

## PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE PASTAS MINERAIS PREPARADAS COM REJEITOS DE MANGANÊS

R.H.O.Barreda<sup>1</sup>, C.R.M.Fonseca<sup>2</sup>, G.E.S.Valadão<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Mineração, Vale Fertilizantes, Complexo Mineroquímico Cajati, BR 116, Km 488,5, 1190-000, São Paulo, Brasil. e-mail: [ruben.barreda@valefert.com](mailto:ruben.barreda@valefert.com).

<sup>2</sup> Departamento de Mineração, Vale Fertilizantes, Complexo Mineroquímico, Avenida Arafêtil, 5000, 38184-270, Araxá, Minas Gerais, Brasil. e-mail: [christian.fonseca@valefert.com](mailto:christian.fonseca@valefert.com).

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia - Bloco II - Sala 4134, Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. e-mail: [gvaladao@demin.ufmg.br](mailto:gvaladao@demin.ufmg.br).

### RESUMO

Elevadas quantidades de rejeitos são gerados diariamente pelas atividades da mineração. A disposição de rejeitos na forma de pasta mineral possui varias vantagens em comparação às barragens de rejeitos convencionais, já que; precisa-se de uma área menor para disposição, apresenta melhor recuperação de águas, menor é o risco de contaminação pela ruptura de barragens, facilita a recuperação final do local, entre outros. A tecnologia de pastas mineral tem-se desenvolvido rapidamente pelo mundo apresentando um significativo interesse por este tipo de disposição. Neste trabalho foram estudadas algumas características de pastas minerais obtidas com rejeitos de manganês. Foram determinadas: caracterização da amostra sólida, altura de abatimento (“slump”), ângulo de repouso (“flume”), perfil de concentração da zona de compressão, viscosidade e tensão de escoamento das pastas. Dentre as principais conclusões podem se citar: a) Os elementos predominantes do sólido são Mn, Fe, Si e Al com tamanho  $d_{50}$  da amostra de 4,63 $\mu$ m o que favorece a formação de pastas minerais; b) O rejeito de manganês apresentou o estado de pasta entre 47 e 56% de sólidos; c) foram atingidos ângulos de repouso das pastas superiores a 8°; d) entre 40 e 45% sólidos existe zona de transição de polpa de alta densidade para pasta mineral; e) o comportamento reologico de todas as pastas estudadas apresentou uma característica dupla: tixotrópica e reotrópica; f) a tensão de escoamento aumenta consideravelmente com valores superiores a 45% de sólidos na pasta mineral.

Palavras-chave: Pasta mineral; Disposição de rejeitos; Reologia de pastas.

## 1. INTRODUÇÃO

A disposição de rejeitos na forma de pasta mineral tem muitas vantagens em comparação às barragens de rejeitos, por exemplo: precisa-se de uma área muito menor para disposição, apresenta melhor recuperação de água, tem menor o risco de contaminação pela ruptura de barragens, há redução na contaminação da água de processo, facilita a recuperação final do local entre outras.

Segundo os trabalhos de Jewell (2002) e de Araujo et al. (2003), uma pasta mineral pode ser conceituada como um sistema de partículas finas que se apresenta como um fluido homogêneo, no qual não ocorre a segregação granulométrica das partículas, e que, se disposto de forma suave em superfícies estáveis, não apresenta drenagem significativa de água. As características do comportamento das pastas são devidas ao adensamento em sólidos, fazendo que, a partir de uma determinada porcentagem de sólidos, não haja segregação das partículas sólidas na mistura. Como resultado, podem se obter ângulos de disposição mais elevados do que ao utilizar polpas, por exemplo na faixa de 2 até 5%, representando um ganho importante em termos de volumes a serem dispostos, sobretudo para grandes áreas, características das disposições em barragens (Araujo et al., 2003). É importante destacar que dentre as principais propriedades de uma pasta mineral para a disposição dos rejeitos adensados, destacam-se: tensão de escoamento; altura de abatimento; ângulo de repouso; viscosidade, entre outros. Na atualidade, a produção de pasta mineral tanto para o preenchimento de cavidades subterrâneas ou disposição em superfície pode ser obtida a partir de espessadores de características especiais conhecidos como espessadores de pasta ou por meio de filtros. A utilização de espessadores de pasta mineral apresenta um elevado atrativo como uma alternativa ao processo de filtragem, permitindo uma maior recuperação de água que nos processos convencionais. Laudriault (2002), na Figura 1 apresenta um gráfico esquemático da tensão de ruptura em função do adensamento da mistura sólido/líquido na qual observam-se distintos estados de consistência possíveis: polpa, polpa de alta densidade, pasta e torta. Também são indicados alguns dos equipamentos utilizados nas tarefas de desaguamento, bombeamento e filtragem dessas misturas sólido/líquido, os regimes e velocidades de fluxo possíveis e as características de segregação das partículas sólidas.

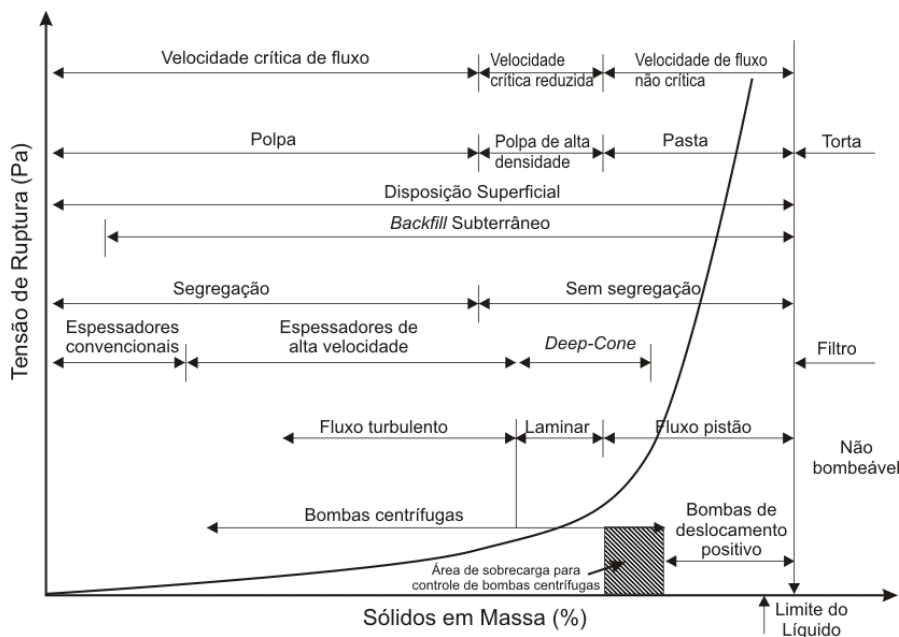


Figura 1: Misturas sólido/líquido: polpa, polpa de alta densidade, pasta e torta, com os respectivos equipamentos utilizados para sua obtenção. (Laudriault, 2002).

A utilização de espessadores para a produção de pasta mineral com reologia não newtoniana vem sendo praticada em países como Canadá, Estados Unidos e Austrália para disposição de “Red Mud” (Slottee, 2005), na atualidade esta tecnologia está ganhando grande interesse em diversos países como por exemplo Chile e Peru para o máximo reaproveitamento dos escassos recursos

hídricos das regiões áridas, devido à menor disponibilidade de água e as pressões ambientais que levam à produção de pasta mineral uma alternativa de processo muito interessante.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Materiais

Foram utilizadas amostras minerais que correspondem a rejeitos de manganês provenientes da usina de beneficiamento Azul da mineradora Vale, onde foram caracterizados tanto os componentes sólidos, polpas de alta densidade e pastas minerais produzidas entre 40% e 60% de sólidos mediante a utilização de espessador de pasta em escala de laboratório.

### 2.2 Técnicas e equipamentos utilizados

Para a caracterização da pasta mineral foram utilizadas as seguintes técnicas e equipamentos indicados no Quadro I.

Quadro I: Técnicas e equipamentos utilizados na determinação das propriedades de pasta mineral.

<i>Propriedade</i>	<i>Técnica utilizada</i>	<i>Equipamento requerido</i>
Consistência da pasta.	Teste de abatimento.	Cilindro de PVC.
Fluidez da pasta.	Teste de calha.	Calha de acrílico.
Viscosidade da pasta	Viscosimetria.	Viscosímetro Brookfield DV-III.
Tensão de escoamento	Vane.	Reômetro Brookfield YR-I.
Adensamento da pasta.	Teste de adensamento.	Espessador de acrílico.

#### Teste de abatimento (Slump)

Os testes de abatimento foram realizados considerando-se a norma NBR NM 76, utilizando-se cilindro de PVC de 10cm de diâmetro e 10cm de altura. A determinação da porcentagem de abatimento (%ABT) e calculada mediante a equação (1):

$$\%ABT = S / H * 100 \quad (1)$$

Onde: S é a diferença entre altura do cilindro e altura da pasta já ensaiada; H é a altura inicial do cilindro. A Figura 2 apresenta a sequência do procedimento do teste de abatimento.

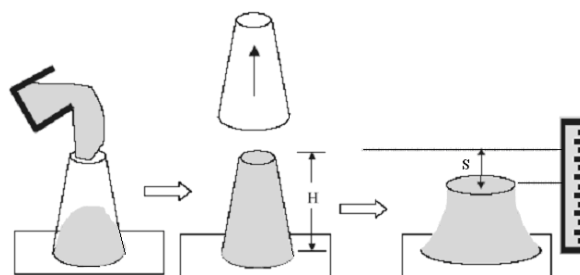


Figura 2: Procedimento do teste de abatimento (“slump”). (Clayton et al, 2003).

#### Teste de calha (Flume)

Uma calha de laboratório foi utilizada para a realização destes testes, constituída de material em acrílico com 100cm de comprimento, 20cm de largura e 20cm de altura. Foram consideradas inclinações de calha de 0, 3 e 6%. A Figura 3 apresenta de forma esquemática a calha utilizada.

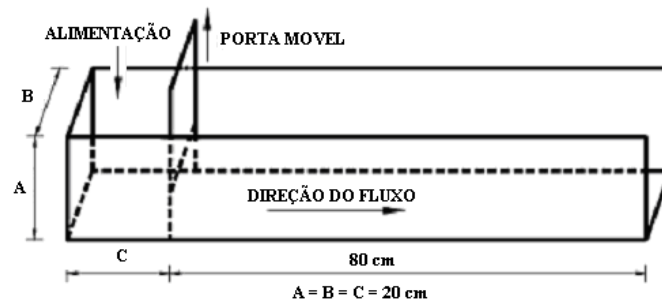


Figura 3: Forma e dimensões da calha utilizada. (Kwak et al, 2005).

A seguinte equação (2) apresenta como é determinado o ângulo de repouso ( $\theta_R$ ) da pasta mineral.

$$\theta_R = \arctg [(h_1 - h_2)/L] \quad (2)$$

Onde:  $h_1$  é altura no ponto inicial da calha;  $h_2$  é altura no ponto final da calha; L corresponde ao comprimento da pasta o longo da calha após realização do teste.

### Viscosimetria

Os testes de viscosidade da pasta mineral foram realizados no viscosímetro digital Brookfield, modelo DV-III que dispõe de interface on-line para o computador. A Figura 4 apresenta o viscosímetro utilizado.

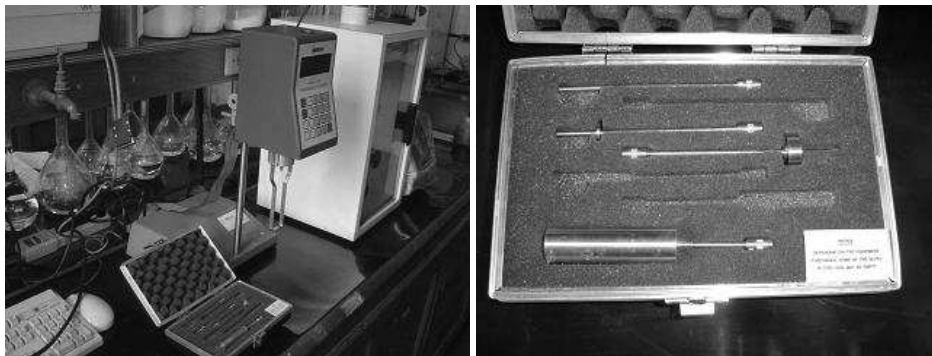


Figura 4: Viscosímetro Brookfield modelo DV-III com os “spindles” LV-1, LV-2, LV-3 e LV-4.

Este equipamento permitiu estudar o comportamento reológico da pasta mineral de maior adensamento realizando testes com crescentes velocidades de rotação da haste até alcançar um valor máximo e logo retornar ao ponto inicial. Foram utilizadas hastes (“spindles”) LV-3 e LV-4, que permitem registrar maiores valores da viscosidade.

### Vane

Os testes de tensão de escoamento da pasta mineral foram realizados no reômetro digital Brookfield modelo YR-I similar ao viscosímetro que também dispõe de interface on-line para o computador. O princípio do método de vane consiste basicamente em utilizar um rotor de quatro pás que é imerso em amostras de diferentes concentrações de sólidos. Em cada teste, a rotação é iniciada lentamente até um valor constante procurando-se detectar o momento de rendimento em que o esforço de torção exercido pelas pás alcança um valor máximo.

## Teste de adensamento

Os testes de adensamento foram realizados no equipamento especialmente construído em material de acrílico apresentado na Figura 5. O espessador tem uma altura total de 120cm com 10cm de diâmetro, o qual possui uma serie de bicos para amostragem da camada de sedimentação, recirculação e alimentação da polpa no equipamento, foram utilizadas bombas peristálticas para operação contínua.

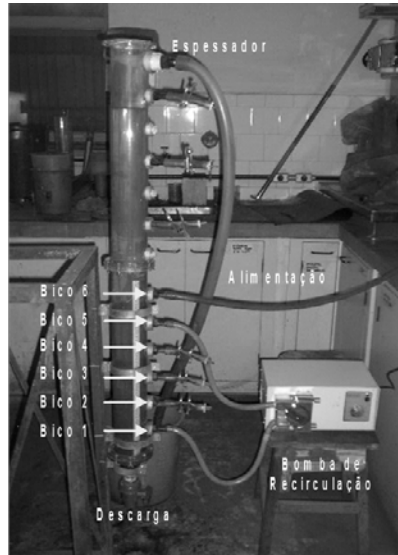


Figura 5: Espessador escala de laboratório utilizado para produção de pasta mineral (Barreda, 2008).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 6 apresenta os valores obtidos nos testes de abatimento em função das pastas minerais de rejeitos de manganês obtidas com espessador de laboratório.

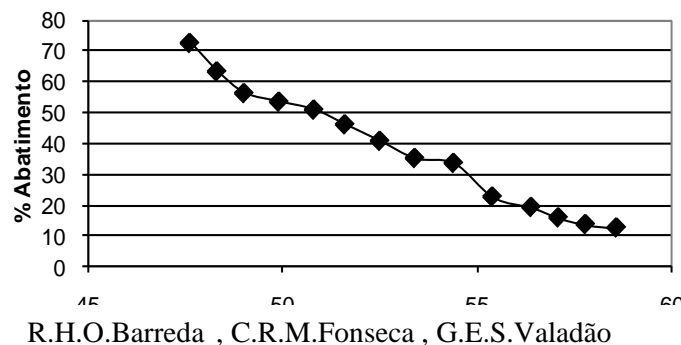


Figura 6: Abatimento em função do adensamento da pasta mineral de rejeito de manganês.

A Figura 6 indica que o rejeito de manganês se apresenta como pasta na faixa de adensamento entre 48 e 56% de sólidos, sendo isto observado na porcentagem de abatimento com valores menores a 80% em função do adensamento de sólidos, valores menores a 10% de abatimento correspondem à consistência de uma torta de filtragem obtida com a mesma amostra. Portanto, os consumos de água nestas misturas vão de 44 até 52% em massa, que podem ser considerados como valores elevados. A Tabela I apresenta os resultados referentes à caracterização do sólido: granulometria, área superficial e espécies mineralógicas predominantes.

Tabela I: Características físicas e químicas da amostra de rejeito de manganês.

Amostra	$d_{50}$ ( $\mu\text{m}$ )	Índice de Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Principais espécies
Rejeito Manganês	4,63	8.932	Pirolusita e Caulinita

A Figura 7 apresenta os ângulos de repouso considerando inclinações da calha de 0, 3 e 6% em referencia à horizontal versus o adensamento de sólidos das pastas minerais obtidas mediante espessador de laboratório.

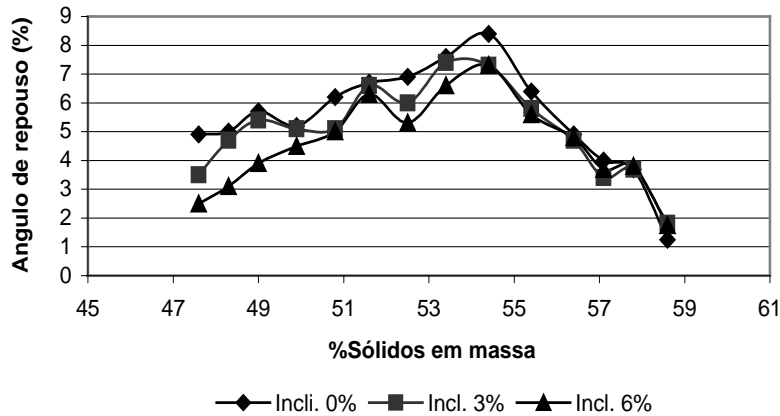


Figura 7: Ângulos de repouso versus adensamento das pastas minerais de rejeitos de manganês.

As Figuras 8 e 9 apresentam os resultados dos testes de viscosidade das pastas minerais. Os ciclos reológicos empregados foram de 1-20-1 rpm para baixas rotações da haste e 1-100-1 rpm para maiores rotações da haste.

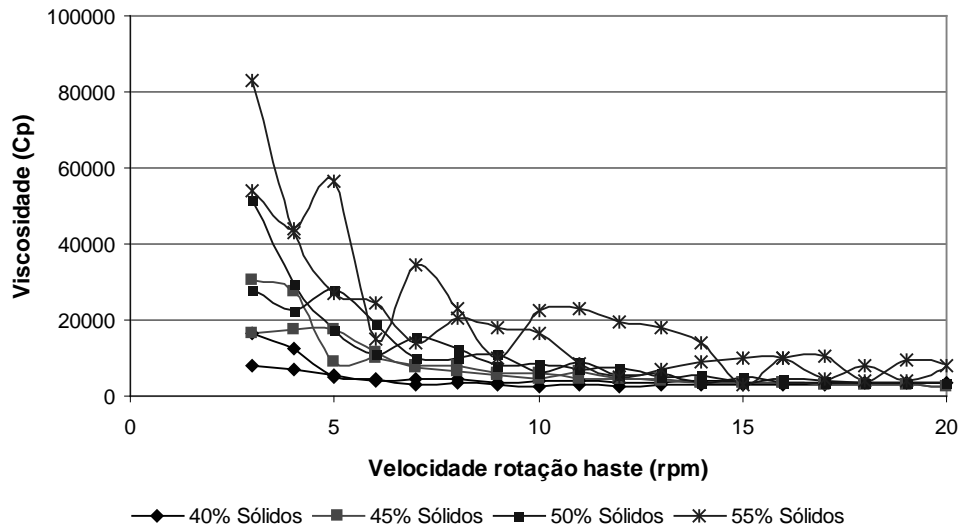


Figura 8: Ciclos reológicos das pastas de rejeito de manganês: 1-20-1 rpm.

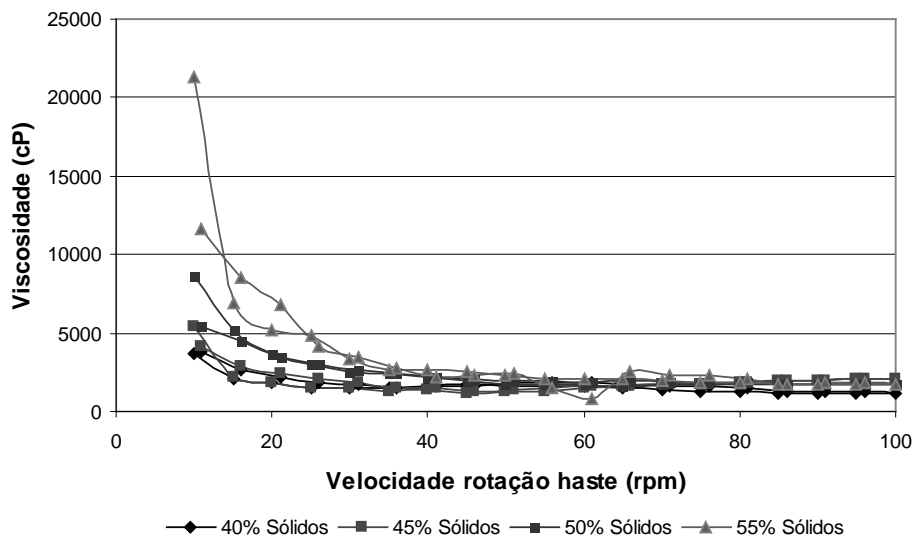


Figura 9: Ciclos reológicos das pastas de rejeito de manganês: 1-100-1 rpm.

Nas Figuras 8 e 9, verifica-se que o comportamento reológico de todas as pastas minerais estudadas apresenta um caráter misto ou duplo, tixotrópico e reotrópico. Observa-se, também, elevados valores de viscosidade exibidos pelas pastas mais adensadas com 55% de sólidos em massa. Os maiores valores de viscosidade foram registrados nas pastas submetidas ao ciclo reológico 1, que são da ordem dos 80.000cP. No caso do ciclo 2 tem se menores valores de viscosidade aparente nas pastas com 40 e 45% de sólidos em massa da ordem dos 1.150cP.

A Tabela II apresenta os valores obtidos nos testes de tensão de escoamento das pastas minerais produzidas.

Tabela II: Resultados de tensão de escoamento das pastas minerais produzidas.

<i>%Sólidos em Massa</i>	40	45	50	55
<b>Tensão de Escoamento (Pa)</b>	40,6	52,9	67,3	99,0

O aumento exponencial da tensão de escoamento com a porcentagem de sólidos em massa e típico das características das pastas minerais, o comportamento da tensão de escoamento das pastas geradas se correlaciona com a seguinte equação exponencial (3).

$$y = 3,858\exp^{0,0583X} \quad (3)$$

Nos testes de adensamento foram coletadas amostras do espessador de laboratório em diferentes tempos operacionais para obter concentrações entre 40% e 60% de sólidos em massa na forma de polpa de alta densidade e pasta mineral.

~  
R.H.O.Barreda , C.R.M.Fonseca , G.E.S.Valadão.

Segundo os resultados obtidos nos testes de abatimento o rejeito de manganês se apresenta como pasta mineral na faixa de adensamento entre 48 e 56% de sólidos em massa. Portanto, os consumos de água nestas misturas vão de 44 até 52% em massa, que podem ser considerados como valores elevados. Na caracterização do sólido a granulometria fina com tamanho médio de 4,63µm e elevada área superficial de 8.932cm<sup>2</sup>/g. As espécies mineralógicas predominantes da amostra foram Pirolusita e Caulinita. Ângulos de em torno de 8 graus foram obtidos nos testes de calha para adensamentos próximos a 55% de sólidos, fator que indica um favorecimento no que diz à estabilidade do material na deposição. Nos testes de reologia as pastas apresentaram um caráter duplo de tipo tixotrópico e reotrópico. A relação entre a tensão de escoamento das pastas minerais estudadas e a porcentagem de sólidos mostrou ser do tipo exponencial, o que é comportamento típico das pastas minerais. O espessador de laboratório utilizado para a produção das pastas minerais com diferentes porcentagens de sólidos mostrou ter operação satisfatória.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, A. C., G. E. S. Valadão., Evandro M. Da Gama e C. A. Hernández.. “Consistencia, Fluidez y Viscosidad de Pastas Minerales de Relaves de Hierro” Información Tecnológica-vol.17 N°2., p. 71-79, La Serena Chile, 2006.

Araujo, A. C., Souza, C. C., Amarante, S. C., 2003. Rejeitos Adensados para Disposição em Superfície - Nova Tecnologia em Minério de Ferro. In: IV Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, IV, Ouro Preto, 2003.

Barreda, R.H.O. Desenvolvimento de Equipamento Produtor de Pasta Mineral. Belo Horizonte. Dissertação de Mestrado, CPGEM-UFMG, 2008

Clayton, S., Grice, T. G., Boger, D.V. Analysis of the Slump Test for on-site Yield Stress Measurement of Mineral Suspensions. International Journal of Mineral processing, Melbourne – Australia, No. 70, p. 3-21, 2003.

Houman, J., Jhonson, G. “Commissioning and Operation of the Paste Thickening Farm at Kimberley Combined Treatment Plant”, International Seminar on Paste and Thickened Tailings, Melbourne, 2003.

Jewell, R. “Paste & Thickened Tailing in the Australian Mining Industry.” High Density & Paste, Seminário, Santiago Chile, 2002.

Kwak, M., James, D.F., Klein, K.A. Flow Behavior of Tailings Paste for Surface Disposal. International Journal of Mineral processing. Toronto-Canadá, p. 1-15, 2005.

Slottee, S, Johnson J, Crozier M, “Paste Thickening Iron Ore Tailings”, IV Brazilian Symposium on Iron Ore, p., 904 -911, 2005.

Laudriault, D. The Surface Disposal of Industrial Waste: Slurry Placement v/s High Density Slurry Placement v/s Placement as a Paste. In: High density & Paste Seminar, Santiago Chile, Apresentações digitais, 2002.