

POTENCIAL ENERGÉTICO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DE EFLUENTE DE ABATEDOURO BOVINO UTILIZANDO DIFERENTES COAGULANTES

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.V-002>

Victor Manuel Lustoza Rotta (*), Eliane Hermes, Sara Arruda Franciozi, Mariana Corrêa e Silva Araújo

* Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina; e-mail: victor.rotta99@gmail.com

RESUMO

Os processos relacionados às indústrias frigoríficas demandam um elevado volume de água, sobretudo para atender aos padrões da legislação sanitária, e geram em consequência um grande volume de efluentes, com alta carga de matéria orgânica e poluentes, que demandam um tratamento específico. Um dos métodos utilizados no tratamento destes efluentes é o processo de coagulação-floculação, que gera um novo resíduo ao final do tratamento, o lodo, que necessita de uma destinação adequada. Diante disso, o objetivo desse estudo foi a avaliação do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluente de abatedouro bovino utilizando diferentes coagulantes. O efluente utilizado foi coletado em um frigorífico localizado na região Noroeste do Paraná e encaminhado para o Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da UFPR - Setor Palotina para caracterização. Foram realizados ensaios de coagulação/floculação com cinco coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio, tanino SG, tanino SH e Acquapol S5T, em cinco diferentes concentrações: 150, 300, 450, 600 e 750 mg L⁻¹. Após o tratamento de coagulação/floculação, o lodo gerado foi submetido ao processo de secagem em estufa para posterior quantificação. Em seguida, o lodo seco foi macerado com auxílio de almofariz e pistilo para homogeneização das amostras, sendo estas armazenadas em frascos plásticos para posterior análise do potencial energético. Para análise imediata todos os coagulantes produziram materiais com elevado teor de voláteis (75 - 91%) em relação aos teores de carbono fixo (2 - 12%) e cinzas (5 - 12%). Para o PCS, o coagulante que apresentou maior valor foi o tanino SG 600 mg L⁻¹, com 31,69 MJ/g. Em relação a MEV observou-se nas imagens partículas lamelares de distintos tamanhos. Devido ao alto teor de materiais voláteis, alto poder calorífico, e em razão do baixo índice de cinzas, constata-se que o lodo de frigorífico do presente estudo possui alto potencial energético.

PALAVRAS-CHAVE: Bioenergia; Biomassa residual, Coagulação/floculação.

ABSTRACT

The processes related to slaughterhouses demand a high volume of water, especially to meet the standards of sanitary legislation, and consequently generate a large volume of effluents, with a high load of organic matter and pollutants, which require specific treatment. One of the methods used in the treatment of these effluents is the coagulation-flocculation process, which generates a new residue at the end of the treatment, the sludge, which needs an adequate destination. Therefore, the objective of this study was to evaluate the energy potential of the sludge generated in the physical-chemical treatment of effluent from a bovine slaughterhouse using different coagulants. The effluent used was collected from a slaughterhouse located in the Northwest region of Paraná and sent to the Laboratory of Analytical Chemistry and Environmental Analysis of UFPR - Palotina Sector for characterization. Coagulation/flocculation assays were performed with five coagulants: ferric chloride, aluminum sulfate, tannin SG, tannin SH and Acquapol S5T, at five different concentrations: 150, 300, 450, 600 and 750 mg L⁻¹. After the coagulation/flocculation treatment, the generated sludge was subjected to a drying process in an oven for further quantification. Then, the dry sludge was macerated with the aid of a mortar and pestle to homogenize the samples, which were stored in plastic bottles for later analysis of the energy potential. For immediate analysis, all coagulants produced materials with high volatile content (75 - 91%) in relation to fixed carbon (2 - 12%) and ash (5 - 12%) contents. For PCS, the coagulant that presented the highest value was tannin SG 600 mg L⁻¹, with 31.69 MJ/g. With regard to scanning electron microscopy (SEM), lamellar particles of different sizes were observed in the images. Due to the high content of volatile materials, high calorific value, and due to the low ash content, it appears that the slaughterhouse sludge in the present study has a high energy potential.

KEY WORDS: Bioenergy; Residual biomass, Coagulation/flocculation.



INTRODUÇÃO

Cerca de 80 a 95% de toda água consumida em matadouros se torna efluente, que é caracterizado pela elevada carga orgânica, por conter esterco, gorduras, sangue e conteúdos estomacais (UNEP, 2000). Devido a composição deste resíduo, se faz necessário a associação de diferentes níveis de tratamento, para que o efluente final obedeça às condições de lançamento em corpos hídricos exigidos pela legislação (HARRIS; MCCABE, 2015).

O tratamento por meio do processo de coagulação/floculação tem como objetivo principal aglomerar impurezas que se encontram em suspensões finas (estado coloidal), em aglomerados maiores que possam ser removidos por decantação. O processo de aglomeração deve-se pela adição de um produto químico (coagulante), que provoca a desestabilização das cargas superficiais das partículas, por meio de mecanismos de ligação e adsorção, neutralizando as forças elétricas e anulando as forças repulsivas (BASSIN; DEZOTTI, 2008; GAUTO; ROSA, 2011).

Segundo Richter (2009), o tratamento físico-químico de coagulação/floculação ocorre por meio das etapas de coagulação, floculação e sedimentação. Na etapa de coagulação ocorre a mistura rápida do coagulante com o efluente, de forma que ele seja distribuído de maneira uniforme por toda a coluna d'água. Posteriormente segue-se a floculação, processo que ocorre por meio de mistura suave, de modo que ocorram choques entre as partículas (desestabilizadas pela coagulação) para a formação dos flocos. Por fim, segue-se a sedimentação, conduzida sem agitação, onde os flocos formados sedimentam-se formando o lodo de fundo, que muitas vezes acaba se tornando um problema para a indústria geradora em função de seu elevado volume gerado no tratamento (RICHTER, 2009).

O processamento dos lodos de uma estação de tratamento envolve a remoção de água para concentrar os sólidos e assim diminuir seu volume, tendo como objetivo, obter condições adequadas para a sua disposição final. Uma alternativa viável de destinação é a utilização do lodo desidratado em combustão em caldeiras, juntamente com o combustível principal, para produção de energia na própria indústria geradora (FAGNANI, 2017).

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho foi a análise do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluente de abatedouro bovino utilizando diferentes coagulantes.

METODOLOGIA

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. Foi utilizado um efluente de abate bovino proveniente de um frigorífico da região Noroeste do Paraná.

Para os ensaios de coagulação foram utilizados cinco coagulantes: cloreto férrico, sulfato de alumínio, Acquapol S5T, tanino SG e o tanino SH. Os mesmos foram testados em cinco concentrações diferentes, totalizando 25 tratamentos (Tabela 1), realizados em triplicata.

**Tabela 1: Composição dos tratamentos aplicados nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação.****Fonte: Os Autores (2023).**

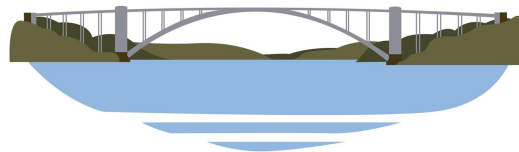
Tratamento	Coagulante	Concentração (mg L ⁻¹)
1	Sulfato de Alumínio	150
2	Sulfato de Alumínio	300
3	Sulfato de Alumínio	450
4	Sulfato de Alumínio	600
5	Sulfato de Alumínio	750
6	Cloreto Férrico	150
7	Cloreto Férrico	300
8	Cloreto Férrico	450
9	Cloreto Férrico	600
10	Cloreto Férrico	750
11	Tanino SG	150
12	Tanino SG	300
13	Tanino SG	450
14	Tanino SG	600
15	Tanino SG	750
16	Tanino SH	150
17	Tanino SH	300
18	Tanino SH	450
19	Tanino SH	600
20	Tanino SH	750
21	Acquapol S5T	150
22	Acquapol S5T	300
23	Acquapol S5T	450
24	Acquapol S5T	600
25	Acquapol S5T	750

As condições adotadas nos ensaios foram: tempo de mistura rápida (coagulação) de 2 min e velocidade de agitação de 120 rpm, tempo de mistura lenta (floculação) de 15 min e velocidade de agitação de 30 rpm e tempo de sedimentação de 40 min, com base em Santos et al. (2018). Os ensaios foram realizados em equipamento Jar Test, marca Milan 203 M, adotando-se o volume de 1L de efluente para todos os ensaios.

Após o tratamento de coagulação/floculação, foram retiradas as amostras do efluente clarificado com auxílio de uma pipeta de 50 mL. Para a secagem do lodo, este foi colocado em béqueres de 250 mL previamente preparados e pesados. Posteriormente o lodo foi levado à estufa com circulação de ar, da marca SOLAB e modelo SL-102 e mantido por 24 h a 105°C, sendo na sequência pesado em balança analítica. Após a pesagem, o lodo seco foi macerado com auxílio de almofariz e pistilo, sendo armazenados em frascos plásticos para posterior análise. Para determinação do potencial energético do lodo foram realizadas a análise imediata e a análise de Poder Calorífico Superior (PCS), além de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para o lodo gerado no melhor tratamento de cada coagulante utilizado.

A composição química imediata corresponde a % de carbono fixo, material volátil, cinzas e umidade, de cada amostra. Para a realização da análise imediata foi utilizado uma adaptação do método ASTM (E-870-82) descrita por Sánchez (2010).

O teor de material volátil foi medido com o auxílio de uma mufla marca LABOR e modelo SP-1200, previamente aquecida a 850 ± 20°C, na qual foi colocado um cadinho tampado de cada vez contendo aproximadamente 1 g de lodo preparado e seco (Ms). Depois de 6 min, o cadinho ainda tampado foi retirado da mufla e colocado em um dessecador. Após cerca de 1 h, determinou-se a massa da amostra em balança analítica (Mf), conforme Equação (1).



$$MV (\%) = \frac{M_s - M_f}{M_i} \times 100$$

equação (1)

Em que:

M_s = massa seca da amostra (g)

M_i = massa inicial da amostra (g)

M_f = massa final da amostra (g)

MV (%) = teor de materiais voláteis

Para a determinação do teor de cinzas também foi utilizada a mesma mufla descrita para a determinação do teor de material volátil, aquecida com rampa: no qual aqueceu-se de 0-500 °C por 1 h numa rampa de aquecimento de 8 °C/min. Em seguida aqueceu-se de 500-750°C por 1 h numa rampa de aquecimento de 4°C/min, na qual foi colocada a amostra de lodo preparado e seco (cadinho sem tampa) (M_s). Após a rampa de aquecimento, a mufla manteve-se por 2 h a 750°C, então retirou-se a amostra da mufla e esfriou-se em dessecador por 1 h e pesou-se em balança analítica (M_r). A Equação 2 foi utilizada para o cálculo do teor de cinzas.

$$CZ (\%) = \frac{M_r}{M_s} \times 100$$

equação (2)

Em que:

M_r = massa do resíduo (g)

M_s = massa seca da amostra (g)

CZ (%) = teor de cinzas

O teor de carbono fixo é uma medida indireta e pode ser calculado utilizando-se a Equação 3:

$$CF (\%) = 100 - (Mv + Cz)$$

equação (3)

Em que:

CF (%) = teor de carbono fixo

Mv (%) = teor de material volátil

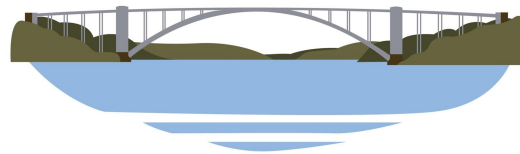
Cz (%) = teor de cinzas

Para realização da análise de poder calorífico superior (PCS) as amostras de lodo moídas e secas foram levadas novamente à estufa para secagem por 2 h. Após essa etapa colocou-se as amostras de lodo seco em cápsulas gelatinosas até preencher todo o espaço da cápsula, em seguida, pesou-se. Na sequência, o lodo foi colocado em um cadinho de quartzo, o qual foi introduzido na bomba calorimétrica marca IKA, modelo C5003. A metodologia para determinação do PCS foi baseada no Manual de Instruções do Calorímetro e adaptado segundo a norma ABNT-NBR 8633, a qual prescreve o método de determinação do PCS a um volume constante, em uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica ou estática.

Para cada lodo a análise de PCS foi feita em duplicata, ou seja, foi determinado o PCS de duas amostras de cada lodo e posteriormente calculada uma média entre os valores. A análise de PCS foi realizada apenas para o lodo gerado no melhor tratamento de coagulação/floculação de cada coagulante utilizado.

Para a realização da MEV foi utilizado microscópio eletrônico de varredura, da marca TESCAN, modelo VEGA3 LMU. As amostras foram preparadas de forma a ficarem espalhadas sobre uma fita de carbono dupla face, sendo posteriormente metalizadas com uma fina camada (5 nm) de ouro na superfície ("sputtering"). As micrografias foram obtidas no aumento de 10000x em módulo SE com detector de elétrons secundários. O equipamento EDS acoplado ao MEV foi o Penta FET Precision da OXFORD INSTRUMENTS.

A análise de MEV foi realizada apenas para o lodo gerado no melhor tratamento de coagulação/floculação de cada coagulante utilizado.



RESULTADOS

Na Figura 1 pode-se observar que o coagulante tanino SH na concentração de 750 mg L⁻¹ apresentou a maior produção de lodo (11 g L⁻¹). Para os tratamentos onde foram empregados coagulantes químicos constatou-se pouca variação entre as concentrações testadas, evidenciando uma produção de lodo em torno de 4 a 6 g L⁻¹ ao longo de todos os ensaios.

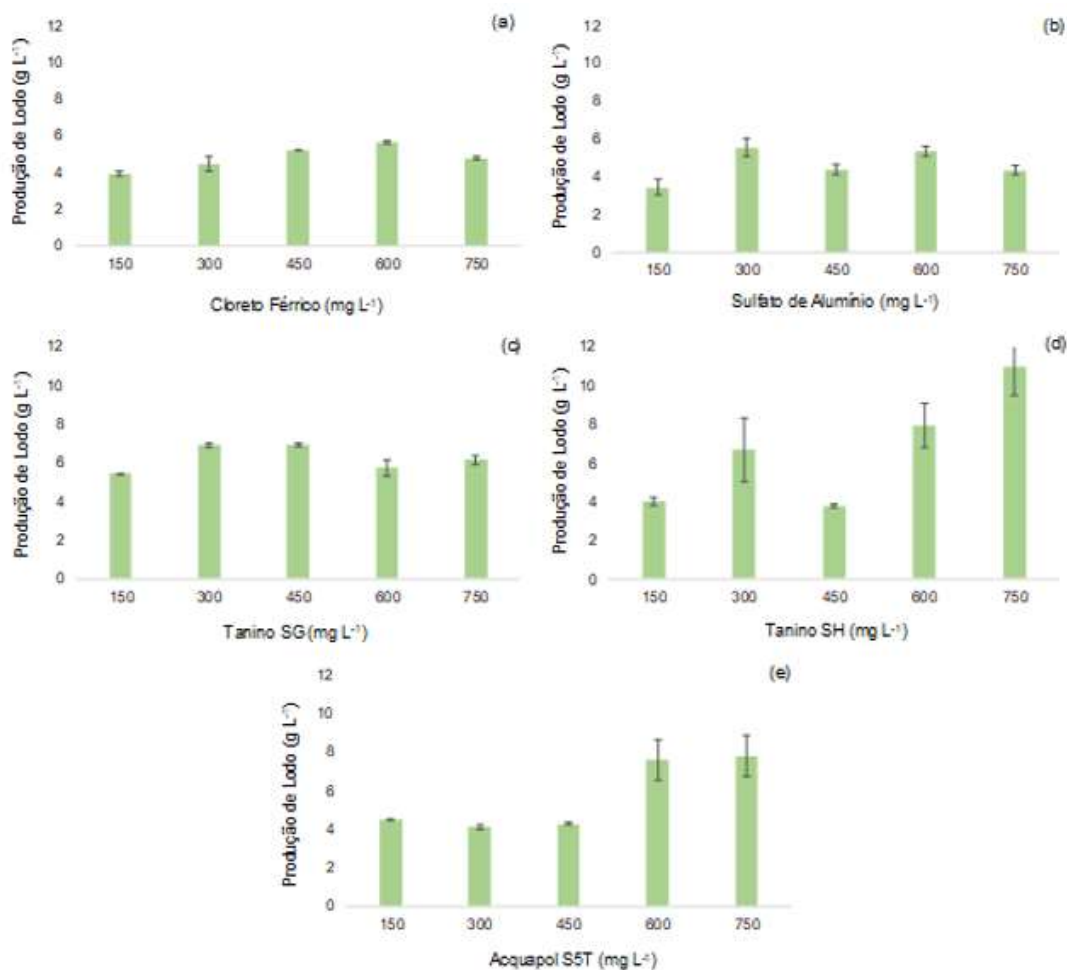


Figura 1: Produção de lodo nos diferentes ensaios: Cloreto férrico (a); sulfato de alumínio (b); tanino SG (c); tanino SH (d); Acquapol S5T (e). Fonte: Os Autores (2023).

Todos os coagulantes obtiveram um alto teor de materiais voláteis (entre 75 e 91%) (Tabela 2). O coagulante cloreto férrico, ao longo de suas cinco concentrações testadas, foi o que obteve maiores valores de carbono fixo e cinzas (entre 8 e 12%), sendo os valores bem homogêneos para esses dois parâmetros, diferindo dos demais coagulantes que obtiveram valores menores, com uma quantidade menor de carbono fixo (entre 2 e 6%) em relação às cinzas (entre 5 e 10%).



Tabela 2: Valores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas no lodo gerado nos tratamentos aplicados. Fonte: Os Autores (2023).

Coagulante	Concentração (mg L ⁻¹)	Carbono Fixo (%)	Materiais Voláteis (%)	Cinzas (%)
Cloreto Férrico	150	8.66±0.31	80.30±0.09	11.05±0.40
Cloreto Férrico	300	10.10±0.50	78.32±0.86	11.59±0.69
Cloreto Férrico	450	12.52±0.94	77.82±1.10	9.66±0.16
Cloreto Férrico	600	12.66±0.14	75.03±0.13	12.31±0.03
Cloreto Férrico	750	12.70±0.24	76.33±0.20	10.97±0.08
Sulfato de Alumínio	150	3.05±0.43	90.79±0.22	6.16±0.30
Sulfato de Alumínio	300	2.33±0.34	88.12±0.69	9.54±0.41
Sulfato de Alumínio	450	3.02±0.40	87.33±0.43	9.65±0.05
Sulfato de Alumínio	600	3.93±0.12	86.21±0.12	9.85±0.00
Sulfato de Alumínio	750	5.94±0.51	86.36±0.46	7.70±0.06
Tanino SG	150	3.20±0.34	91.14±0.65	5.66±0.31
Tanino SG	300	4.43±0.42	89.55±0.10	6.02±0.32
Tanino SG	450	3.96±0.11	90.08±0.16	5.96±0.07
Tanino SG	600	6.30±0.20	86.97±0.43	6.74±0.23
Tanino SG	750	6.53±0.27	86.91±0.37	6.56±0.24
Tanino SH	150	4.69±0.85	87.73±0.95	7.58±0.13
Tanino SH	300	4.22±0.03	88.36±0.15	7.42±0.18
Tanino SH	450	6.99±0.12	85.04±0.25	7.97±0.16
Tanino SH	600	4.76±0.15	89.62±0.37	5.62±0.22
Tanino SH	750	4.52±0.43	89.34±0.85	6.14±1.04
Acquapol S5T	150	4.73±1.19	84.86±0.09	10.40±1.27
Acquapol S5T	300	5.78±0.35	86.73±0.09	7.50±0.44
Acquapol S5T	450	5.21±1.69	86.97±1.30	7.83±0.40
Acquapol S5T	600	5.38±0.20	87.18±0.25	7.44±0.31
Acquapol S5T	750	5.86±1.23	84.04±1.23	10.10±0.24

Lazzari (2018) define o poder calorífico como a quantidade de calor liberada durante a combustão completa da unidade de massa do combustível. Deste modo, para uma boa combustão a biomassa necessita ter um alto poder calorífico. Na Figura 2 pode-se observar que entre os cinco coagulantes em suas melhores condições experimentais, o tanino SG (600 mg L⁻¹) foi o que apresentou maior PCS (entre 30 e 33 MJ/g), não diferindo de modo expressivo dos demais coagulantes (entre 28 e 30 MJ/g).

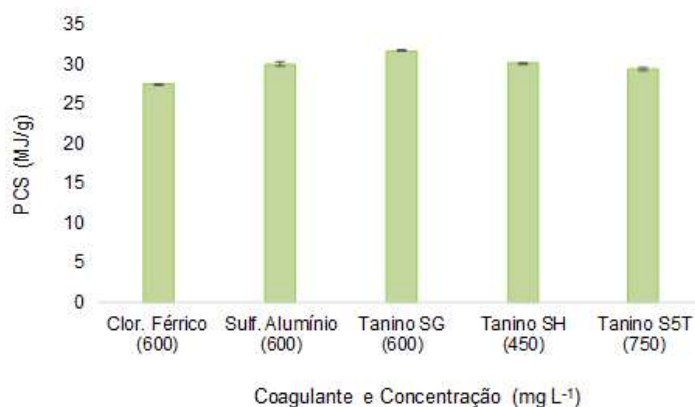




Figura 2: Poder calorífico superior dos cinco coagulantes na melhor condição experimental obtida no tratamento de coagulação/floculação. Fonte: Os Autores (2023).

Virmond (2007), determinou por meio de análise de PCS o valor de 24,34 MJ/g para o lodo de tratamento primário de efluente de frigorífico, valor esse que se encontra próximo dos resultados obtidos neste estudo.

Na Figura 3 nota-se nas micrografias que as partículas de lodo gerado nos tratamentos apresentam aparência folheada e pontiaguda, em formatos heterogêneos, possuindo camadas lamelares, fissuras e porosidade. Petterle et al. (2018), constataram que a porosidade e as fissuras podem influenciar na absorção de água no lodo, influenciando no posterior processo de combustão do mesmo.

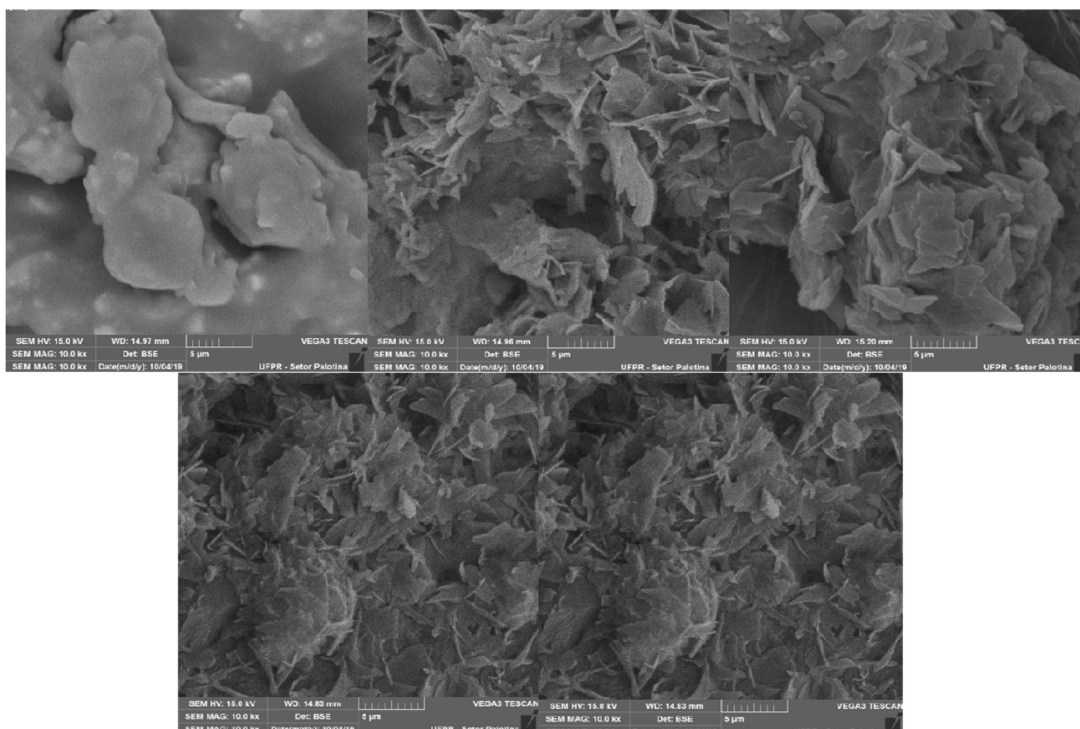


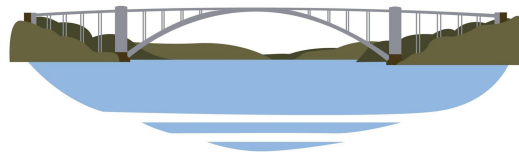
Figura 3: Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com aumento de 10000x para o lodo gerado no melhor tratamento de cada coagulante: cloreto férrico (600 mg L^{-1}) (A); sulfato de alumínio (600 mg L^{-1}) (B); tanino SG (600 mg L^{-1}) (C); tanino SH (450 mg L^{-1}) (D); e tanino Acquapol S5T (750 mg L^{-1}) (E). Fonte: Os Autores (2023).

Pereira et al. (2017), ao realizarem a caracterização físico-química de lodo de esgoto sanitário para posterior aplicação como adsorventes, aplicaram a análise de MEV nas ampliações de 4000 e 10000x. Os autores notaram que o material em estudo possuía superfícies irregulares com a presença de fendas e cavidades, com a possibilidade de favorecer o processo de adsorção.

CONCLUSÕES

A produção de lodo para os coagulantes químicos foi pouco expressiva, ficando em torno de 4 a 6 g L^{-1} . O coagulante que obteve a maior produção (11 g L^{-1}), foi o tanino SH na concentração de 750 mg L^{-1} .

Todos os coagulantes produziram lodo com elevado teor de voláteis (75 - 91 %). O cloreto férrico, em suas cinco concentrações testadas, apresentou maior teor de cinzas e carbono fixo (8 - 12 %) em comparação com os demais coagulantes. Para o PCS, dos cinco coagulantes em suas melhores concentrações, o tanino SG (600 mg L^{-1}) obteve o maior valor, com 31,69 MJ/g. Os demais atingiram valores entre 28 a 31 MJ/g. Com relação a MEV as micrografias indicam que as partículas possuíam aspecto folheado, com a presença de fissuras e porosidade, características que podem influir na absorção de água pelo lodo, bem como em sua combustão.



Dado o alto teor de materiais voláteis, levando em consideração o papel que estes têm na ignição de combustíveis, bem como o elevado poder calorífico do lodo gerado a partir do tratamento físico-químico de efluente de abate bovino, este possui um alto potencial energético, dadas as suas características.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT NBR 8633. Prescreve o método de determinação do poder calorífico superior do carvão vegetal a volume constante, em uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica ou estática. Rio de Janeiro. 1984.
2. BASSIN, J. P.; DEZOTTI, M. Tratamento primário, secundário e terciário de efluentes. In: DEZOTTI, M. *et al.* **Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. p. 56-198.
3. FAGNANI, K. C. **Comparação do potencial energético do lodo gerado no tratamento físico-químico de efluentes provenientes do abate de aves utilizando diferentes coagulantes**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Bioprodutos Agroindustriais), Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina, Palotina, 2017.
4. GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e operações unitárias da indústria química**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.
5. HARRIS, P. W.; MCCABE, B. K. Review of pre-treatments used in anaerobic digestion and their potential application in high-fat cattle slaughterhouse wastewater. **Applied Energy**, v. 155, p. 560-575, 2015.
6. LAZZARI, J. **Análise do potencial energético de lodos obtidos no tratamento de esgoto**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 2018.
7. PEREIRA, I. C., DE CARVALHO, K. Q., PASSIG, F. H., PEREIRA, T. C., GONÇALVES, A. J. **Caracterizações físico-químicas de lodo de esgoto sanitário in natura, pirolisado e funcionalizado para posterior aplicação como adsorventes**. Congresso Abess Fenasan, 2017.
8. PETTERLE, A. R., SANTIAGO, G. G., CHONG, W., SOMENSI, L., TAMBORIM, S. M. Placas cerâmicas contendo lodo de eta e cinza de casca de arroz: correlação de suas propriedades físico-químicas com sua microestrutura. **Química Nova**, v. 41, n. 10, p. 1117-1126, 2018.
9. RICHTER, C. A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.
10. SÁNCHEZ, C. G. **Tecnologia da gaseificação de biomassa**. Campinas: Editora Átomo, 2010.
11. SANTOS, J. D. D. **Tratamento de efluente de fecularia utilizando coagulação/floculação e separação por membranas**. 134 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2016.
12. UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME & DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Cleaner Production Assessment in Meat Processing**. Dinamarca, p. 83, 2000.
13. VIRMOND, E. **Aproveitamento do lodo de tratamento primário de efluentes de um frigorífico como fonte de energia**. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.