

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA TERRA DIATOMÁCEA ATRAVÉS DA ELUTRIAÇÃO

KRELING, O. L. *, CARVALHO, A. C., CARVALHO, M. L. D., GOMES, M. L.,
SANTOS, I. A. C., SOARES, G. V..

Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Química
E-mail: *okssanakreling.aluno@unipampa.edu.br

RESUMO – No estudo das operações unitárias, podemos encontrar diversos tipos de processos industriais, sendo os sistemas particulados e fluidodinâmicos um deles. A elutriação pertence a este, e consiste em uma operação de separação, baseada na diferença entre a velocidade média do fluido e a velocidade terminal da partícula. A terra de diatomácea é o resultado da fossilização de algas unicelulares, e amplamente utilizada no controle de pragas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é, através do processo de elutriação, determinar velocidades de arraste do mesmo, diâmetro da partícula de diatomácea, bem como a distribuição granulométrica da mesma, e a eficiência do elutriador. Após o ensaio os resultados mostraram que a terra diatomácea apresentou velocidade de arraste e diâmetro de partícula no intervalo de 0,00049 m/s à 0,00227 m/s e 22,8 μm à 49 μm , respectivamente, sendo 36,2 μm o diâmetro médio de sauter. Em relação a eficiência do elutriador em diferentes vazões, obteve-se a faixa de 6,35% à 22,70%, em que a eficiência global resultou em 85,66%.

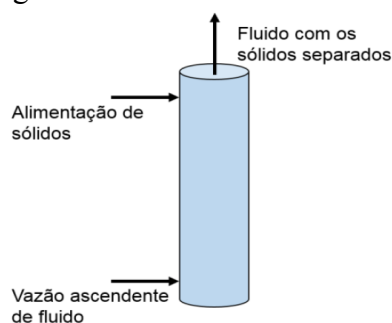
INTRODUÇÃO

As operações unitárias são etapas que se encontram em diversos tipos de processos industriais, com o intuito de identificar etapas que se repetem. Essas operações são divididas em: operações de transferência de movimento e sistemas particulados e fluidodinâmicos; operações de transferência de calor; operações de transferência de massa; e ainda operações de transferência de calor e massa combinadas. (KLINGER C.; LEIDENS N.; NUNES I. S., 2017).

Dentro dos sistemas fluidodinâmicos com sistemas particulados, podemos encontrar as operações de filtração, sedimentação, fluidização, leitos fixos, fluidizados ou de jorro, e também a elutriação (KLINGER C.; LEIDENS N.; NUNES I. S., 2017).

A elutriação consiste em uma operação de separação, baseada na diferença entre a velocidade média do fluido (v), e a velocidade terminal da partícula (v_T) (CREMASCO, 2014). O elutriador (Figura 1) é um equipamento que permite a separação e classificação de partículas.

Figura 1 - O elutriador



Fonte: KLINGER C.; LEIDENS N.; NUNES I. S., (2017)

É composto por uma coluna vertical, onde as partículas são alimentadas ao topo da coluna, enquanto uma corrente de fluido passa e arrasta, em uma velocidade específica, as partículas menos densas para o topo, e as mais densas para o fundo. Portanto, no elutriador, as partículas com diferentes diâmetros e massas específicas, apresentam distribuições de velocidades terminais distintas, que são utilizadas como fatores determinantes na separação das frações de sólidos (SILVA, 2016).

Diversos processos industriais necessitam da separação de partículas sólidas, como a separação da matéria orgânica presente no sedimento de rios, e a separação inicial de resíduos finos obtidos em processo siderúrgico, ambos permitindo a utilização do produto final em novos processos.

O processo de elutriação pode ocorrer de duas formas: em batelada ou de forma contínua. O presente trabalho irá utilizar a elutriação em batelada, que consiste na utilização de um equipamento onde são realizadas paradas para alterações de vazão e separam-se variadas frações do sólido (SILVA, 2016).

Assim, o objetivo deste trabalho visa classificar uma amostra em seus diferentes diâmetros através de ensaios de elutriação. A partícula utilizada para análise foi o diatomito, uma rocha sedimentar proveniente de algas diatomáceas fossilizadas com alto teor de dióxido de sílica em sua composição. E a corrente de fluido ascendente presente no conjunto elutriador foi a água, em seis vazões diferentes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o processo de elutriação, é necessário uma balança analítica, 5 gramas de terra diatomácea, 7 papéis de filtro, 7 placas de petri, o sistema de elutriação, um cronômetro, uma proveta de 10 mL, uma proveta de 25 mL, uma estufa de secagem e água destilada.

Figura 2 - Sistema de Elutriação



Fonte: Autores (2022)

Inicialmente foram pesados 5,0225 gramas de terra diatomácea em um papel alumínio, na balança analítica; em seguida os filtros de papel foram pesados nessa mesma balança. A bomba é iniciada de modo que o elutriador esteja completamente coberto de água, para assim todo o conteúdo de terra diatomácea ser despejado. O primeiro filtro pesado é colocado no funil de büchner, sendo molhado com água destilada para melhor encaixe.

O sistema de elutriação é composto por uma bomba peristáltica, um elutriador, um funil de buchner, um kitassato, uma mangueira e uma bomba de vácuo e água da torneira.

Para o início da elutriação, a bomba peristáltica foi ajustada para uma vazão de 15 mL/min, sendo que, assim que iniciada, juntamente com a bomba de vácuo, o tempo para o processo foi de 10 minutos. Durante os 10 minutos, 3 ensaios de proveta foram realizados, iniciando-se após o primeiro minuto da elutriação, com 30 segundos de diferença entre eles. A proveta utilizada para esse primeiro experimento foi de 10 mL, sendo demarcados, com a utilização do cronômetro, o tempo que foi levado para completar a proveta até aproximadamente 8 mL.

O procedimento citado acima foi realizado 7 vezes, sendo utilizadas as vazões 15, 20, 30, 45, 60 e 75 mL/min.

A partir da vazão de 60 mL/min, utilizou-se a proveta de 25 mL para melhor obtenção de resultados.

Posteriormente, os filtros foram colocados em uma forma e inseridos na estufa de secagem a 105 °C, durante 24 horas. Em

seguida foram pesados, a fim de obter as massas de terra diatomácea em cada filtro.

Metodologia de Cálculo

Com o intuito de determinar a vazão volumétrica real, utilizou-se a equação 1, onde os termos $V_{proveta}$ e t correspondem, respectivamente ao volume da solução coletado na proveta e o tempo necessário de coleta, os quais foram obtidos conforme procedimento descrito anteriormente.

$$Q_{real} = \frac{v_{proveta}}{t} \quad (1)$$

Para determinação da velocidade de arraste, foi necessário calcular a área da seção transversal do elutriador e a vazão real.

$$Vt = \frac{Q_{real}}{A} \quad (2)$$

Ao determinar a velocidade de arraste, foi possível aplicá-la na equação do coeficiente de arraste (3), relacionando as propriedades correlacionadas do fluido e material utilizados no procedimento.

$$Cd/Re = \frac{4}{3} * \frac{(\rho_{terra} - \rho_{água}) * g * \mu}{\rho_{água}^2 * Vt^3} \quad (3)$$

Através do resultado da equação anterior, considerando a esfericidade da partícula igual a 1, foi possível utilizar a tabela do método de Perry para a determinação do número de *Reynolds*, a partir da relação Cd/Rep . De acordo com os resultados obtidos, pode-se considerar o escoamento um regime de stokes, dessa forma determinamos o número de reynolds e o diâmetro da partícula pelas seguintes equações.

$$Rep = \frac{\rho * dp * Vt}{\mu} \quad (4)$$

$$dp_{stokes} = \sqrt{\frac{18 * \mu * Vt}{g * (\rho_0 - \rho)}} \quad (5)$$

A fração retida foi determinada a partir de uma relação entre a massa retida em cada

filtro e a massa total utilizada, conforme indicado na equação 6.

$$xi = \frac{m_{retida}}{m_{total}} \quad (6)$$

De acordo com os resultados obtidos anteriormente, utilizou-se a equação 7, para determinação do diâmetro de *sauter*, relacionando o somatório da fração retida e o diâmetro.

$$Dps = \frac{1}{\sum(\frac{xi}{di})} \quad (7)$$

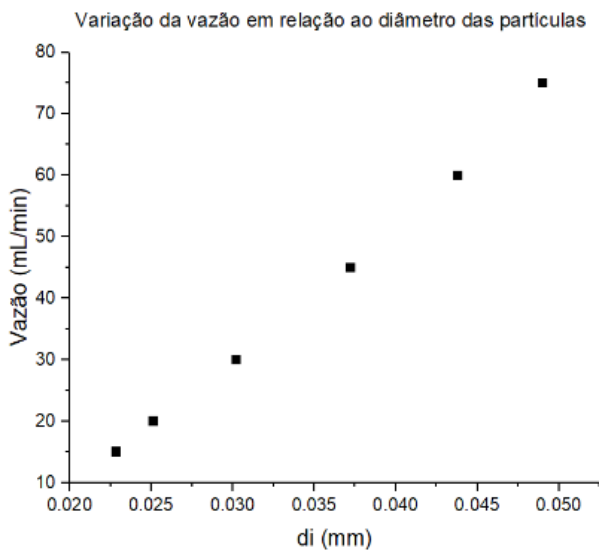
Com a finalidade de obter a eficiência individual do elutriador, foi utilizada a equação 8, relacionando a massa retida acumulada com a massa total utilizada no elutriador. Por fim, para determinação da eficiência global realizou-se o somatório da eficiência individual mencionada anteriormente.

$$\eta = \frac{m_{retida\ acumulada}}{m_{total}} * 100 \quad (8)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os resultados obtidos para relação da vazão por diâmetro, observou-se que à medida que o valor da vazão no elutriador aumenta, o diâmetro das partículas aumenta, no entanto, não segue uma forma linear. A partir disso, pode-se observar que é necessário cada vez mais uma maior vazão para arrastar partículas de diâmetro maiores, esse comportamento é característico da equação do diâmetro de Stokes. Esse fenômeno pode ser observado na figura 3, que relaciona a vazão com o diâmetro das partículas.

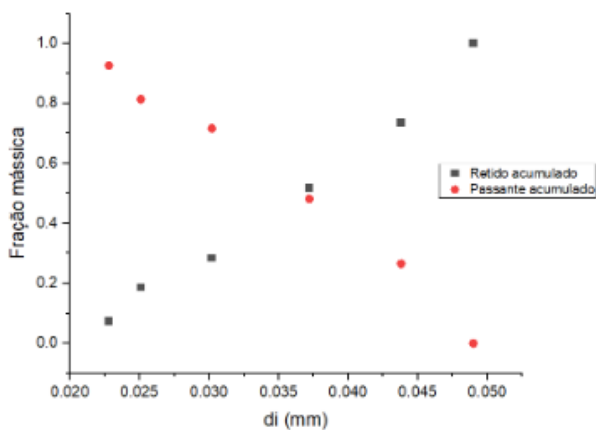
Figura 3 - Variação da vazão em relação ao diâmetro das partículas.



Fonte: Autores (2022)

No gráfico das curvas de fração mássica, nota-se que no diâmetro obtido na interseção do gráfico, o valor se aproxima do diâmetro de Sauter de 0,0362 mm, mesmo que o primeiro tenha sua relação com o diâmetro e a massa, e o segundo esteja ligado com o volume e a superfície, como mostra a figura 4.

Figura 4 - Curvas de Fração Mássica

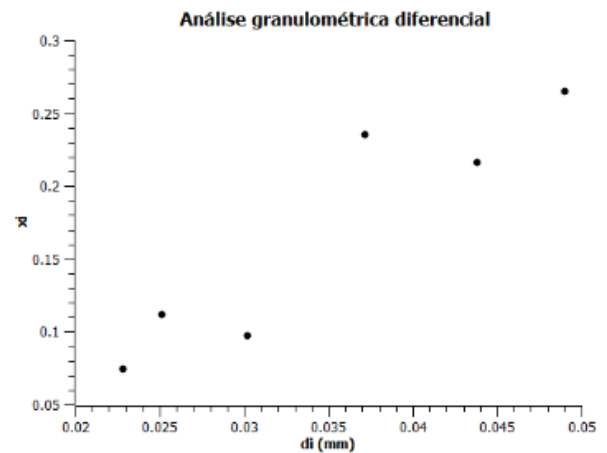


Fonte: Autores (2022)

Na análise de granulometria diferencial, apresentada na figura 5, há a presença de dois picos para os diâmetros médios das partículas, onde obteve-se as duas maiores concentrações de massas retidas com relação ao diâmetro. A partir disso, pode-se concluir que a curva apresentaria um terceiro pico, caso o ensaio de elutriação filtrasse a massa total de alimentação, levando em

consideração que uma carga de 0,7 g de massa não foi recolhida.

Figura 5 - Curva de Análise Granulométrica Diferencial



Fonte: Autores (2022)

No ensaio de elutriação, para as partículas de maior diâmetro e vazão, a eficiência obtida foi maior. Observou-se que, para os maiores valores de diâmetro e vazão, de 0,0490 mm e 72 mL/min, respectivamente, o elutriador apresentou a maior eficiência individual, correspondendo a 22,70 % do processo. A eficiência global obtida foi de 85,66%, sendo esse valor o total das eficiências individuais, onde há uma relação entre a massa obtida por elutriação em uma determinada vazão, e a massa total da amostra presente no elutriador. Esse valor também se refere à massa total recolhida, de 4,3023 g de uma massa inicial de 5,0225 g de terra diatomácea utilizada na alimentação.

Tabela 1- Eficiência individual do elutriador.

Q real (mL/min)	Eficiência Individual (%)
15	6,3554
18	9,5908
28	8,3524
40	20,1254
56	18,5406

Fonte: Autores (2022)

CONCLUSÃO

Foi possível concluir a separação da terra de diatomácea em seus diferentes diâmetros, com a utilização de um elutriador.

O diâmetro médio de Sauter encontrado no ensaio, foi de 36,2419 μm .

Através das vazões e eficiências individuais do elutriador, pode-se observar que uma maior quantidade de partículas serão carregadas, com o aumento da vazão e a velocidade de arraste do fluido.

Com este experimento, conclui-se que os ensaios de separação por elutriação apresentam uma eficiência global de 85,6605 %.

NOMENCLATURA

A	Área	$[\text{m}^2]$
g	Aceleração da gravidade	$[\text{m}]/[\text{s}^2]$
Cd	Coefficiente de arraste	Adimensional
d_p	Diâmetro da partícula	$[\text{mm}]$
d_{ps}	Diâmetro de Sauter	$[\text{mm}]$
η	Eficiência	
x_i	Fração mássica	Adimensional
ρ	Massa específica do fluido	$[\text{kg}]/[\text{m}^3]$
ρ_s	Massa específica da partícula	$[\text{kg}]/[\text{m}^3]$
m_{retida}	Massa retida	$[\text{g}]$
m_{total}	Massa total	$[\text{g}]$
R_{ep}	Número de reynolds da partícula	Adimensional
C_d/R_{ep}	Relação coeficiente de arraste e Reynolds	Adimensional
Q	Vazão	$[\text{m}][\text{L}]/[\text{min}]$
V_t	Velocidade terminal da partícula	$[\text{m}/\text{s}]$
μ	Viscosidade do fluido	$[\text{kg}]/[\text{m}][\text{s}]$

REFERÊNCIAS

CREMASCO, Marco A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidodinâmicos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014.

CREMASCO, Marco A. **Vale a pena estudar Engenharia Química**. 3° ed. São Paulo: Blucher, 2014.

KLINGER, Caroline. **Construção de módulo de elutriação como ferramenta de contextualização para o ensino de operações unitárias**. 2017. IV congresso internacional de educação científica e tecnológica. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões- URI. Santo Ângelo/ Rio Grande do Sul.

SILVA, Eduardo R. **Análise experimental e numérica do sistema de separação via elutriação de sedimento de drenagem**. p. 88, Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2016.