

## Caracterização de lodo proveniente do tratamento por eletrocoagulação de efluente de matadouros e frigoríficos de suíno

## Characterization of sludge from electrocoagulation treatment of effluents from swine slaughterhouses

### RESUMO

Os frigoríficos de suínos geram produtos residuais como lodo efluente, estes possuem grande potencial de alteração da qualidade do solo e da água. Métodos comuns de tratamento como a coagulação e floculação são eficazes, mas se comparados a eletrocoagulação possuem desvantagens, a técnica eletrolítica se baseia na interação de eletrodos de alumínio e efluente. Ainda as características do lodo proveniente desse processo são pouco conhecidas. Com isso o presente trabalho consistiu em avaliar um reator de eletrocoagulação aplicado em efluente de frigorífico de suíno, a partir do melhor resultado de cor e turbidez, de modo qualitativo determinar o alumínio e analisar a série de sólidos, Totais, dissolvidos e fixos. Para o reator montou-se DCCR com três variáveis independentes, e três repetições do ponto central. Avaliando a eficiência de remoção de Cor e Turbidez, porém não foram obtidos modelos matemáticos válidos, e constatado a alta eficiência na remoção de cor e turbidez com relação aos parâmetros analisados. Para a série de sólidos é possível constatar a quantidade relativa maior de sólidos voláteis, o qual pode expressar a viabilidade de um tratamento como a compostagem para o lodo. O alumínio mostrou-se presente no lodo e para disposição no solo pode ser considerado um valor baixo de 4,1 PPM, comparando com valores de qualidade do solo. Porém ainda este mineral pode apresentar toxicidade as plantas e concentrações como 2 PPM, e ainda alterar o pH do solo causando danos a este, entretanto alguns processos podem diminuir os teores deste mineral.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alumínio em lodo. Eletroflotação. Sólidos totais.

### ABSTRACT

Swine refrigerators generate waste products such as effluent sludge, which have great potential for altering soil and water quality. Common treatment methods such as coagulation and flocculation are effective, but compared to electrocoagulation have disadvantages, the electrolytic technique is based on the interaction of aluminum electrodes and effluent. Still the characteristics of the sludge from this process are little known. Thus, the present work consisted of evaluating an electrocoagulation reactor applied in swine refrigeration effluent, based on the best color and turbidity results, to qualitatively determine aluminum and analyze the series of solids, totals, dissolved and fixed. For the reactor, DCCR was assembled with three independent variables and three repetitions of the central point. Evaluating the efficiency of color and turbidity removal, however, no valid mathematical models were obtained, and the high efficiency in color and turbidity removal was observed in relation to the analyzed parameters. For the solids series, it is possible to observe the larger relative amount of volatile solids, which

**Vitor Alves Perez**

[vitoralpe@gmail.com](mailto:vitoralpe@gmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Fabio Orssatto**

[Fabio.orssatto@gmail.com](mailto:Fabio.orssatto@gmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Flavia Manente da Silva**

[flavia@alunos.utfpr.edu.br](mailto:flavia@alunos.utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Vanessa Nayara Paloschi**

[nessa\\_nayarapaloschi@hotmail.com](mailto:nessa_nayarapaloschi@hotmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Paraná, Brasil

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



can express the viability of a treatment such as composting for sludge. Aluminum was present in the sludge and for soil disposal can be considered a low value of 4.1 PPM, compared with values of soil quality. However, even this mineral can present plant toxicity and concentrations as 2 PPM, and still change the soil pH causing damage to it, however some processes may decrease the levels of this mineral.

**KEYWORDS:** Aluminium in sludge. Electroflotation. Total solids.

## INTRODUÇÃO

Frigoríficos de Suínos possuem uma geração de efluente em seu processo, segundo PACHECO (2008) estes tem elevadas cargas poluidoras, como substâncias orgânicas, inorgânicos e sólidos dissolvidos, que se lançados sem tratamento pode reduzir a qualidade ambiental de corpos hídricos.

A flotação e coagulação fazem parte de uma das fases do tratamento de efluentes de frigorífico de suínos. De acordo com KOBAYASHI, et. al. (2006) a eletrocoagulação mostra-se promissora podendo substituir os processos convencionais de coagulação e flotação, e possui vantagens se comparadas a estes.

O Processo eletrolítico consiste no processo de eletrocoagulação onde ocorre a reação elétrica entre eletrodos de sacrifício de alumínio, que geram íons de  $Al^{3+}$ , que desestabilizam as partículas em suspensão e coagulam os colóides, formando flocos. Na flotação o processo caracteriza-se pela geração das microbolhas de gases que irão carrear os flocos formados no processo anterior até a superfície.

O lodo é gerado e é pela NBR 10004 (ABNT, 2004) como resíduos Classe II, semissólidos, com potencial de alterar os ambientes de forma negativa, se disposto de forma inadequada.

De acordo com SILVA *et al* (2018), foi constatado que após o processo de eletrocoagulação com eletrodos de alumínio há resquícios do Al na água, podendo haver também resquícios de alumínio no lodo, a fim de fechar o ciclo de produção, é necessária a caracterização deste material quanto ao alumínio e para série de sólidos.

Tendo como base a melhor eficiência de remoção de cor e turbidez, determinar de maneira quantitativa o alumínio residual em lodo, e analisar sólidos totais, fixos e voláteis.

## MATERIAL E MÉTODOS

A amostra de efluente coletada oriunda de um frigorífico de suínos localizado no Oeste do Paraná, que possui capacidade de abate de 6500 animais gerando 5200 m<sup>3</sup> de efluente por dia. Para realizar o tratamento da eletrocoagulação foi montado um reator de bancada, o qual adicionava-se 0,8 litros de amostra para realização de cada ensaio. Os eletrodos de alumínio eram conectados a uma fonte de corrente contínua e eram imersos no efluente.

A fim de encontrar um modelo matemático que possibilitasse a otimização do processo de eletrocoagulação, montou-se um delineamento composto central rotacional (DCCR) com três variáveis independentes:  $X_1$  que corresponde ao tempo de eletrólise (min),  $X_2$  que se refere a rotação (RPM) e  $X_3$  que relaciona-se com a corrente elétrica aplicada (A). Com isso montou-se um fatorial completo  $2^3$  incluindo 6 pontos axiais e realizando 3 repetições no ponto central, obtendo-se 17 ensaios, os valores codificados e reais encontram-se na Quadro 1.

Quadro 1 – Valores codificados e reais das variáveis independentes

Código	Tempo (minutos)	Rotação (RPM)	Corrente elétrica
-1,68	5'	15	0,4
-1	10'	30	0,52
0	17'50''	52,5	0,7
1	24'57''	74,82	0,8
1,68	30'	90	1

Fonte: Autoria própria (2019).

As análises de lodo foram realizadas a partir do lodo gerado no processo de eletrólise, estes e acondicionados em frascos plásticos mantido sob-refrigeração até realização dos ensaios para alumínio e sólidos totais.

A fim de determinar-se a quantidade de alumínio presente foram selecionadas a duplicata da amostra um, que apresentou os melhores resultados de remoção para cor e turbidez, com as características de tratamento de tempo de 10 minutos, rotação a 30 RPM e corrente elétrica de 5,2 amperes.

As análises seguem os padrões descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), para quantificar o alumínio para digestão por via úmida foi realizada a leitura das amostras em Espectrômetro de Absorção atômica (APHA, 3111 D), para série de sólidos foram selecionadas 17 amostras de lodo em duplicata, analisadas seguindo a metodologia para sólidos totais (APHA, 2540 B) e para sólidos voláteis e fixos (APHA, 2540 E).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontra-se a análise de regressão para os sólidos totais dos ensaios.

Tabela 1 – Análise estatística de sólidos totais

	Efeito	Erro padrão	T(7)	p-valor	
	Média	28387,395	5319,821	5,336	0,001
	X1 (L)	6065,927	4999,389	1,213	0,264
	X1 (Q)	-7480,958	5507,715	-1,358	0,217
	X2 (L)	-9537,654	4999,389	-1,908	0,098
	X2 (Q)	-4362,335	5507,715	-0,792	0,454
	X3(L)	-803,123	4999,389	-0,161	0,877
	X3 (Q)	1357,619	5507,715	0,246	0,812
	X1.X2	-5130,509	6529,133	-0,786	0,458
	X1.X3	-2182,443	6529,133	-0,334	0,748
	X2.X3	-1293,906	6529,133	-0,198	0,849

Fonte: Autoria própria (2019).

Percebe-se que nenhuma das variáveis foi significativa em um intervalo de confiança de 95%, já que o p-valor foram superiores a 0,05. Aplicando a análise de variância aos resultados constata-se que não foi possível obter modelo matemático válido já que o  $F_{\text{calculado}}$  (0,938) foi inferior ao  $F_{\text{tabelado}}$  (3,677).

O resultado para série de sólidos está expresso no quadro 2, e apresenta os resultados para sólidos voláteis, fixos e totais.

Quadro 2 – Resultados média e desvio padrão da série de sólidos

Código	Média (mg/L)	Desvio Padrão
ST	24,17	8,82
SV	16,55	6,12
SF	7,61	4,64

Fonte: Autoria própria (2019).

Por meio da análise da série de sólidos é possível constatar que o lodo possui maiores teores de sólidos orgânicos, em comparação do seu percentual inorgânico, isto que é um indicativo para o uso com técnica de estabilização da matéria orgânica. Os valores elevados para desvio padrão apresentam que há uma alta variação dos valores com relação à média, isso pode se dar pelo fato das diferentes variáveis aplicadas no processo eletrolítico e do difícil controle dos parâmetros físicos do efluente.

Na tabela 2 é possível constatar a presença de alumínio residual do lodo, a qual se dá por concentração em PPM, e deve ser levado em consideração seu uso como fertilizante visto a presença deste metal no lodo.

Tabela 2 – Resultados análise de alumínio

Amostra	Alumínio (PPM)
1A	4,1
1B	4,1

Fonte: Autoria própria (2019).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil 2010) artigo 6º e inciso II prevê alguns princípios, os quais os responsáveis pela gestão devem priorizar sempre seguindo a ordem: Não geração, redução, reciclagem, tratamento, bem como disposição final adequada dos rejeitos.

Uma metodologia que pode ser empregada para o lodo é a disposição final em aterro, não é a tratativa mais eficaz para o manuseio deste material, visto os impactos na diminuição da vida útil dos aterros.

Visto sua fração sólida ser em maior parte orgânica, a compostagem, pode ser recomendado ao tratamento desse lodo. (SOARES *et al* 2017)

Ainda o Guia Prático para interpretação de Resultados de Análises de solo desenvolvido por BARRETTO *et al* (EMBRAPA, 2015) estabelece valores de  $\text{cmol}_c \text{Al/dm}^3$ , transformados em ppm na tabela 3, a fim de se comparar com os valores obtidos nas análises.

Tabela 3 – Interpretação de parâmetros baixo, médio e alto de teores de Al (ppm) no solo

Baixo	Médio	Alto
< 45*	45-90*	>90*

Fonte: Adaptado de BARRETTO *et al* (EMBRAPA, 2015).

Levando em considerações os teores citados por BARRETTO *et al* (EMBRAPA, 2015), constata-se que o valor da análise do alumínio no lodo obtido por meio do tratamento por eletrocoagulação é considerado baixo pois atende o parâmetro menor que 45 ppm.

Ainda aspectos da flora devem ser levados em consideração observando a tratativa de compostagem. De com CAMARGO *et al* (1999) define o valor maior ou igual 2 ppm, já apresentam grau de limitação de crescimento das raízes de cultivares de trigo de “Anahuac”.

De acordo com MANCIN C. R. (2015), os teores de  $Al^{3+}$ , são menores em culturas onde se tem maior teor de matéria orgânica. Esta matéria forma ácidos húmicos, acético e málico, estes que reagem e diminuem a área de fixação do alumínio favorecendo a fixação de nutrientes como o fósforo, limitando a interação tóxica do alumínio. A aplicação da compostagem tem potencial de reduzir os teores de alumínio, pela interação MO e  $Al^{3+}$ .

O  $Al^{3+}$  é um cátion e junto com o  $H^+$  é o maior responsável pela alteração do pH do solo e tende a diminuir o valor deste tornando-o ácido, se o pH do solo menor que 5,3 o alumínio torna mais tóxico, ainda quando esse pH cai, as concentrações de alumínio em forma trocável ( $Al^{3+}$ ) aumentam, porém quando o pH tende a ficar maior que o valor de 5,3 o alumínio do solo torna-se insolúvel, e em consequência da elevação do pH diminui-se seu efeito tóxico, assim a calagem no solo é um fator determinante para as concentrações de alumínio, visto que tem potencial de elevar o pH, tanto em aplicação no solo quanto diretamente no lodo, podendo favorecer a inibição do  $Al^{3+}$ . (FAQUIN, 2005)

## CONCLUSÃO

Analisando os resultados para série de sólidos, pode-se determinar que o lodo possui maior teor de sólidos orgânicos, ainda a grande disparidade dos valores com relação à média desta análise. Para o alumínio, verificou-se que o teor deste é baixo, a aplicação da técnica de compostagem em conjunto com a calagem, pode ser eficaz para diminuir ainda mais os teores de alumínio neste material. A característica orgânica deste pode tornar essa metodologia eficaz, mas faz-se necessário um trabalho específico para otimização do processo de compostagem a fim de constatar os mecanismos de inibição do alumínio, descrever os processos de compostagem, e verificar concentrações finais de alumínio na matéria húmica.

## REFERENCIAS

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington:APHA, 2005.

BRASIL, **lei 12305 de 2012, Política Nacional De Resíduos Sólidos**, Brasília, Distrito Federal 18 de Maio de 2012, Disponível em <[https://fld.com.br/catadores/pdf/politica\\_residuos\\_solidos.pdf](https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf)> Acesso em 05 de Agosto de 2019

CAMARGO C. E De. O.; FILHO W. P. F e FELICIO J. C.; **Herança Da Tolerância Ao Alumínio Em Trigo; Sci. agric.**, Piracicaba , v. 56, n. 2, p. 429-435, 1999 Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90161999000200024&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161999000200024&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 08 de Agosto de 2019

FAQUIN V. **Nutrição Mineral de Plantas**, Universidade Federal de Lavras, FAEPE Lavras – MG 2005, Disponível em <[http://www.dcs.ufla.br/site\\_adm/upload/file/pdf/Prof\\_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf](http://www.dcs.ufla.br/site_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Nutricao%20mineral%20de%20plantas.pdf)> Acesso em 05 de Agosto de 2019

KOBYA, M; HIZ,H.; SENTURK, E.; AYDINER, C.; DERMIRBAS, E.; **Treatmente of potato chips manufacturing wastewater by electrocoagulation, Desalination**, v. 190, p. 201-211, Abril de 2006. DOI: 10.1016/j.desal.2005.10.006. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916406001378/>> acesso em 26 de julho de 2017

MANCIN C. R.; **Matéria orgânica e formas de alumínio em um latossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto consolidado**, Dourados, MS 2010, Universidade Federal da Grande Dourados, Disponível em <[http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Tese%20Cinthia%20Raquel%20Mancin\(1\).pdf](http://files.ufgd.edu.br/arquivos/arquivos/78/MESTRADO-DOCTORADO-AGRONOMIA/Tese%20Cinthia%20Raquel%20Mancin(1).pdf)> Acesso em 15 de Agosto de 2019

PACHECO, J. W., **Guia técnico ambiental de frigoríficos - industrialização de carnes (bovina e suína)** - São Paulo : CETESB, 2006. 85p. (1 CD) : il. ; 30 cm. - (Série P + L). Disponível em: <<http://consumosustentavel.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/39/2013/11/frigorifico.pdf> > acesso em 25 de julho de 2017

SILVA F. M. da, ORSSATTO F., ARAÚJO I. de S. e VIEIRA T. H.; **Análise de remoção de DQO e residual de alumínio em efluente de frigorífico de suínos tratado por eletrocoagulação**, XXIII SICITE Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Apucarana – Paraná 2018. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,

**NBR 10.004 de2004, Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 71 p Disponível em <<http://www.vigilanciasanitaria.sc.gov.br/index.php/download/category/64-legislacao?download=433:nbr-10004>> Acesso em 05 de Agosto de 2019

## AGRADECIMENTOS

À Flavia Menente da Silva e a Vanessa Nayara Paloschi pelo apoio na realização dos trabalhos e análises de laboratório. Ao professor Fabio Orssatto, por oferecer a oportunidade de aprender e desenvolver o projeto. A fundação Araucária pelo apoio financeiro prestado e cumprimento do acordo nesse período governamental tão incerto.