

SEPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FRAÇÕES DE SÓLIDOS PROVENIENTES DE SEDIMENTO DE DRAGAGEM DO PORTO DE RIO GRANDE – RS

T. PASSOS¹, E. ROSA SILVA¹, T. CORTELINI¹, C. S. OGRODOWSKI¹, F.B. SANTANA¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Química e Alimentos.

E-mail para contato: eduardodarosasilva@gmail.com

RESUMO – Frente à necessidade de fontes renováveis de energia e grandes volumes de sedimentos marinhos provenientes do processo da dragagem de portos, a implementação de células combustíveis microbianas utilizando tais sedimentos vem sendo aplicada. A proposta deste trabalho é a caracterização e separação das frações sólidas do sedimento marinho proveniente da dragagem do Porto de Rio Grande. Foram utilizados os seguintes parâmetros de caracterização física: massa específica, porosidade do leito, fator de forma de Corey, fator de textura de Powers e velocidade terminal. Para a caracterização química quantificou-se a quantidade de carbono total nas amostras. Como processo de separação foi utilizado a elutriação com água à temperatura ambiente. A fração que apresentou o melhor potencial para o uso em células combustíveis microbianas foi a de mistura de argila e silte, que representa 34,55 % do sedimento e contém 2,42 % de material orgânico.

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e tecnológico tem como consequência o crescimento acelerado na demanda energética atual (EPE, 2012). Segundo o MCTI (2013), os processos de geração de energia são responsáveis por 32 % das emissões de CO₂ na atmosfera, com um aumento de aproximadamente 73,3 % no período 2005-2010. Frente a estes aspectos e a rigidez das leis ambientais, pesquisadores impulsionam os estudos sobre a implementação de novas fontes renováveis para a geração de energia elétrica.

Paralelo a esta problemática, um desafio constante na operação de portos é o grande volume de sedimentos removidos pelo processo de dragagem. Este tem como objetivo manter e/ou aumentar a profundidade dos canais de acesso aos portos para proporcionar sua navegabilidade. O sedimento proveniente da dragagem é composto por diferentes frações de sólidos e líquido, onde se verifica a presença de microrganismos capazes de gerar elétrons a partir de seu metabolismo, produzindo então energia elétrica.

Uma alternativa para o destino do sedimento de dragagem e para a geração de energia elétrica renovável é o uso de células combustíveis microbianas (CCM). Segundo Logan (2008), em uma CCM, microrganismos oxidam a matéria orgânica, produzindo elétrons e metabólitos que são transportados para um canal aceptor que se reduz, produzindo assim uma diferença de potencial. A principal vantagem da operação de CCM's é a possibilidade de uso

de efluentes industriais, efluentes domésticos (Teleken, 2013) e sedimentos provenientes de estuários. Porém, a matéria orgânica presente no sedimento de dragagem está distribuída nas frações de sólidos, por isso deve-se utilizar um sistema de separação física para que possa ocorrer a concentração deste substrato.

O sedimento proveniente da dragagem do Porto de Rio Grande é composto basicamente por três frações de sólido: argila, silte e areia, seus respectivos diâmetros são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação de sedimentos através de seu diâmetro (Wentworth, 1922).

Sólido	Diâmetro Mínimo (mm)	Diâmetro Máximo (mm)
Argila	-	1/256
Silte	1/256	1/16
Areia	1/16	1/8

O processo de elutriação consiste em um método de separação em que um fluido com velocidade conhecida é bombeado de forma ascendente em um leito de partículas. Os sólidos que apresentarem velocidade terminal inferior à velocidade do fluido são arrastados, fazendo com que ocorra a separação. A elutriação foi aplicada para a caracterização da distribuição granulométrica e, conseqüentemente, a separação em sedimentos provenientes de esgotos (Krishnappan *et al.*, 2004) e efluentes pluviais urbanos (Hettler *et al.*, 2011).

Para a operação de uma unidade de separação via elutriação é necessário o cálculo das velocidades terminais. Na bibliografia existe uma série de modelos para este cálculo (Stokes, 1851; Coelho e Massarani, 1996 e Ferguson e Church, 2004). O modelo de Dietrich (Dietrich, 1982) é um conjunto de equações empíricas amplamente utilizadas no estudo de frações heterogêneas de sólidos, pois aborda particularmente sedimentos naturais, levando em consideração parâmetros de geometria, textura e natureza do material particulado. A Equação 1 é usada para adimensionalizar a velocidade terminal da partícula, já a Equação 2 é usada para estimar o adimensional do diâmetro da partícula. Estas duas equações levam em consideração a diferença entre a massa específica do sólido (ρ_s) e do líquido (ρ_l), gravidade (g) e viscosidade cinemática (ν). A Equação 3 calcula a velocidade terminal adimensional como função de três parâmetros R_1 , R_2 e R_3 .

$$v_t^* = \frac{\rho_l v_t^3}{(\rho_s - \rho_l) g \nu} \quad (1)$$

$$D^* = \frac{(\rho_s - \rho_l) g D_p^3}{\rho_l \nu^2} \quad (2)$$

$$v_t^* = R_3 10^{R_1 + R_2} \quad (3)$$

Os parâmetros utilizados na Equação 3 são calculados com as propriedades das partículas. O parâmetro R_1 , através da Equação 4, depende apenas do diâmetro adimensional da partícula, ou seja, ele acrescenta ao cálculo da velocidade terminal a influência do

diâmetro. Já o parâmetro R_2 , calculado na Equação 5, analisa a influência da geometria da partícula através do fator de forma de Corey (CSF). Por fim, a Equação 3 apresenta o parâmetro R_3 que insere no cálculo a influência da textura do material, característica que é estimada pelo fator de Power (P).

$$R_1 = -3,76715 + 1,92944(\log D^*) - 0,09815(\log D^*)^2 - 0,00575(\log D^*)^3 + 0,00056(\log D^*) \quad (4)$$

$$R_2 = \left[\log \left(1 - \frac{1 - CSF}{0,85} \right) \right] - (1 - CSF)^{2,3} \tanh(D^* - 4,6) + 0,3(0,5 - CSF)(1 - CSF)^2(\log D^* - 4,6) \quad (5)$$

$$R_3 = \left\{ 0,65 - \left[\frac{CSF}{2,83} \tanh(\log D^* - 4,6) \right] \right\}^{1 + \frac{3,5 - P}{2,5}} \quad (6)$$

Este trabalho teve como objetivo a separação das frações sólidas de sedimento através do processo de elutriação e as respectivas quantificações das concentrações de matéria orgânica, para tal objetivo caracterizou fisicamente as partículas quanto à forma, textura, massa específica e diâmetro, calculando-se a velocidade terminal para cada fração de sólido.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização física

Massa específica: A massa específica do sedimento total e de suas frações foi estimada através de ensaio de picnometria. Utilizou-se um picnômetro de 50 mL, usando como fluido para calibração água à temperatura ambiente.

Porosidade do leito: Para realizar a estimativa da porosidade do leito, utilizou-se ensaio de proveta. Uma proveta de 10 mL foi utilizada com água, onde foi inserido o sólido proveniente do sedimento seco e esperou-se decantar por aproximadamente 24 horas. Este ensaio foi realizado em duplicata.

Concentração de sólidos totais: Para a estimativa da concentração de sólidos totais secou-se em estufa de bandeja por 24 horas a 105 °C uma amostra de 10 mL de sedimento puro, mensurando a massa de sólido remanescente daquele volume. Este ensaio foi realizado em triplicata.

Fator de forma de Corey e fator de Power: O fator de forma de Corey e o fator de Power foram estimados qualitativamente através de análises de microscopia eletrônica de varredura da amostra seca. Foram utilizadas aproximações que variaram entre 400 e 12500x.

Velocidade terminal: A velocidade terminal de cada fração foi determinada através das Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, utilizando-se os valores das propriedades físicas encontrados com os procedimentos anteriormente citados.

2.2. Caracterização Química

Para a quantificação da matéria orgânica contida no sedimento e em cada fração foi analisada a quantidade de carbono total de cada amostra. Para isso, utilizou-se um analisador de carbono total (TOC, Shimadzu ®) em seu módulo de amostras sólidas (SSM 5000-A).

Uma massa de 300 mg de cada amostra são colocadas em recipientes pré-tratados, onde são aquecidas por 900 °C por aproximadamente 5 minutos. Todo carbono contido na amostra é oxidado a CO₂, gás este que é mensurado. Esta análise foi realizada em triplicata para o sólido total e suas respectivas frações.

2.3. Elutriação

O processo de separação foi realizado em um elutriador de vidro de 26,5 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro interno. Para alcançar as vazões desejadas, foi utilizada uma bomba peristáltica com uma rotação mínima de 20 rpm e máxima de 240 rpm. O procedimento se inicia com a decantação de 5 mL de sedimento por 90 minutos, após isso, água à temperatura ambiente é utilizada em vazões pré-definidas para o arraste da fração desejada por tempos conhecidos. O efluente contendo água e o material elutriado é transportado para um recipiente. Após o término do tempo de elutriação, a mistura é centrifugada a 10000 rpm por 20 minutos e seca por 24 h a 105 °C. Foram separadas as frações de argila, silte, mistura de argila e silte e areia. Todas as elutriações foram realizadas em triplicata, calculando-se a média e o desvio padrão de cada resultado.

3. RESULTADOS

Os valores encontrados na caracterização do sedimento antes da separação são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização física do sedimento puro.

Componente	Massa específica (g/mL)	Porosidade do Leito	% Sólidos	%C
Sedimento	2,03 ± 0,002	33,74% ± 1,247%	50,73% ± 5,02%	1,13% ± 0,059%

A caracterização das frações elutriadas é apresentada na Tabela 3, nota-se que as características morfológicas da mistura argila + silte apresenta os mesmos valores do silte, isso acontece devido ao fato de a velocidade de elutriação da mistura é a mesma velocidade da fração com maior diâmetro elutriada, ou seja, do silte.

Tabela 3 – Características Físicas das frações elutriadas.

Componente	Massa específica (g/mL)	Fator de forma de Corey	Fator de Powers
Argila	2,08 ± 0,02	0,43	1
Silte	2,25 ± 0,27	0,58	1
Areia	2,21 ± 0,21	0,72	1
Argila + Silte	2,19 ± 0,04	0,58	1

A velocidade terminal de cada fração, sua respectiva vazão e o tempo de operação são apresentados na Tabela 4. O tempo foi calculado de forma que todas as frações gerem o mesmo volume de efluente, volume este que proporciona uma eficiência satisfatória de separação, pois torna a zona de transporte clarificada.

Tabela 4 – Características de operação para cada fração

Componente	Velocidade (cm/s)	Vazão (mL/min)	Tempo (min)
Argila	0,0662	19,51	60
Silte	0,4929	145,18	8
Areia	-	-	-
Argila + Silte	0,4929	145,18	8

Nota-se que a fração de areia não é caracterizada com velocidade terminal e vazão, isso ocorre devido ao fato de a areia, por ser a fração com maior diâmetro, não é arrastada e sim permanece no equipamento.

A porcentagem de cada fração sólida presente no sedimento e sua respectiva concentração de material orgânico são apresentadas na Tabela 5. Na primeira elutriação, separou-se argila, silte e areia com uma eficiência de $89,52\% \pm 1,956\%$ e na segunda separou-se a mistura de argila e silte da fração de areia 2 com uma eficiência de $92,25\% \pm 1,302\%$.

Tabela 5 – Porcentagem e concentração de materia orgânica de cada fração.

Componente	Fração	%C
Argila	$16,15\% \pm 4,8\%$	$2,59\% \pm 0,13\%$
Silte	$9,38\% \pm 0,51\%$	$2,47\% \pm 0,01\%$
Areia	$62,77\% \pm 9,38\%$	$0,13\% \pm 0,02\%$
Argila + Silte	$34,55\% \pm 5,43\%$	$2,39\% \pm 0,03\%$
Areia 2	$64,64\% \pm 2,54\%$	$0,14\% \pm 0,02\%$

4. CONCLUSÕES

Concluiu-se, analisando os dados da Tabela 5, que as frações de argila e silte apresentaram uma maior concentração de material orgânico devido ao fato de a morfologia do grão de argila e silte têm aspecto poroso, estes adsorvem o material orgânico em sua superfície. Porém, levando em consideração a quantidade de cada fração presente, notou-se que a fração mais vantajosa para a separação foi a mistura de argila e silte, pois apresentou uma quantidade de $2,42\%$ de material orgânico e uma fração de aproximadamente $34,55\%$ em massa. Este conteúdo de matéria orgânica separado já está sendo utilizado como fonte

renovável para a geração de energia através da sua conversão em elétrons utilizando células combustíveis microbianas (De Sá *et al.*, 2013).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COELHO, R. M. L.; MASSARANI, G. Fluidodinâmica de Partículas: Ainda sobre Correlações em Base aos Dados Experimentais de Pettyjohn e Christiansen. *Relatório Técnico, LSL/COPPE*, Rio de Janeiro, 1996.

DE SÁ, J. S.; MEZZOMO, H.; NOGUES, L. B.; FRAGA, M. F.; OGRODOWSKI, C. S.; SANTANA, FABRICIO B. . Efeito do processo contínuo sem reciclo de biomassa na operação de células de combustível microbiológicas. *Vetor (FURG)*, v. 23, p. 49-60, 2013.

DIETRICH, W.E., Settling velocity of natural particles. *Water Resources Research*; v. 18, p.1615–1626, 1982.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Projeção da Demanda de Energia Elétrica para os Próximos 10 anos (2013-2022), *Relatório Técnico*, 2012.

FERGUNSON, R.I; CHURCH, M. A simple universal equation for grain settling velocity. *J. Sediment Research*, v. 74, p. 933–937, 2004

HETTLER, E. N.; GULLIVER, J. S. KAYHANIAN, M., An elutriation device to measure particle settling velocity in urban runoff. *Science of Total Environment*. v. 409, p.5444-5443, 2011.

KRISHNAPPAN, B. G.; MARSALEK, J.; EXALL, K.; STEPHANS, R.P.; ROCHFORD, Q.; SETO, P. A water elutriation apparatus for measuring settling velocity distribution of suspended solids in combined sewer overflows. *Water Quality Research J.*, v. 139, p 432-438, 2004.

LOGAN, B. E. *Microbial Fuel Cells*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 1ª Edição, 2008.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. *Relatório Técnico*, 2013.

STOKES, G.G. On the effect of the internal friction of fluids on the motion of pendulums (part II). *Trans Cambridge Philos Soc* ; 9:8, 1851.

TELEKEN, J. T. Modelagem matemática da geração de corrente elétrica em uma célula combustível microbiana inoculada com micro-organismos marinhos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *J. of Geology*, Vol. 30, No. 5, pp. 377-392, 1992.