

EFEITO DA MINERALOGIA NA FILTRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO¹

Henrique Dias Gatti Turre²
Marco Antonio Zuch²
Adriano da Silva Marchez²
Bianca Medeiros²
Heidy de Oliveira Simoes²
Adail Mendes Araujo Junior²
Thiago Marchezi Doellinger²

Resumo

A filtragem do minério de ferro é uma importante etapa no processo de pelotização. Muitos são os fatores que afetam seu desempenho. Entre eles citam-se o percentual de finos e a mineralogia do material, que se correlacionam, respectivamente, com a área superficial específica dos sólidos (SE) e a perda por calcinação (PPC). Usualmente, na prática industrial, esses dois fatores estão correlacionados, ou seja, quando o PPC aumenta, temos como consequência o aumento da SE, dificultando a determinação do efeito de cada fator na umidade da torta e produtividade da filtragem. Amostras com mesma granulometria e PPC ligeiramente diferentes foram avaliadas em teste de folha. Os resultados indicaram que o PPC tem efeito negativo no desempenho da filtragem para amostras com baixa área superficial específica. Investigações complementares, como análises de mineralogia, morfologia, em granulômetro e reômetro, foram realizadas para fornecer informações que auxiliassem no entendimento do desempenho das amostras na filtragem.

Palavras-chave: Mineralogia; Filtragem; Minério de ferro; *Pellet feed*.

MINERALOGY EFFECT IN THE IRON ORE FILTERING

Abstract

Iron ore filtering is an important stage in the pelletizing process. There are a lot of factors affecting its performance. Some are fines amount and ore mineralogy, that are correlated with, respectively, solids specific surface area (Blaine) and loss on ignition (LOI). Usually, in the industrial practice, these factors are correlated, which means that when LOI is increased, the consequence is Blaine increase, what difficult the individual effect of each factor in the cake moisture and filtering productivity. Samples with same size distribution and slightly different LOI were evaluated in leaf tests. The results showed that LOI has a negative effect in the filtering performance for samples with lower specific surface area. Complementary investigations, such as mineralogy, morphology, sizing and viscosity analyses, were performed to generate information to support the understanding of samples' filtering performance.

Key words: Mineralogy; Filtering; Iron ore; *Pellet feed*.

¹ Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES.

² Engenharia de Processo e Automação, Samarco Mineração S.A. – Ponta Ubu, Anchieta – ES.

1 INTRODUÇÃO

A Samarco, produtora de pelotas de minério de ferro usadas na produção do aço, extrai e beneficia seu minério na unidade industrial de Germano, em Mariana (MG), e o transforma em pelotas que são embarcadas nos navios dos seus clientes na unidade industrial de Ubu, em Anchieta (ES). Ligando essas duas unidades existem dois minerodutos, com quase 400 km de extensão.

O concentrado recebido em Ubu, cerca de 24,4 milhões de toneladas por ano de sólidos, deve ser submetido ao processo de separação sólido-líquido para recuperação da água e ajuste da umidade do *pellet feed* que constitui o principal insumo para produção de pelotas. Essa separação é feita em 41 filtros de discos verticais a vácuo com 110 m² de área útil.

O teor de umidade do *pellet feed*, uma das variáveis de resposta dessa etapa, terá um forte impacto na qualidade da pelota produzida no final do processo e no consumo de combustíveis no processo de endurecimento da pelota, que é um dos fatores mais onerosos no processo produtivo.

A teoria clássica, descrito por uma relação empírica conhecida como Lei de Darcy, Equação 1, considera que o processo de filtração é executado por meio da passagem de um líquido através de um meio poroso, não compressível.

$$\frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{L} \quad (1)$$

Onde:

- ΔV = fluxo do filtrado;
- L = espessura do meio filtrante + torta;
- ΔP = diferencial de pressão através da torta e do meio filtrante;
- k = coeficiente de filtração (permeabilidade do leito);
- A = área filtrante;
- Δt = tempo de fluxo de filtrado; e
- μ = viscosidade do filtrado.

O desempenho da etapa de filtração é influenciado por uma série de fatores ligados às condições operacionais do filtro, qualidade dos sólidos em suspensão, íons em suspensão, características do meio disperso etc.

Fonseca, Barbosa e Birro⁽¹⁾ analisaram em testes de folha a influência de parâmetros como velocidade do ciclo de operação, temperatura e densidade da polpa na umidade e na produtividade da torta. O efeito da baixa velocidade causou uma redução da umidade e da produtividade final da torta, que é explicado pela maior exposição da torta na região de secagem. O aumento de temperatura e da densidade apresentou resultados semelhantes, isto é, ambos favorecem a umidade e a produtividade. Atribuíram esse efeito a redução da viscosidade da água e do teor de fase líquida na polpa.

Valadão, Peres e Valadão⁽²⁾ apresentaram modelos empíricos para a filtração estudando as variáveis de pH, adição de agregantes e surfatantes e a área superficial específica. Foi verificado que para maiores áreas superficiais há um elevado teor de umidade e uma baixa produtividade. A filtração em pH ácido tende a amenizar esse efeito da alta área superficial.

Wakeman⁽³⁾ avaliou o tamanho, a porosidade, a forma, e a distribuição das partículas no processo de filtração. Notou que a diminuição do tamanho da partícula ou elevação da porosidade geram uma redução da resistência específica e maior umidade na torta. O tamanho da partícula quando aumentado em 10 vezes causa

uma redução da resistência da ordem de 100 vezes. A forma da partícula deve ser mais próxima do formato esférico e ter a menor quantidade de poros para apresentar uma baixa umidade. Caso apresente porosidade, exigirá maior tempo para a formação e secagem da torta objetivando a manutenção da umidade.

A composição mineralógica do minério é um dos parâmetros mais importantes nas diversas etapas de produção de pelota. Alguns estudos já avaliaram seu efeito nas etapas de separação sólido-líquido.

Goulart e Valadão⁽⁴⁾ realizaram a otimização das operações industriais de espessamento e filtragem através de testes de sedimentação e de folha. Observaram que o PPC era diretamente proporcional ao percentual de goethita no minério. O aumento da participação do minério com maior percentual de PPC não causou efeito significativo sobre a velocidade de sedimentação e produtividade do filtro, porém houve aumento de aproximadamente 1% na umidade da torta.

Resende⁽⁵⁾ avaliou a sedimentação de concentrados produzidos a partir de minérios de ferro selecionados na mina com diferentes percentuais de PPC. Inicialmente determinou que o PPC tem uma correlação direta com o percentual de goethita no concentrado. Os resultados dos testes de sedimentação em proveta de laboratório mostraram que a velocidade de sedimentação caiu de 7,6 cm/min, com o material de 1,5% de PPC, para 5,4 cm/min, com material de 3,7% de PPC.

Uma das maiores dificuldades de se avaliar o efeito da mineralogia em etapas do processamento mineral que acontecem após a fragmentação é que esse fator ficará correlacionado com a área superficial específica, dificultando a identificação dos efeitos de cada um. Usualmente o PPC é proporcional a área superficial específica,⁽⁵⁾ contudo podem não apresentar nenhuma correlação,⁽⁴⁾ dependendo fortemente da forma como essas amostras foram geradas.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar em escala de laboratório o efeito somente da variável mineralogia na etapa de filtragem. Para isso faz-se necessário a geração de amostras com diferentes composições mineralógicas, mas mesma granulometria ou área superficial específica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As amostras utilizadas na avaliação inicial foram obtidas no arquivo de *pellet feed*. Foram coletados concentrados com mesma distribuição granulométrica, mas diferentes mineralogias. Foi preparada quantidade suficiente para a realização de testes de folha pelo método usual, ou seja, cerca de 10 kg por teste.

As demais amostras, uma constituída essencialmente por hematita especular e a outra por goethita, foram coletadas diretamente na frente de lavra. Foram, inicialmente, fragmentadas em moinho tubular de bolas de laboratório para, em seguida, sofrerem cominuição em moinho de painéis de laboratório por tempos controlados até obtenção de amostras com mesma área superficial específica. Foram preparadas pequenas quantidades para cada uma das quatro amostras (hematita ou goethita e fina ou grossa) de teste, cerca de 1 kg.

Os testes de folha foram executados em equipamento esquematizado na Figura 1a. As amostras minerais foram misturadas com água destilada até a polpa atingir a densidade de 2,1 cm³/g.

As amostras obtidas no arquivo foram testadas seguindo procedimento usual do teste de folha, ou seja, utilizando o setor com área de 94 cm² (Figura 1b), tecido multifilamento, tempo de formação e secagem de, respectivamente, 15 s e 45 s. O setor é submergido na polpa, com agitação manual, para simular a formação. O

resultado de um teste consiste na média de duas tortas filtradas a partir da mesma amostra com cerca de 5 litros de polpa.

As amostras que geraram pequena quantidade para teste tiveram que ter o seu desempenho na filtragem avaliado com um procedimento adaptado. Foi utilizado um funil de Büchner (Figura 1c), com área de 28 cm², papel de filtro e tempo de formação e secagem determinados simulando desempenho semelhante aos obtidos no procedimento usual. Cada resultado é a média de três testes realizados com 30 g de sólidos.

A umidade foi determinada após secagem da torta em estufa a 100°C por uma hora conforme NBR ISO 3087.⁽⁶⁾

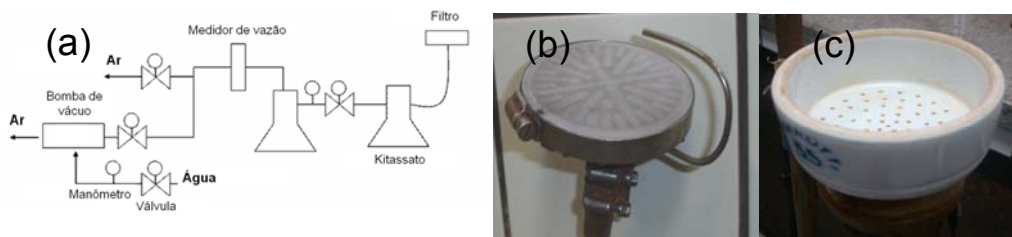


Figura 1. Desenho esquemático (a) do sistema de vácuo para o teste de folha, setor (b) e funil de bucher (c) utilizados nos testes.

A viscosidade de algumas amostras foi determinada através de um reômetro Brookfield R/S3+CC. A granulometria das amostras foi obtida usando-se peneiras de laboratório e granulômetro a laser Mastersizer 2000 da Malvern Instruments. A área superficial específica foi determinada em permeabilímetro de Blaine.⁽⁷⁾

O teor de PPC foi determinado por calcinação em forno mufla a 1.000°C.

A densidade dos sólidos foi determinada por picnomêtro Quanta Chrome Multi Pycnometer.

Por fim, a análise morfológica foi realizada por microscópio Imager.M2m e analisador de imagens AxioVision com magnificação de 200 vezes. Partículas menores que 29,5 μm² foram desconsideradas, pois, nesse aumento, não possuíam tamanho suficiente para avaliação de sua morfologia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização de duas amostras de *pellet feed*, A e B (Tabela 1), mostrou que apesar de ambas exibirem mesma granulometria, apresentavam diferente composição mineralógica. A análise de resultados obtidos por diferentes métodos são indicativos dessa conclusão. Por exemplo, o maior percentual de material hidratado na amostra B é evidenciado pelo seu menor peso específico, maior PPC e menor quantidade de hematita compacta.

Tabela 1. Resultados da caracterização das amostras de pellet feed testadas

			A	B	
Física	Peso específico		g/cm ³	5,10	4,95
	Superfície específica		cm ² /g	1.506	1.592
	Peneira	-100+200#	%	2,1	2,4
		-200+325#	%	13,3	13,9
		-325#	%	84,6	83,6
	Granulômetro	d10	μm	5,0	4,4
d50		μm	30,0	30,7	
-10μm		%	18,6	19,7	
Química	PPC		%	0,64	1,53
Mineralogia	Hematita especular		%	79	70
	Hematita porosa		%	15	19
	Goethita		%	4	9
	Magnetita		%	0	1
	Quartzo liberado		%	2	2

Os resultados de teste de folha com as amostras A e B (Figura 2), mostraram que a amostra com maior PPC resultou em desempenho inferior, tanto em relação a produtividade quanto a umidade. Como as duas amostras apresentaram distribuição granulometria muito semelhante, supõe que essa diferença de desempenho possa ser atribuída a composição mineralógica das amostras. A diferença de pH entre as amostras de polpa de menor e maior PPC, respectivamente, 7,2 e 7,0, também poderia estar afetando o desempenho, devido a diferenças nas condições de estabilidade. Sabe-se que minerais mais hidratados apresentam maior ponto isoelétrico,⁽⁸⁾ contribuindo para aumentar a diferença de grau de estabilidade. Contudo Henriques⁽⁹⁾ determinou que o a diferença de potencial zeta entre diferentes amostras de minerais de minério de ferro nessa faixa de pH foi inferior a -5 mV.

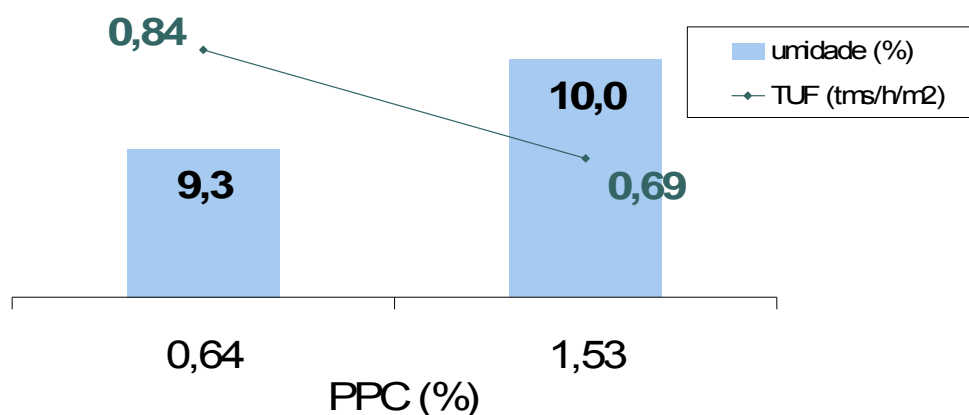


Figura 2. Desempenho no teste de folha das amostras de pellet feed com baixo PPC.

As viscosidades de Bingham das amostras de baixo e alto PPC foram determinadas como sendo iguais a, respectivamente, a 0,0133 Pa.s e 0,0147 Pa.s. Conforme mostrado na Equação 1, a viscosidade do meio é inversamente proporcional a espessura da torta e ao fluxo de filtrado, ou seja, a produtividade e umidade da torta. Outros estudos já mostraram que o aumento na porosidade⁽¹⁰⁾ e diminuição da esfericidade⁽¹¹⁾ das partículas resulta num aumento da viscosidade da suspensão mineral.

Amostras de hematita coletadas na frente de lavra foram cominuídas por 20 s e 40 s, resultando em área superficial específica de 1.954 cm²/g e 2.581 cm²/g. Amostras de goethita, por sua vez, demandaram um tempo menor, 15 s e 35 s, para gerar uma área de 1.923 cm²/g e 2.567 cm²/g.

Apesar da utilização do funil de Büncher não ser o mais indicado para simulação de filtros a vácuo de disco verticais,^(12,13) optou-se por essa metodologia devido a necessidade de menores quantidades de amostra. Além disso, os resultados obtidos deveriam representar tendências e não necessariamente correlações diretas com resultados industriais.

Os resultados do teste de folha de amostras de material hematítico e goethítico, que apresentaram um PPC igual a, respectivamente, 3% e 10% (Figura 4), mostraram que na faixa grosseira o PPC exibe forte efeito na umidade, enquanto que na faixa mais fina, o seu efeito não é estatisticamente significativo. Nesses testes, foram modificados os tempos de secagem, resultando em diferentes produtividades.

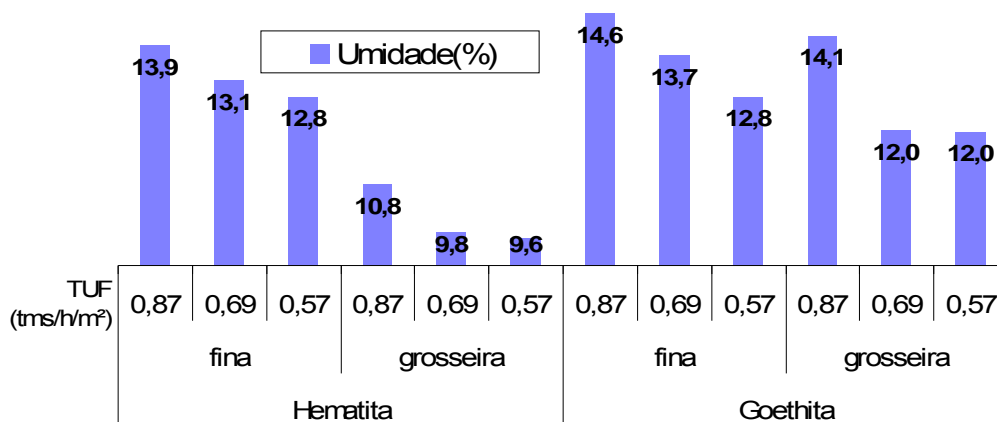


Figura 4. Resultados de umidade das amostras minerais coletadas na frente de lavra.

Foram investigados em microscópio a forma e porosidade de cerca de mil partículas por amostra daquelas que exibiram o desempenho na filtragem da Figura 4.

Foi observado que goethitas exibiam uma área de poros por partícula bem maior que os das hematitas (Figura 5). Nas goethitas a média da área de poros por partícula foi de cerca de 100 μm² com um alto desvio padrão, cerca de 400 μm². Já na hematita a média foi igual a 30 μm² com desvios de 54 μm² e 189 μm², respectivamente, para a faixa fina e grosseira. Além disso, a quantidade de partículas com poros em relação ao número de partículas total é muito maior nas goethitas, 35%, do que nas hematitas, 16%. A área ocupada pelos poros em uma partícula exibiram uma forte correlação com o perímetro total dos poros, independente da amostra.

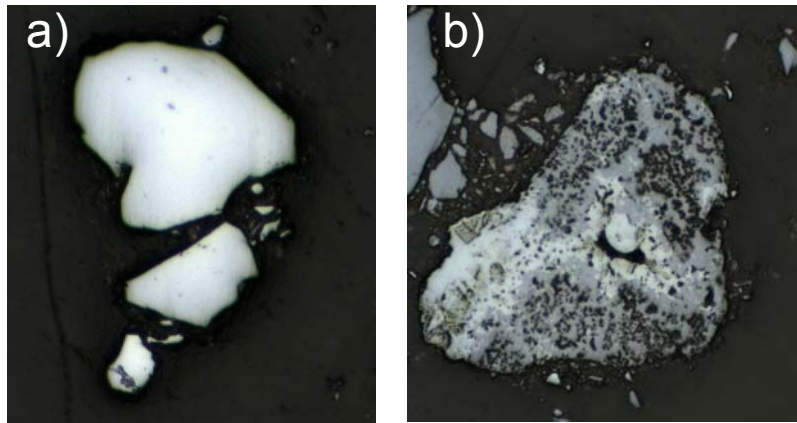


Figura 5. Partícula de hematita, apresentando pequena porosida, (a) e de goethita, exibindo a presença de muitos poros de pequeno diâmetro (b).

As amostras de goethita exibiram uma esfericidade média menor do que as de hematita, respectivamente, 0,45 e 0,59. Além disso, a distribuição do valor de esfericidade foi mais uniforme ao redor da média para as goethitas e muito concentrada numa faixa maior para a hematita, onde 50% das partículas apresentaram esfericidade entre 0,46 e 0,71 (Figura 6). Sabe-se que quanto mais estreita for a distribuição granulométrica, maior será a viscosidade.⁽¹⁴⁾

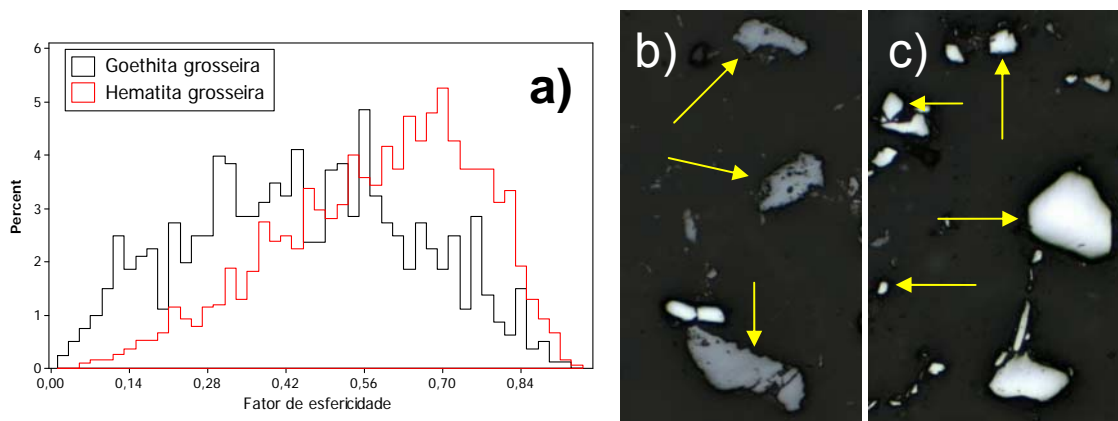


Figura 6. Histograma da distribuição de esfericidade das partículas de goethita grossa e fina (a) e exemplos de partículas de com esfericidades na mediana: goethita grossa (b) e hematita grossa(c).

A análise no granulômetro dessas amostras (Tabela 2), mostrou que outros fatores, como os evidenciados na análise granulométrica, estariam contribuindo para a área superficial específica das mesmas, além da quantidade de partículas de menor granulometria. Como exemplo, cita-se a amostra fina de goethita que, apesar de possuir uma área superficial específica bem maior e pior desempenho na filtragem do que a mostra de hematita grossa, possuía menor quantidade de partículas pequena granulometria.

Tabela 2. Análise granulométrica dos materiais hematíticos e goethíticos

		Hematita		Goethita	
		fina	grossa	fina	grossa
-10 μm	%	27	24	22	18
d50	μm	21	23	32	46

As análises mineralógicas e granulométricas indicam que o baixo desempenho na filtração da goethita grosseira pode ser atribuído a existência de elevada porosidade, o que resulta numa retenção da umidade na torta que não vencida nem com maiores tempos de secagem. Enquanto a hematita fina apresentou baixo desempenho na filtração devido à grande quantidade de partículas de pequena granulometria, o que resultaria em capilares menores, aumentando a resistência ao escoamento do filtrado, a goethita fina foi afetada pelo somatório desses efeitos.

4 CONCLUSÕES

Conclui-se que aspectos como porosidade e forma das partículas afetam o desempenho da filtração. Por isso, amostras com área superficial específica semelhantes, mas diferentes mineralogias, poderão apresentar comportamentos distintos na filtração, principalmente se tiverem menor área superficial específica. Além disso, foi observado que a área superficial específica, medida em permeabilímetro de Blaine, não é afetada somente pela distribuição granulométrica, mas também pela morfologia das partículas. A medida da viscosidade das polpas se mostrou como um interessante parâmetro de previsibilidade do desempenho para a filtração.

REFERÊNCIAS

- 1 FONSECA, T. P. B. BARBOSA, E. A., BIRRO, G. M. (2005) Avaliação da influência de parâmetros de operação na performance da filtração de uma polpa de minério de ferro por meio de testes de folha. In: VI Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro da ABM. Florianópolis, 9p.
- 2 VALADÃO, G. E. S. ; PERES, A. E. C. ; VALADÃO, C. H. S. (1996) A Superfície Específica como Variável em Modelos de Filtração. In: XXIV Congresso Brasileiro De Sistemas Particulados. Uberlândia, v.2. p.488-492.
- 3 WAKEMAN, R. (2007) The influence of particle properties on filtration. Separation and Purification Technology, v.58, p.234-241.
- 4 GOULART, C. L.; VALADÃO, G. E. S. (1998) Otimização das operações unitárias de espessamento e filtração da Samarco Mineração S.A. através da metodologia de superfície de resposta. In: XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro, p.271-289.
- 5 RESENDE, A. J. C. (2009) Otimização Influência da perda por calcinação na sedimentação de concentrados de minério de ferro da Samarco Mineração S.A. Dissertação de Mestrado (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte. 64p.
- 6 NBR ISO 3082 (2002) Minérios de ferro - Procedimentos de amostragem e preparação de amostras.
- 7 ASTM C204 (2007) Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus, 9p.
- 8 MARCHESI, F. M; TURRER, H. D. G.; DOELLINGER, T. M. (2011) Implementação do método de Mular e Roberts para determinação do potencial isoelétrico de minerais no laboratório químico da Samarco Mineração. In: XXIV Encontro Nacional de Tratamento de Minério e Metalurgia Extrativa, Salvador, 8p.
- 9 HENRIQUES, A. B. (2009) Caracterização mineralógica e propriedades eletrocínéticas de hematitas do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação de mestrado apresentado no Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 144p.

- 10 BOYLU, F.; DINÇER, H.; ATES, G. (2004) Effect of coal particle size distribution, volume fraction and rank on the rheology of coal–water slurries. *Fuel Processing Technology*, v.85, p.241– 250.
- 11 YUAN, J.; MURRAY, H. H. (1997) The importance of crystal morphology on the viscosity of concentrated suspensions of kaolins. *Applied Clay Science*, v.12, p.209-219 apud HE, M.; WANG, Y.; FORSSBERGA, E. Slurry rheology in wet ultrafine grinding of industrial minerals: a review. *Powder Technology*, v.147, p.94-112.
- 12 GOMES, M. V. N.; VALADÃO, G. E. S.; ARAÚJO, A. C.; SILVA, R. V. G. (1998) Teste de folha: uma reavaliação. In: XVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Águas de São Pedro, p. 221-235.
- 13 AMARANTE, S. C. (2002) Filtragem de minérios de ferro - comparação entre métodos de filtragem de laboratório: Testes de Folha e de Funil de Büchner. Dissertação de mestrado apresentado no Curso de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 125p.
- 14 YANG, H. G.; LI, C. Z.; GU, H. C.; FANG, T. N. (2001) Rheological behavior of titanium dioxide suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, v.236, p.96-103.