



## Seminário de Projetos de Ensino

Diretoria de Planejamento e Projetos Educacionais - DPROJ  
22 a 24 de setembro de 2015

**TEMA: Ciência, Cultura e Educação: Desafios à Universidade Pública na/da Amazônia**

### COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPAS DE MINÉRIO DA REGIÃO DE CARAJÁS

Riviane dos Santos Amorim<sup>1</sup> - Unifesspa

Jesiele Tavares de Sousa<sup>2</sup> - Unifesspa

Evaldiney Ribeiro Monteiro<sup>3</sup> - Unifesspa

**Eixo Temático/Área de Conhecimento:** Reologia de minérios

#### 1. INTRODUÇÃO

Os problemas inversos constituem uma classe muito interessante e comum de problemas na ciência e na engenharia. De maneira geral, estes problemas podem ser descritos como, problemas que envolvem a determinação de uma causa (desconhecida) a partir de um efeito (dado) medido ou observado.

A aplicação de problemas inversos é evidente em áreas como astrofísica, meteorologia, geofísica, medicina, química, matemática, biologia, física nuclear, etc. Dada a interdisciplinaridade e relevância das aplicações, nas últimas décadas, problemas inversos tem atraído uma grande quantidade de pesquisadores, interessados em outras aplicações que foram observadas e tratadas com este tipo de solução.

Um dos desafios que levam ao estudo desta classe de problemas é a estimativa de parâmetros presentes no modelo matemático a priori desconhecido, pois em grande maioria, os fenômenos físicos são de caráter não linear, o que dificulta a obtenção dos parâmetros a partir do vetor experimental. Deste modo, as questões associadas aos problemas inversos de estimativa de parâmetros devem ser introduzidas por meio de conceitos de frente ao problema direto e sua solução inversa.

Para a obtenção da solução de um problema inverso é necessário reformulá-lo em termos de um problema bem-posto usando técnicas apropriadas de minimização, regularização (suavização) e otimização. Além disso, a qualidade da solução encontrada depende da quantidade e qualidade dos dados experimentais que servirão de base de informação para o modelo numérico inverso.

#### 1.1 CARACTERIZAÇÃO DA POLPA

A viscosidade de um fluido pode ser definida como sendo a propriedade que o mesmo apresenta em oferecer uma maior ou menor resistência à deformação, quando sujeito a esforços de escorregamento. O fluido, em tratamento de minérios, é constituído pelo sistema água/minério, ou seja, a polpa (Luz, Sampaio e França, 2010).

A reologia da polpa desempenha um papel de grande importância nas operações de tratamento de minérios, como classificação, moagem, concentração, espessamento, filtração e disposição de polpas de rejeitos. Assim como no transporte do minério na própria usina de beneficiamento como também nos minerodutos.

Segundo Bisco (2009), reologia é a ciência que estuda a deformação dos fluxos, sendo medida através da viscosidade e tensão de escoamento. Estas são propriedades importantes a serem medidas principalmente quando se trata de bombeamento de polpas. Ressalta-se ainda que cada minério possua um comportamento reológico diferente, não existindo uma padronização. Isso ocorre porque as propriedades

<sup>1</sup> Graduanda do Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente (FEMMA/IGE/Unifesspa). E-mail: rivianeamorim@gmail.com.

<sup>2</sup> Graduanda do Curso de Engenharia de Minas e Meio Ambiente (FEMMA/IGE/Unifesspa). E-mail: engjts@unifesspa.edu.br.

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (FEMMA/IGE/Unifesspa). E-mail: evaldiney@unifesspa.edu.br



## Seminário de Projetos de Ensino

Diretoria de Planejamento e Projetos Educacionais - DPROJ  
22 a 24 de setembro de 2015

**TEMA: Ciência, Cultura e Educação: Desafios à Universidade Pública na/da Amazônia**

reológicas são afetadas por vários fatores, tais como: forma da partícula, granulometria, temperatura, pressão, etc.

### 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho tem por objetivo realizar a estimativa de parâmetros, fazendo uso das diversas técnicas existentes em literaturas, para modelos matemáticos presentes em diferentes áreas do conhecimento, principalmente em problemas de engenharia, oferecendo um conjunto de resultados de referência que possam servir de base comparativa para trabalhos futuros, quer sejam teóricos ou experimentais.

Trataram-se os dados experimentais para aplicar a estimativa de parâmetros para diferentes bibliografias disponíveis, sendo posteriormente, os problemas discutidos física e matematicamente, realizando-se uma análise crítica dos resultados a partir de observações de casos reais que concernem aos modelos propostos e observados empiricamente.

O desenvolvimento deste foi norteado pelo enfrentamento das dificuldades interpostas pela metodologia de solução, visando o oferecimento de um caminho definitivo para o tratamento mais robusto e preciso de problemas inversos. Não obstante, pela própria riqueza de possibilidades oferecida pela classe de problemas em análise, fazendo uso de trabalhos em desenvolvimento ou anteriormente desenvolvidos nas literaturas especializadas.

A principal dificuldade relacionada aos métodos tradicionais de estimação de parâmetros, é que os erros nos parâmetros medidos não podem ser explicados por estarem ausentes nas observações. Esta dificuldade desaparece caso sejam utilizados métodos de estimação de parâmetros estatísticos, que utilizam um modelo determinístico exato para as expectativas das observações, que são modeladas como valores de amostra de variáveis estocásticas que oscilam em torno das expectativas.

Utilizou-se o modelo de Ostwald de Waele, baseado na lei da potência, que segundo, Darley e Gray (1988) citado por Sampaio (2010) é o principal modelo empírico empregado na caracterização do escoamento de um fluido.

$$\tau(\dot{\gamma}) = a\dot{\gamma}^n, a > 0, \quad n > 0$$

Onde:

a – índice de consistência do fluido;

n – índice de comportamento do fluido;

Para a partida deste trabalho foi coletada amostra de saprólito de filito que se encontra em afloramentos no perímetro urbano da cidade de Marabá-PA. A preparação da amostra em escala laboratorial constituiu-se de cominuição, peneiramento e análise granulométrica, sendo utilizado para se preparar a polpa o material retido na faixa de 100 #.

As polpas de minérios foram preparadas nas seguintes porcentagens de sólido: 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40%, realizou-se as análises reológicas das polpas de minério, sendo usado o viscosímetro digital rotativo Q-860M21. Em seguida realizou-se a inversão dos dados experimentais estimando-se os parâmetros do modelo matemático específico para este problema.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A validade das soluções obtidas foi verificada a partir da validação da metodologia usando um problema já descrito na literatura, conforme a tabela 01 e o gráfico 01.

De acordo com a tabela observa-se que os valores modelos são similares aos usados como



## Seminário de Projetos de Ensino

Diretoria de Planejamento e Projetos Educacionais - DPROJ  
22 a 24 de setembro de 2015

### TEMA: Ciência, Cultura e Educação: Desafios à Universidade Pública na/da Amazônia

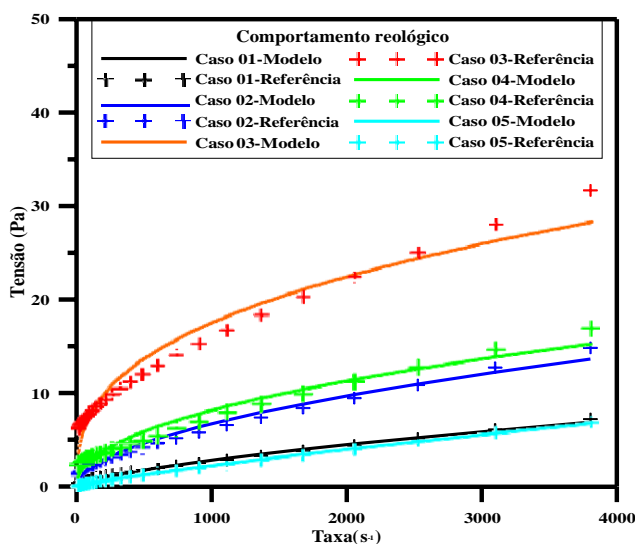
referência de Possa & Nascimento, diferenciando apenas a partir da quarta casa decimal, fato este que melhor se expressa ao analisar o gráfico.

Tabela 01: Resultados do estudo de reologia das polpas para validação do método.

	Caso 01		Caso 02		Caso 03		Caso 04		Caso 05	
Nt										
1	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000	.00000
10	.00785	.90566	.02297	.89423	.07893	.87645	.02996	.89043	.00501	.92139
20	.01581	.73820	.05140	.68653	.21593	.61043	.07058	.66633	.00804	.81608
30	.02678	.67302	.09403	.59988	.49710	.48572	.11876	.59732	.00866	.80847
40	.02682	.67288	.17095	.53110	.41396	.36130	.18809	.53784	.00866	.80846
50	.02682	.67288	.17172	.53067	.49407	.35690	.29999	.47266	****	****
60	****	****	.17173	.53066	.49480	.35683	.32845	.46595	****	****
70	****	****	.17173	.53066	.49480	.35683	.32853	.46592	****	****
80	****	****	****	****	****	****	.32853	.46592	****	****
Possa & Nascimento	,02674	,67326	,17177	,53062	,49486	,35682	,32885	,46579	,00866	,80851

Fonte: elaboração própria

Gráfico 01: Resultados do estudo de reologia das polpas para validação do método: relação entre taxa e tensão de cisalhamento



Fonte: elaboração própria



## Seminário de Projetos de Ensino

Diretoria de Planejamento e Projetos Educacionais - DPROJ  
22 a 24 de setembro de 2015

**TEMA: Ciência, Cultura e Educação: Desafios à Universidade Pública na/da Amazônia**

### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento reológico de polpas de minério é eficiente para etapas posteriores no processo de separação, mas que deve ser controlado, pois as variáveis devem estar bem definidas e o planejamento experimental estabelecido, para evitar erros de calibragem e medições instrumentais.

As curvas de índice de plasticidade de polpas foram obtidas a partir de referências específicas no tema, mostrando a aplicabilidade da obtenção de parâmetros em tratamento de minérios, bem como o uso de pacotes computacionais simbólicos para controle e execução de experimentos laboratoriais, seja de caráter didático ou de pesquisa científica.

O experimento reológico mostrou o comportamento não-newtoniano de polpas de minério, mas estes ensaios apresentaram erros de medição, isto se deve ao fato de o viscosímetro apresentar somente quatro variações para um dos parâmetros de controle, dificultando obter a curva experimental.

Este experimento confirmou a característica tixotrópica dessas polpas, devendo então o experimento ser realizado em um reômetro para obter maiores informações das variáveis, para o tratamento dos dados e estimativas dos parâmetros do modelo reológico do material estudado.

### REFERÊNCIAS

BISCO, A. **A influência de algumas variáveis sobre a reologia de polpas minerais**. 2009. 87f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte 2009.

POSSA, M. V. ; NASCIMENTO, C. R. Reologia no tratamento de minérios. In: LUZ, A. ; SAMPAIO, J. ; FRANÇA, S. **Tratamento de Minérios**. 5ª Edição. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Páginas 597-634.