

# ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UMA MISTURA SÓLIDO-LÍQUIDO EM UM TANQUE DE FLOTAÇÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DE TOMOGRAFIA POR RESISTÊNCIA ELÉTRICA\*

Lucas Pich Machado<sup>1</sup>  
João Batista Conti de Souza<sup>2</sup>  
Manjunath Basavarajappa<sup>3</sup>  
Sanja Miskovic<sup>4</sup>

## Resumo

Flotação é um complexo processo para separar os minerais de interesse da ganga. O processo de recuperação neste método depende da condição hidrodinâmica do tanque. A condição ideal de mistura é obtida utilizando-se um mecanismo de agitação que suspende as partículas de maneira homogênea no tanque. O propósito deste trabalho é investigar os parâmetros de operação, como velocidade de agitação e tamanho das partículas, em um tanque de flotação em escala laboratorial com a técnica de Tomografia por Resistência Elétrica. Os resultados deste trabalho mostram que a velocidade de agitação e tamanho das partículas tem um grande efeito na homogeneidade da mistura em suspensão. Outros experimentos serão realizados incluindo outros tamanhos de partículas e densidades, variados tamanhos de rotor e defletores nas paredes do tanque para conter a turbulência em altas velocidades.

**Palavras-chave:** Flotação; Processamento mineral; Tomografia por resistência elétrica.

## SOLID-LIQUID MIXING STUDIES IN LAB-SCALE FLOTATION TANK USING ELECTRICAL RESISTANCE TOMOGRAPHY

### Abstract

Flotation is a complex multiphase process used in the mineral processing industry to separate valuable minerals from accompanying gangue minerals. The recovery in the flotation process is known to strongly depend on the hydrodynamic conditions in the tank. The optimal mixing kinetics is achieved using an agitator mechanism which suspends incoming mineral particles throughout the tank. The purpose of this study is to investigate the effect of various operating conditions, such as impeller agitation rate and particle size, on particle suspending characteristics of lab scale flotation tank using state-of-the-art real-time Electrical Resistance Tomography (ERT) system. Impeller agitation rate and particle size are found to have a significant effect on homogeneity of solid-liquid suspension. More experiments will be performed in the future to include additional particles sizes and densities, impeller designs and scales, and number of baffles.

**Keywords:** Flotation; Mineral processing; Electrical resistance tomography.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, Doutor, Professor, Departamento de Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Doutorando, Departamento de Engenharia Metalúrgica, University of Utah, Salt Lake City, Utah, Estados Unidos.

<sup>4</sup> Engenheira Química, Doutora, Professora, Departamento de Engenharia Metalúrgica, University of Utah, Salt Lake City, Utah, Estados Unidos.

## 1 INTRODUÇÃO

Flotação é um processo multifase complexo utilizado no processamento mineral visando a separação do mineral de interesse da ganga. A separação é alcançada por diferença de características da superfície dos minerais. A recuperação no método de flotação depende, essencialmente, das condições de mistura, interação partícula-bolha, tamanho médio da bolha, reagentes adicionados e tempo médio de permanência no tanque. As condições de mistura adequadas são obtidas utilizando-se um mecanismo agitador que suspende as partículas que são adicionadas e promove a homogeneidade no tanque [1].

O fluido pode ser classificado de acordo com o número de fases que interagem entre si. Misturas sólido-líquidos são encontradas em uma variedade de processos industriais e naturais. Como exemplo de aplicações específicas deste tipo de escoamento pode-se citar a oxidação catalítica, cristalização, flotação, lixiviação, polimerização, entre outros. Tanques de agitação também são utilizados em grande escala na indústria. Portanto, é essencial que analise a dinâmica do escoamento sólido-líquido em tanques de agitação, de modo a otimizar os processos e reduzir custos [2].

O requisito fundamental para se estudar a eficiência de mistura do tanque de agitação é a suspensão da fase sólida (partículas), visando maximizar a área de contato interfacial entre a fase sólida e líquida. A suspensão de partículas sólidas no tanque depende essencialmente da velocidade do impeller (rotor). Muitas pesquisas científicas têm sido focadas em prever a velocidade,  $N_{is}$ , onde todas as partículas sólidas estão suspensas; conhecida por condição de suspensão, onde nenhuma partícula permanece no fundo do tanque por mais de 1 ou 2 segundos. [2] Devido ao fato de que é necessária uma grande quantidade de energia para que o rotor alcance altas velocidades, é fundamental que se entenda a dinâmica deste escoamento minuciosamente, para explorar a melhor condição de escoamento e projeto de tanque para alcançar menores valores para a velocidade  $N_{is}$  sem influenciar negativamente na quantidade de sólidos suspensos, resultando em uma grande economia. Além do benefício econômico citado, compreender o complexo escoamento de uma mistura sólido-líquido fornecerá entendimento de escoamentos multifase em geral e as descobertas podem ser utilizadas para melhorar os modelos para misturas sólido-líquido-gases, que são ainda mais complexos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Os objetivos deste trabalho serão obtidos por meio da técnica de Tomografia por Resistência Elétrica, que tem por princípio a combinação de múltiplas medidas de condutividade ao redor do tanque, combinando os dados que fornecem as propriedades elétricas do fluido analisado. Um sistema de Tomografia por Resistência Elétrica (Figura 1) é composto de:

- Arranjo de eletrodos; cada grupo de eletrodos é ligado a um canal no aparelho de medição. Cada grupo fornece uma imagem transversal do tanque. Cada um é formado por um conjunto de 16 eletrodos, distribuídos em um arranjo circular no tanque. As dimensões do tanque podem ser vistas na Figura 2;

- Equipamento p2+, capaz de operar 8 canais de medição e diversas configurações de parâmetros;
- Software, que possui três funções: permitir a configuração das condições do processo; analisar as tensões medidas utilizando um algoritmo que gera um mapa de condutividade; fornecer ferramentas para analisar e exportar os dados obtidos.

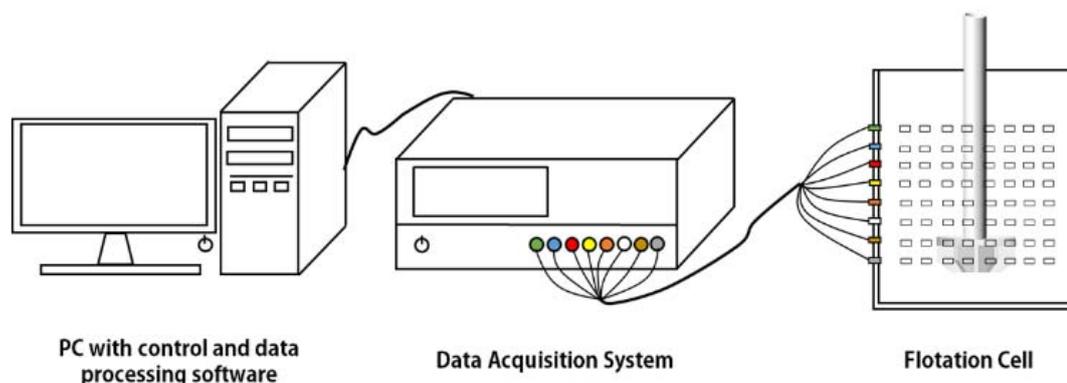


Figura 1. Sistema de Tomografia por Resistência Elétrica.

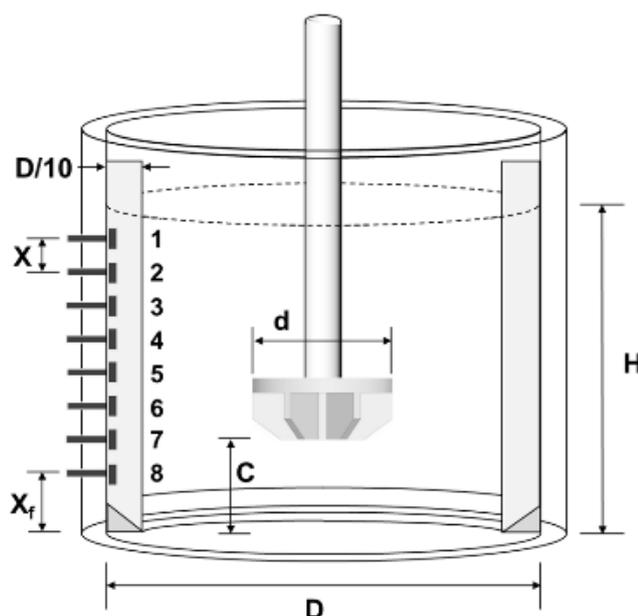


Figura 2. Dimensões do tanque.

As informações obtidas em relação as condições de mistura e suspensão das partículas no tanque de agitação podem ser utilizadas para prever a taxa de agitação ideal de operação, que resulta em uma grande redução de custo. Diversas técnicas experimentais foram utilizadas no passado para estudar o escoamento de misturas sólido-líquido [2]. Entretanto, para escoamentos turbulentos com alta concentração de sólidos, os experimentos são de difícil execução.

O objetivo do método de Tomografia por Resistência Elétrica é reconstruir a distribuição da condutividade elétrica dentro do sistema. A corrente é injetada entre um par adjacente de eletrodos e a tensão é medida em cada par adjacente de eletrodos, excluindo-se o par que recebeu a corrente. O par é trocado até que todas as combinações possíveis de eletrodos adjacentes tenham sido analisados - o sistema com 16 sensores fornece 104 medidas independentes (Figura 3).

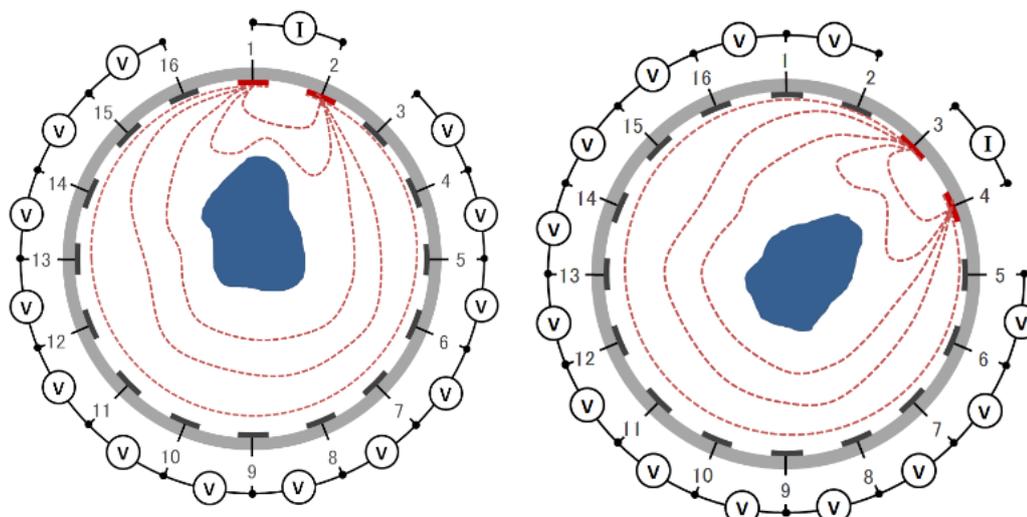


Figura 3. A corrente é injetada em um par e 13 medidas são feitas nos pares adjacentes. Na etapa seguinte o par de injeção varia e novas medidas são realizadas.

## 2.2 Métodos

Diversos parâmetros serão analisados neste projeto: tanques de flotação de tamanhos distintos, tamanho de partículas, variação da distância do rotor em relação ao fundo do tanque, velocidades de agitação.

Os resultados mostrados neste trabalho incluem diferentes velocidades de agitação e dois tamanhos de partículas, mantendo-se constante a porcentagem de sólidos, distância do rotor em relação ao fundo do tanque e tamanho do impeller (rotor). Um resumo dos parâmetros é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros experimentais utilizados.

PARÂMETRO	VALOR
Distância do rotor em relação ao fundo do tanque (Impeller Clearance)	$C = D/12 = 103 \text{ mm}$
Diâmetro do Rotor	$D = D/4 = 115 \text{ mm}$
Porcentagem de sólidos	10% w/w (4.2% v/v)
Taxa de agitação	291 RPM (1.39 m/s) 532 RPM (2.54 m/s) 894 RPM (4.26 m/s)
Tamanho médio das partículas	160 microns 515 microns

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

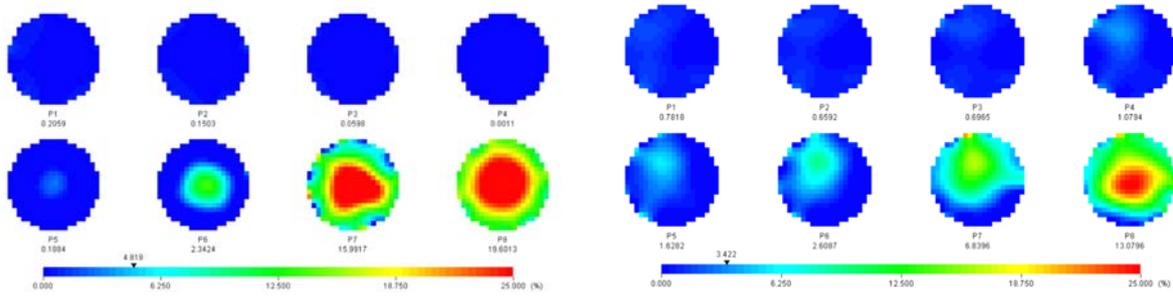
Entender o comportamento da mistura sólido-líquido pode fornecer conhecimento para as misturas multifase em geral. Os experimentos preliminares foram realizados utilizando-se diferentes tamanhos de partículas e velocidades de agitação.

Para melhor compreensão, os resultados obtidos estão divididos em colunas de acordo com o tamanho de partícula e velocidade no momento em que a medição foi realizada. O tomograma no canto inferior direito representa o fundo enquanto o superior esquerdo representa a parte de cima do tanque.

160 microns

515 microns

Velocidade de agitação 1.39 m/s

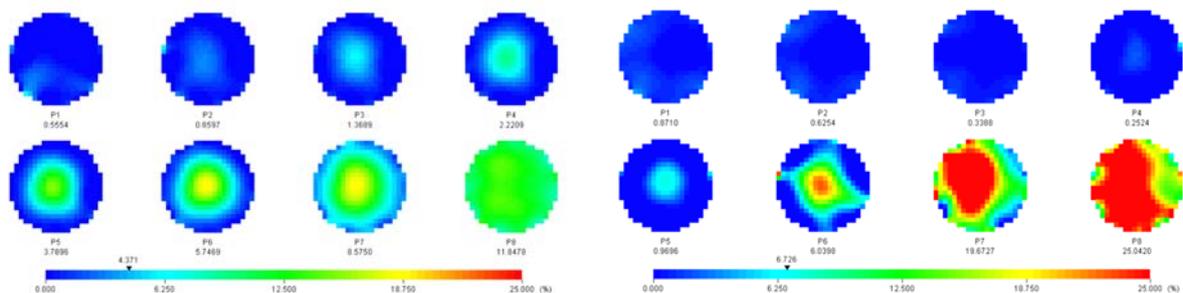


Operando em baixa velocidade é possível notar que as partículas de tamanho menor começam a suspensão, comportamento evidenciado nos planos 7 e 8 contendo uma maior concentração de partículas. Já para as partículas de tamanho maior, esta velocidade não foi o suficiente para suspender um número considerável de partículas, com uma pequena porcentagem podendo ser vista no plano 8.

160 microns

515 microns

Velocidade de agitação 2.53 m/s

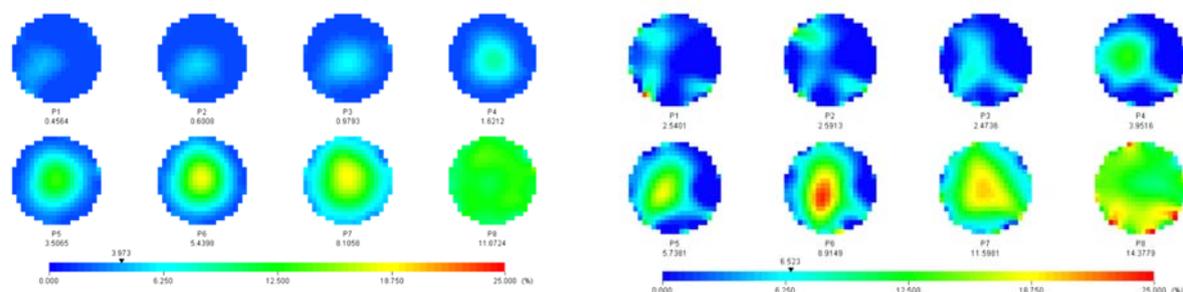


Com um aumento de velocidade um maior número de partículas foi suspensa para os diferentes tamanhos de partículas. A concentração de partículas menores suspensas pode agora ser vista nos planos 4-6. Para o maior tamanho, observa-se que esta velocidade promove uma boa suspensão de partículas, com uma alta concentração para os planos 7 e 8.

160 microns

515 microns

Velocidade de agitação 4.26 m/s



Por fim, a maior velocidade trabalhada neste experimento mostra que uma condição de homogeneidade é obtida para ambos tamanhos de partículas. Nesta condição as partículas estão se movendo no tanque em alta velocidade.

## 4 CONCLUSÃO

A técnica de Tomografia por Resistência Elétrica se mostrou satisfatória para monitorar as características da agitação de uma mistura sólido-líquido em um tanque de flotação em escala laboratorial. Pode-se perceber que a velocidade de agitação e tamanho das partículas tem um efeito significativo na homogeneidade da mistura.

Mais experimentos estão sendo desenvolvidos de modo a incluir novos tamanhos e densidade de partículas, diferentes configurações de projeto e tamanhos para o rotor (impeller), além de defletores nas paredes do tanque, para controlar o comportamento do fluido em altas velocidades de agitação.

## Agradecimentos

Agradecimento à CAPES pela bolsa do Programa Ciência sem Fronteiras; à University of Utah por me receber e me proporcionar a oportunidade de participar de um projeto de pesquisa no exterior e ao Instituto Federal do Espírito Santo que me abriu diversas portas desde o primeiro ano de faculdade.

## REFERÊNCIAS

- 1 AYRANCI, Inci et al., Effect of geometry on the mechanisms for off-bottom solids suspension in a stirred tank, *Chemical Engineering Science*, 79 (2012), 163 – 176.
- 2 HOSSEINI, Seyed et al., Study of solid-liquid mixing in agitated tanks through electrical resistance tomography, *Chemical Engineering Science*, 65 (2010), 1374 – 1384.