep. **Indonesian Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 2, p. 1-7, 2019.

SANCHEZ, A. A.; FERREIRA, A. C.; STOPA, J. M.; BELLATO, F. C., JESUS, T. A.; COELHO, L. H. G.; BENASSI, R. F. Organic matter, turbidity, and apparent color removal in planted (*Typha* sp. and *Eleocharis* sp.) and unplanted constructed wetlands. **Journal of Environmental Engineering**, v. 144, n. 10, p. 06018007, 2018.

TOKITA, N.; YOSHIMURA, I.; TOKITA, T. Feeding behavior and dry matter digestibility in sheep fed first and second cut reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.). **Indian Journal of Animal Research**, v. 54, n. 3, p. 327-330, 2020.

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

WANG, M.; ZHANG, D. Q.; DONG, J. W.; TAN, S. K. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate. A review. **Journal of Environmental Sciences**, v. 57, p. 293-311, 2017.

WAQUIL, P. D.; FISHER, A. A agroindustrialização como forma de contenção do êxodo rural The agro-industrialization as a way for restraint rural exodus. **Revista Economia & Gestão**, v. 12, n. 28, p. 33, 2012.