

COMPORTAMENTO DE CONSOLIDAÇÃO DA POLPA DE BAUXITA GIBBSÍTICA NA PRESENÇA DE ADITIVOS

Christine R. Nascimento & João A. Sampaio

Centro de Tecnologia Mineral/CETEM-MCT.

Av. Pedro Calmon, 900. Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro/RJ CEP 21.941-908. E-mail:crabello@cetem.gov.br

RESUMO

É comum haver a estratificação sob fluxo quando polpas minerais, constituídas por partículas não coloidais, são transportadas através de dutos com vazões insuficientes para promover a turbulência necessária à permanência das partículas em suspensão. Sob o ponto de vista operacional, o caso de estratificação mais crítico ocorre durante uma parada do bombeamento, em que a sedimentação das partículas no interior da tubulação pode acarretar em dificuldades na retomada do processo. Quanto maior for a coesão do sedimento formado pelas partículas dentro da tubulação, maior será a resistência para resuspensão destas partículas. Portanto, é interessante o desenvolvimento de metodologias que permitam avaliar em quanto tempo de repouso atinge-se o máximo de consolidação do sedimento formado e até que ponto determinados fatores, como a granulometria, o pH, a ocorrência de argilominerais e aplicação de aditivos, podem influir nessa coesão. Neste trabalho foi feito um acompanhamento da variação da consolidação das partículas sedimentadas de uma polpa de bauxita gibbsítica em função do tempo de repouso e do tipo de aditivo empregado, mediante ensaios reológicos em reômetro rotacional. A metodologia em questão consiste numa variação do teste reológico aplicado na determinação da tensão limite de escoamento, no qual um rotor tipo *vane* gira com velocidade constante e pequena o suficiente para que seja detectado o rompimento da estrutura do sedimento formado. Em testes com a polpa de bauxita 50% (p/p) foi observado que num período entre 2 e 4 h de repouso ocorre praticamente toda a consolidação do sedimento formado e que após 24 h apenas um ligeiro acréscimo da tensão de ruptura foi detectado. O poli(álcool vinílico) foi o aditivo que promoveu uma redução nos valores de tensão de ruptura e de arraste do sedimento, enquanto que o dodecil sulfato de sódio e o poli(óxido de etileno) provocaram o aumento desses valores em relação ao minério sem aditivo. O procedimento utilizado é adequado para testes comparativos entre polpas com mesma concentração.

PALAVRAS-CHAVE: Bauxita, polpa, reologia, sedimentação, aditivos, mineroduto.

ABSTRACT

The ore slurry flow tends to be stratified when the minerals are mainly composed by non-colloidal particles and the stream rate is insufficient to induce the required turbulence to keep particles suspended in the transport liquid. Concerning to operational aspects, the most critical stratification case occurs in a pumping stop, when particles settle inside the pipe and can be difficult to restart the process. As bigger sediment cohesion, bigger will be the difficulties to resuspend the particulate matter. Thus, it is interesting to develop methods able to check up on the consolidation process that occur in the sediment and the influence of factors as rest time, pH, size particles distribution and additives or clay minerals contents. In this work, the particles consolidation behavior of a gibbsitic bauxite slurry sample were observed in function of rest time and the kind of additive used. A rheological vane method applied to achieve yield stress measurements was adapted. In the referred method, the vane sensor turns inside the sample using an appropriated condition to detect the structure rupture, with a constant and very slow rate. The tests were carried out using a 50% (w/w) bauxite slurry sample and it was observed that almost complete consolidation occurred between 2 and 4 h of rest, with a slight increase of rupture stress after 24 h of rest. The poly(vinyl alcohol) use induced a reduction of rupture stress and sediment drag whereas the opposite was observed when sodium dodecyl sulfate and poly(ethylene oxide) were used. The proceeding was suitable for comparative tests between slurries samples with same concentration.

KEY WORDS: Bauxite, slurry, rheology, settling, additives, pipeline.

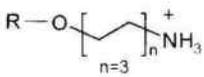
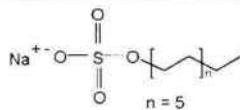
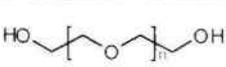
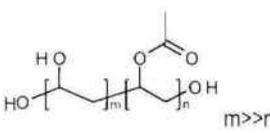
1. INTRODUÇÃO

As polpas minerais transportadas em dutos podem ser classificadas quanto a sua tendência à sedimentação. Sabe-se que quando a turbulência difusiva do fluido de transporte for insuficiente para manter as partículas não-coloidais em suspensão, haverá uma distribuição não uniforme das partículas – um gradiente de concentração - ao longo da seção transversal do duto (Matousek, 2005). Uma polpa com tendência à sedimentação pode estratificar sob fluxo em dutos horizontais e inclinados, nas vazões usuais empregadas neste tipo de operação. O fluxo é considerado estratificado quando certa quantidade de sólidos forma um leito granular na parte inferior da tubulação, o qual pode ser deslizante ou estacionário.

Uma parada eventual no processo de bombeamento de polpas com alto teor de sólidos pode ser particularmente crítica na medida em que o sedimento formado é capaz de obstruir a tubulação e dificultar o retorno da operação. O grau de compactação do sedimento é um parâmetro que deve ser determinado, sendo que testes de penetração podem ser usados para esta finalidade (Bragança & Silva, 2007). Como alternativa aos testes de penetração, neste trabalho foram empregados testes reológicos, cuja sensibilidade permite inclusive avaliar a influência de aditivos na coesão do sedimento formado.

É comum, no processamento mineral, a utilização de diversos aditivos orgânicos e inorgânicos, como por exemplo nos processos de flotação, espessamento, de moagem, entre outros. Grande parte destes aditivos interage com a superfície do minério ou atua como coadjuvante nos processos como, por exemplo, ocorre no caso dos coletores e espumantes usados na flotação. Neste trabalho foram estudados aditivos neutros, catiônicos e aniônicos que, muitas vezes, já são empregados industrialmente para diversas finalidades (Tabela I). Esta opção baseou-se no fato da bauxita ser formada por uma mistura heterogênea de minérios, predominantemente composta pela gibbsita, hematita e caulinita e, portanto, possuir sítios superficiais ativos com carga tanto positiva como negativa. Buscou-se, assim, avaliar de forma preliminar o efeito desses aditivos, os quais poderiam interagir com a superfície das partículas, alterando as a coesão do sedimento formado pela polpa em repouso.

Tabela I. Aditivos utilizados.

Sigla	Nome / Características relevantes	Estrutura	Aplicação convencional
Flotigan EDA	Alquil eteamina neutralizada / 100% iônico		Coletor catiônico
SDS	Dodecil sulfato de sódio		Surfatante aniônico
PEO	Poli(óxido de etileno) / alta massa molecular $\bar{M}_w = 4 \cdot 10^6$		Floculante neutro
PVA	Poli(álcool vinílico) / baixa massa molecular. 87 – 89% hidrolisado $\bar{M}_w = 13 \text{ a } 23 \cdot 10^3$		Dispersante / ligante neutro

A metodologia empregada neste trabalho (*vane method*) é similar à empregada na determinação da propriedade reológica tensão limite de escoamento (Liddell & Boger, 1996) e desconsidera o efeito de compactação devido à pressão hidrostática, que será relevante em situações em que a altura da coluna de fluido sobre o sedimento for elevada. Contudo, a variação relativa da coesão do sedimento em decorrência de variáveis, tais como o tempo de repouso, a quantidade de finos, o pH e a ocorrência de espécies químicas capazes de interagir com a superfície das partículas para uma dada concentração de polpa, pode ser facilmente observada por meio do método reológico. É interessante observar que a utilização do *vane* na área de mecânica de solos, para efetuar medidas de resistência ao cisalhamento de solos, foi anterior à sua utilização nos ensaios reológicos de suspensões (Liddell & Boger, 1996).

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

Neste trabalho foi utilizada uma polpa de bauxita originada do norte do Pará com 50% (p/p) de sólidos, cuja distribuição de tamanhos de partícula do minério e caracterização química e mineralógica foi apresentada num outro trabalho (Nascimento & Sampaio, 2009).

Os reagentes Flotigan EDA e SDS adicionados à polpa de tal forma que a suspensão 50% ficasse com 150g de aditivo por tonelada de minério.

Os reagentes poliméricos PEO e PVA foram adicionados à polpa de tal forma que as concentrações finais fossem de 30 g/t e 1,8 Kg/t, respectivamente.

2.2. Ensaios Reológicos

Os ensaios reológicos foram realizados utilizando um reômetro rotacional HAAKE RheoStress 1, do tipo Searle. O sensor utilizado foi o 2 *blade* ref. 222-1599 (*vane*). Foram utilizadas amostras de polpa com teor de sólidos de 50% (p/p), com e sem a presença de aditivos. O sensor foi imediatamente inserido após a amostra ser vertida no copo do reômetro e o teste foi executado após períodos pré-determinados de repouso, na temperatura de 25°C.

A programação utilizada foi a seguinte: manutenção da velocidade de rotação ($\Omega = 0,287$ RPM) por 300 s e os valores relativos a tensão de resposta ao deslocamento do sensor (τ) foram determinados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito do período de assentamento na formação e consolidação do sedimento com base em polpa de bauxita foi observado nas curvas de tensão *versus* deformação (Figura 1). Consta-se o mesmo perfil característico das curvas de tensão *versus* deformação obtidas para pós, como as descritas no trabalho de Orband & Geldart (1997). Em ambos os casos, a interpretação do comportamento verificado é a mesma: inicialmente, em níveis muito baixos de deformação, observa-se o aumento da resistência do material até um ponto de máximo (*yield point*) em que a ocorre a ruptura da estrutura, ou seja, as forças coesivas são superadas. Em seguida, ocorre o alívio da tensão e sua manutenção num patamar que está relacionado à resistência friccional do deslocamento das partículas umas sobre as outras.

Como a quantidade de partículas sedimentadas aumenta com o tempo de assentamento (repouso), observa-se um contínuo aumento nos níveis das tensões até o término do fluxo de massa para o sedimento. As curvas obtidas para as amostras sedimentadas por 4 e 24 h ocorreram essencialmente no mesmo patamar de tensões (Figura 1) indicando que o final da sedimentação ocorre entre 2 e 4 h. Estes resultados, a princípio, não podem ser relacionados à turbidez residual do líquido sobrenadante e nem a nenhum método de determinação de velocidade de sedimentação que utilize indiretamente as propriedades óticas da suspensão. A massa das partículas das partículas que porventura possam ainda estar em suspensão após um período de repouso pode ser insignificante para causar alterações na coesão, mas ser suficiente para deixar o sobrenadante turvo. Um ligeiro acréscimo na tensão de ruptura, que ocorre no período de 4 a 24 h de assentamento, pode estar associado a um processo de organização interna dessas partículas, que tendem a assumir uma configuração mais estável.

Aparentemente, o aditivo aniônico não polimérico SDS promoveu um aumento da coesão do sedimento ao passo que o aditivo catiônico Flotigan EDA não modificou esta propriedade (Figura 2). Contudo, existe ainda a possibilidade do SDS ter causado a desestabilização da suspensão, agindo de forma a neutralizar a carga das partículas coloidais contidas na suspensão, o que levaria a formação de agregados e a aceleração do processo de sedimentação. A segunda possibilidade sobre o efeito do SDS não pode ser descartada sem a devida investigação, contudo, ela é improvável por que não foi observada alteração nos valores de viscosidade aparente da polpa devido à utilização desse aditivo (Araújo & Nascimento, 2008). Sabe-se que modificações do tamanho, quantidade ou das interações entre partículas dos agregados acarretam em alterações nas propriedades reológicas de uma suspensão, especialmente no índice de pseudoplasticidade, o que não foi observado anteriormente.

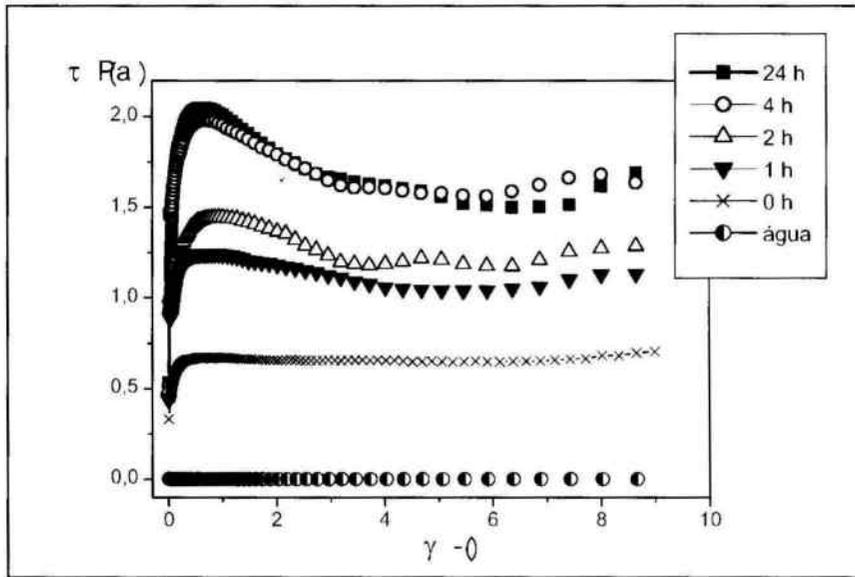


Figura 1 - Curvas de tensão (τ) versus deformação (γ) para a água e amostras da polpa de bauxita (50% p/p) após diferentes períodos de assentamento.

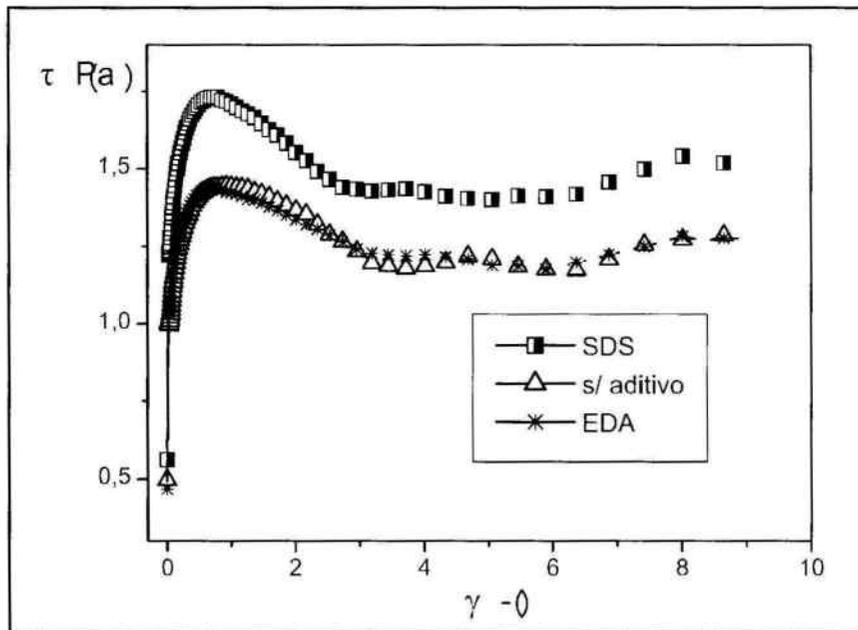


Figura 2 - Curvas de tensão (τ) versus deformação (γ) para amostras da polpa de bauxita (50% p/p) após duas horas de assentamento, na presença dos aditivos não poliméricos.

Além de promover aumento de tensão de ruptura, o aditivo polimérico PEO causou uma elevação contínua nos valores de tensão conforme prosseguiu a deformação do sedimento (Figura 3). O PEO é um polímero hidrossolúvel não iônico cujas interações com a superfície das partículas pode ocorrer mediante pontes de hidrogênio e pela adsorção dos segmentos da cadeia hidrocarbônica nos sítios hidrofóbicos da superfície mineral (Baltar, 2004). Sua ação como floculante pode ser atribuída ao alto peso molecular, o que contribui para a formação de pontes (segmentos de cadeia) que se ligam às partículas de minério. Assim, o desenvolvimento de valores crescentes de tensão pode estar associado à resistência ao arraste de um grande número de partículas ligadas a uma estrutura do tipo rede, formada pelas cadeias poliméricas.

Do mesmo modo que o PEO, as moléculas de PVA também possuem a capacidade de estabelecer ligações do tipo ponte de hidrogênio, contudo, como o peso molecular do PVA utilizado neste trabalho é baixo, não é esperado um efeito de floculação do minério. De fato, o perfil das curvas de tensão obtidas com o uso desses aditivos diferem consideravelmente (Figura 3).

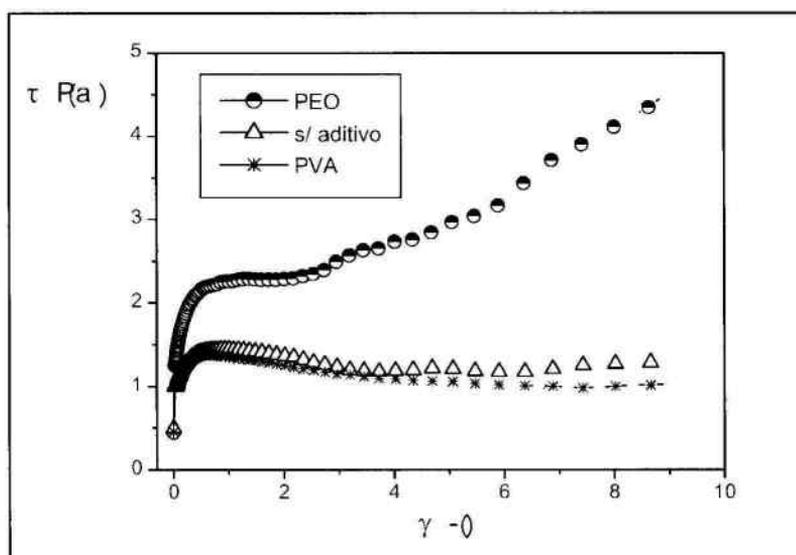


Figura 3 - Curvas de tensão (τ) versus deformação (γ) para amostras da polpa de bauxita (50% p/p) após duas horas de assentamento, sem aditivo e na presença dos aditivos poliméricos.

Observou-se uma redução na tensão de deformação do sedimento formado após 2h de repouso da polpa aditivada com PVA (Figura 4), em comparação com a polpa sem aditivo submetida ao mesmo período de repouso. Esta redução ocorre tanto para a tensão de ruptura do sedimento como os valores de tensão relativos ao arraste do material, evidenciando o efeito lubrificante do PVA sobre as partículas da bauxita.

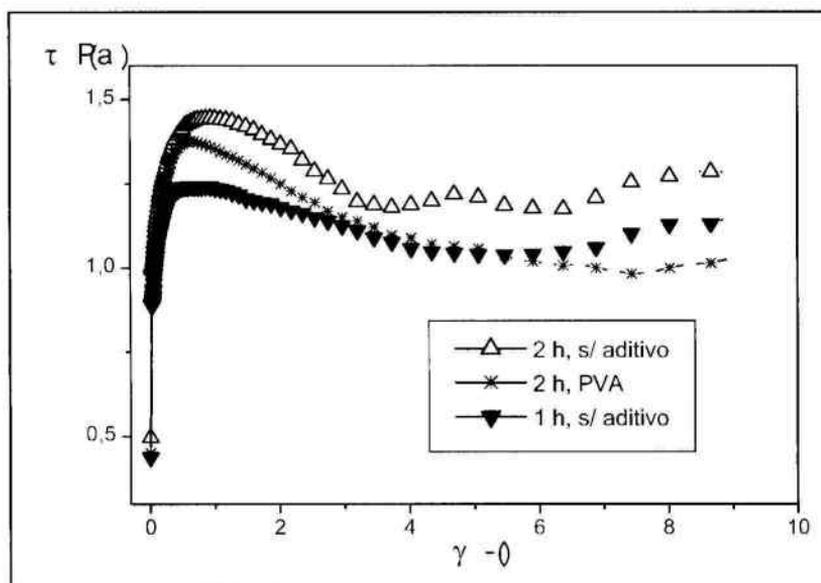


Figura 4 - Curvas de tensão (τ) versus deformação (γ) para amostras da polpa de bauxita (50% p/p) após uma e duas horas de assentamento, com e sem o aditivo PVA.

4. CONCLUSÕES

Em testes com a polpa de bauxita 50% (p/p) foi observado que num período entre 2 e 4 h de repouso ocorre praticamente toda a consolidação do sedimento formado e que após 24 h apenas um ligeiro acréscimo da tensão de ruptura foi detectado.

O poli(álcool vinílico) (PVA) foi o aditivo que promoveu uma redução nos níveis de tensão de ruptura e arraste do sedimento, enquanto que o dodecil sulfato de sódio (SDS) e o poli(óxido de etileno) (PEO) levaram ao aumento dos valores de tensão em relação ao minério sem aditivo.

O procedimento utilizado é adequado para testes comparativos entre polpas com mesma concentração e deve ser complementado com outras técnicas de caracterização para uma investigação mais abrangente sobre o processo de sedimentação e as interações que influenciam na coesão entre as partículas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CETEM/MCT e ao CNPq por todo apoio concedido a este trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, D. G. & Nascimento, C. R. Efeito da Aditivção nas Propriedades Reológicas e nas Características de Sedimentação da Polpa de Bauxita – I Ensaios Preliminares. Anais da XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM/MCT, p. 22 – 28, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.
- Baltar, C.A.M. Floculação. In.: Tratamento de Minérios. Luz, A.B. (editor), Centro de Tecnologia Mineral, 4 ed. Rio de Janeiro, RJ, p. 427 – 524, 2004.
- Bragança, A.C. & Silva, T.A. Alternative to Lime as a Rheology Modifier in the Transport of Iron Ore Slurry by the Samarco Pipeline, Hydrotransport 17. The 17th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids, p. 29-38, Cape Town, South Africa, 2007.
- Liddell, P.V. & V. Boger, D.V. Yield Stress Measurements with the Vane. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, v. 63, p. 235-261, 1996.
- Matousek, V. Research Developments in Pipeline Transport of Settling Slurries. *Powder Technology*, v. 156, p. 43-51, 2005.
- Nascimento, C.R. & Sampaio, J.A. Propriedades Reológicas da Polpa de Bauxita Gibbsítica. Anais do XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa - ENTMME, Gramado, Brasil, 2009, aceito para publicação.
- Orband, J.L.R. & Geldart, D. Direct Measurement of Powder Cohesion Using a Torsional device. *Powder Technology*, v. 92, p. 25-33, 1997.