

COMPARATIVO DE TECNOLOGIAS DE FILTRAGEM APLICADAS A REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO¹

Nilton Caixeta Guimarães²
George Eduardo Sales Valadão³
Antônio Eduardo Clark Peres⁴

Resumo

O aumento previsto do volume de rejeitos a serem gerados nos novos projetos para beneficiamento de itabiritos pobres no Quadrilátero Ferrífero tem acentuado a necessidade de se investigar novas alternativas para a sua disposição. O método convencional de disposição dos rejeitos em barragens com polpas diluídas requer grandes áreas e apresenta grande impacto ambiental. A filtração e a disposição dos rejeitos em pilhas pode ser uma alternativa viável. A realização de ensaios de filtração, comparando e verificando as alternativas tecnicamente e economicamente mais viáveis, torna-se de suma importância dentro desse contexto. Foram realizados ensaios em bancada nas principais tecnologias de filtração: a vácuo, sob pressão, capilar e hiperbárica. Os resultados mostraram que os rejeitos de flotação podem ser filtrados aplicando as tecnologias mais usuais de filtração: filtro de disco convencional e filtro horizontal de correia. A filtração de lamas só foi possível aplicando tecnologia de filtração sob pressão, porém com baixa taxa unitária de filtração e umidade da torta relativamente alta.

Palavras-chave: Filtração; Rejeitos; Empilhamento.

COMPARISON OF FILTERING TECHNOLOGIES APPLIED TO IRON ORE TAILINGS

Abstract

The expected increase in volume of waste to be generated in the processing of new projects for the low grade itabirites in the Iron Quadrangle has accentuated the need to investigate new alternatives for their disposal. The conventional method with the disposal of slurry in tailings dams with diluted pulp requires large areas and with great environmental impact. Filtration and disposal of tailings in stockpiles may be a viable alternative. Running filtration tests, comparing and verifying technically and economically more viable alternatives, becomes very important in this context. Laboratory scale filtration tests were performed using the main available filtering technologies available in the market: vacuum filtration, pressure, hyperbaric and capillary filters. The results showed that the flotation tailings can be filtered by applying the technologies most commonly used: conventional disc filter and horizontal belt filter. Filtration of slimes was only possible by applying filtering technology under pressure, but with low unit rate of filtration and relatively high cake moisture.

Key words: Filterig; Tailing; Stockpiles.

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 *Engenheiro, MSC – VALE.*

³ *Professor, Doutor, Departamento de Engenharia de Minas – UFMG.*

⁴ *Professor, Ph.D. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFMG.*

1 INTRODUÇÃO

Os teores metálicos cada vez mais baixos nas minas de ferro do Quadrilátero Ferrífero (exigindo maior manuseio de rejeitos para uma mesma escala de produção) requerem a necessidade de se buscar alternativas à metodologia convencional de disposição de rejeitos em forma de polpa. Segundo Baginsk,⁽¹⁾ uma solução viável para esta questão contribuirá para o processo de licenciamento ambiental de novos projetos, garantindo a sobrevivência da mineração no estado de Minas Gerais.

A disposição dos rejeitos em pilhas pode ser uma alternativa viável. A filtragem de rejeitos é uma prática usual nas minerações do deserto de Atacama, na região norte do Chile, para reduzir as perdas de água devido a sua escassez na região.

Para que ocorra a filtragem é necessária a existência de uma força incidente sobre as partículas através de um meio poroso e pode ser conseguida através de: gravidade, vácuo, pressão ou centrifugação (Tabela 1).

Tabela 1. Mecanismos de filtragem e os principais fornecedores

Tipos	Características	Modelos de Filtros	Principais Fornecedores
Filtragem a vácuo	Criada uma pressão negativa debaixo do meio filtrante	Filtro de tambor, de disco convencional, filtro horizontal de mesa e filtro horizontal de correia	Andritz Delkor FLSmidth Gaudfrin Larox
Filtragem sob pressão	Uma pressão positiva é aplicada na polpa	Filtro prensa horizontal, filtro prensa vertical	Andritz FLSmidth (Pneumapress) Larox
Filtragem centrífuga	Utiliza a força centrífuga para forçar a passagem do líquido	Centrífugas verticais e Decanters	Alfa Laval Andritz GEA (Westfalia)
Filtragem hiperbárica	Em que se combinam vácuo e pressão	Filtro de disco encapsulado ou hiperbárico	Andritz , Bokela, Gaudfrin
Filtragem capilar	Utiliza a ação de capilares de meios cerâmicos porosos para efetuar o desaguamento	Ceramec	Larox

Na filtragem a vácuo, é criada uma pressão negativa abaixo do meio filtrante, enquanto que, na filtragem sob pressão, uma pressão positiva é aplicada na polpa. Existem processos de filtragem em que se combina vácuo e pressão (filtragem hiperbárica) e outros que se beneficiam da ação dos capilares de meios cerâmicos porosos combinados com a de aplicação de vácuo (filtragem capilar).

Nos filtros Hi-Bar (hiperbáricos), a pressão aplicada na operação pode chegar a 6 bar acima da pressão atmosférica. Para tanto, os filtros são acondicionados em um vaso de pressão e operam hermeticamente fechados. Um sistema de válvulas especiais possibilita a descarga do filtrado e da torta sem que o equipamento esteja em contato direto com o meio externo.

O fabricante Larox apresenta o filtro de disco cerâmico da Ceramec com a vantagem operacional de maior economia de energia, estimada em 15% do consumo de um filtro a vácuo convencional na mesma aplicação.

A empresa FLSmidth Minerals comprou, no fim de 2007, as tecnologias da Dorr-Oliver e Eimco que estavam em poder da GLV desde 1998 e 2002, respectivamente. Em maio de 2008, ela adquiriu a Pneumapress. Os filtros de pressão verticais da Pneumapress apresentam um conceito diferente de filtragem, que aplica ar comprimido quente para promover a secagem.

Este trabalho visa comparar as diversas tecnologias de filtragem, disponíveis no mercado, para aplicação nos rejeitos de minério de ferro, visando à sua disposição por empilhamento. O estudo completo é apresentado em Guimarães.⁽²⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de rejeitos são provenientes das principais usinas de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero. Nas usinas estudadas, a maior geração de rejeitos é proveniente das etapas de flotação e deslamagem (aproximadamente, 34% cada), seguido pela etapa de concentração magnética (próximo a 21%).

A distribuição granulométrica das amostras foi determinada utilizando peneiramento e granulômetro a laser.

Os ensaios de filtragem foram realizados em testes de bancada em laboratório. A definição do tipo de teste a ser aplicado em cada amostra foi baseada, principalmente, na granulometria do material (Tabela 2). Segundo Valadão,⁽³⁾ para os minérios na granulometria das lamas (-10 µm) são aplicados os filtros de pressão. Àqueles com tamanho de partículas acima de 150 µm (rejeito de concentração magnética) são aplicados filtros com alimentação por cima, ou seja, alimentação direta da polpa sobre o elemento filtrante (caso do filtro horizontal de correia). A alimentação por baixo é limitada a polpas que possam ser mantidas em suspensão mediante agitação moderada. Para minérios na faixa entre 150 µm e 10 µm (rejeitos de flotação) podem ser utilizados filtros de pressão e a vácuo.

Tabela 2. Ensaios programados de filtragem

	Filtro de disco convencional	Filtro horizontal de correia	Filtro Prensa Horizontal	Filtro Prensa vertical*	Filtro Hiperbárico	Filtro de Disco Cerâmico
<i>Rejeitos</i>						
Concentração Magnética		X		X		
Flotação	X	X	X	X	X	X
Lamas			X	X	X	

*Filtro prensa vertical com injeção de calor

Todos os ensaios de filtragem foram realizados com concentração de sólidos na alimentação de 60%, em massa (exceto para as lamas, onde a concentração de sólidos foi de 40%), e temperatura ambiente de polpa.

O dimensionamento de filtros a vácuo (filtros de discos convencionais e filtros horizontais de correia) foi realizado através de ensaios de laboratório conhecidos

como teste de folha (*leaf test*), com alimentação por cima. No dimensionamento foi utilizado o método clássico estabelecido por Dahlstrom e Silverblatt.⁽⁴⁾ Para outras tecnologias, foram utilizadas metodologias próprias dos fabricantes de equipamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Granulométrica

A Figura 1 apresenta as distribuições granulométricas dos principais rejeitos das usinas amostradas.

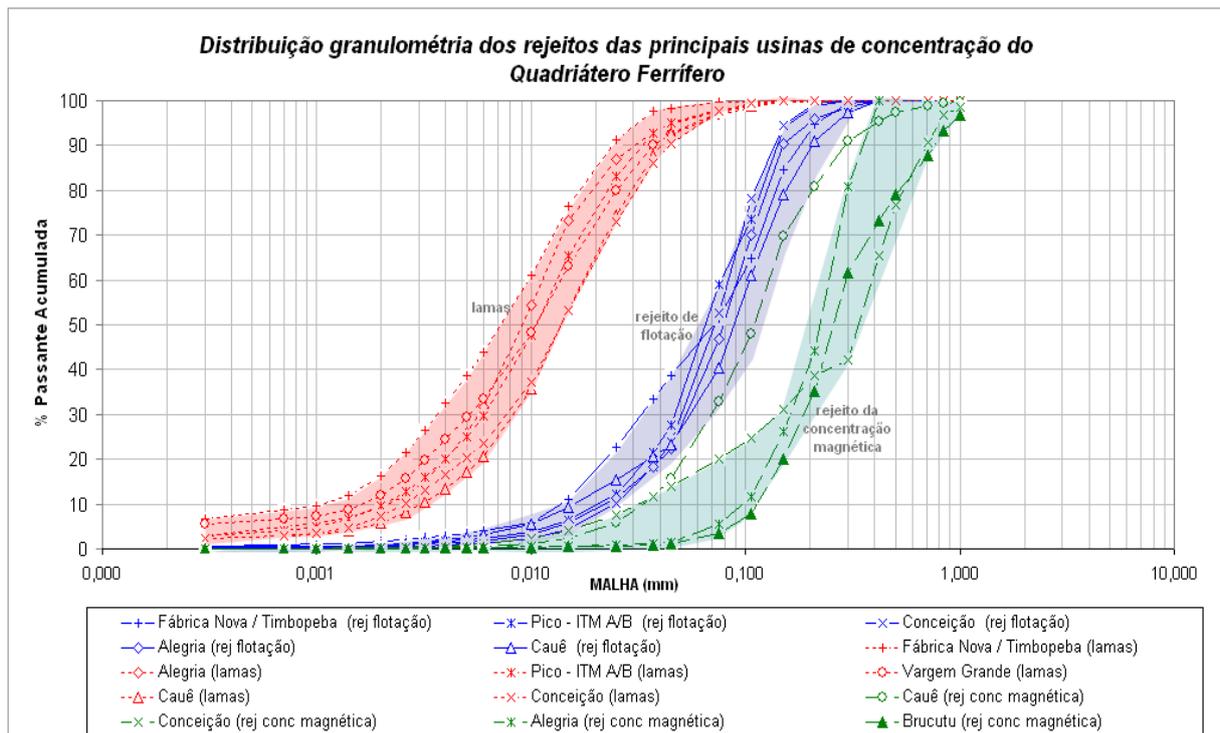


Figura 1. Faixa granulométrica dos principais rejeitos das usinas de ferro do Quadrilátero Ferrífero.

No geral, pode ser observado nas lamas um grande percentual de material retido na malha de 10 µm (40% a 60%). Os rejeitos de flotação apresentaram, em geral, um máximo de 15% do material acima de 150 µm e 10% abaixo de 10 µm (d_{50} variando de 70 µm a 90 µm). Os rejeitos de concentração magnética apresentam d_{50} variando de 200 µm a 350 µm.

3.2 Comparativo das Tecnologias de Filtragem para os Rejeitos de Flotação

A Figura 2 apresenta um gráfico comparativo dos resultados obtidos de dimensionamento dos filtros para os rejeitos de flotação. Pode-se observar que:

- o filtro de disco convencional apresentou boa taxa unitária de filtragem, próximo a 1.300 kg/h/m², e umidade da torta entre 10% a 13%. O filtro horizontal de correia apresentou umidade de, cerca de, um ponto percentual menor e, aproximadamente, o dobro da taxa unitária de filtragem quando comparados com o filtro de disco convencional; e
- o filtro cerâmico apresentou, relativamente à mesma taxa unitária de filtragem que o filtro de disco convencional, umidade da torta de, cerca de, dois pontos percentuais a menor (entre 9% e 11%). Menor taxa unitária de filtragem, próximo a 250 kg/h/m², foi observada com o emprego de filtro prensa horizontal, porém com produção de tortas com menores umidades (entre 5% a 10%).

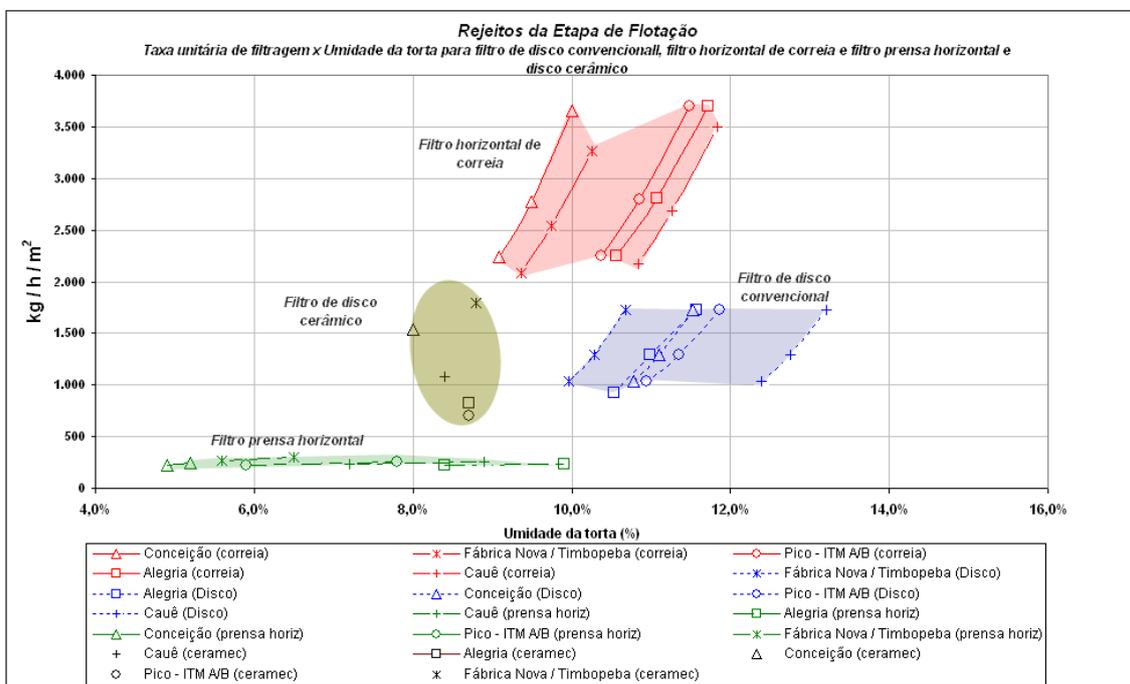


Figura 2. Taxa unitária de filtragem em função da umidade da torta de rejeitos de flotação para filtro de disco convencional, filtro de disco cerâmico, filtro horizontal de correia e filtro prensa horizontal.

Os testes com tecnologia de filtragem hiperbárica foram realizados somente com a amostra do rejeito da usina de Fábrica Nova / Timbopeba. Para esta usina, foram obtidas taxas de filtragem entre 2.000 kg/h/m² a 3.000 kg/h/m² e umidade da torta entre 9% e 10%.

Para o filtro prensa vertical foram realizados testes com amostras de Cauê. A taxa de filtragem obtida foi próxima a 2.500 kg/h/m² e umidade da torta entre 6% e 10%.

3.3 Comparativo das Tecnologias de Filtragem para as Lamas

A filtragem de lamas só foi possível aplicando tecnologia de filtragem sob pressão (filtro prensa horizontal e vertical) e hiperbárica (filtro de disco encapsulado), porém com baixa taxa unitária de filtragem (< 300 kg/h/m²) e umidade da torta relativamente alta (próximo a 20%, para os filtros sob pressão) (Figura 3).

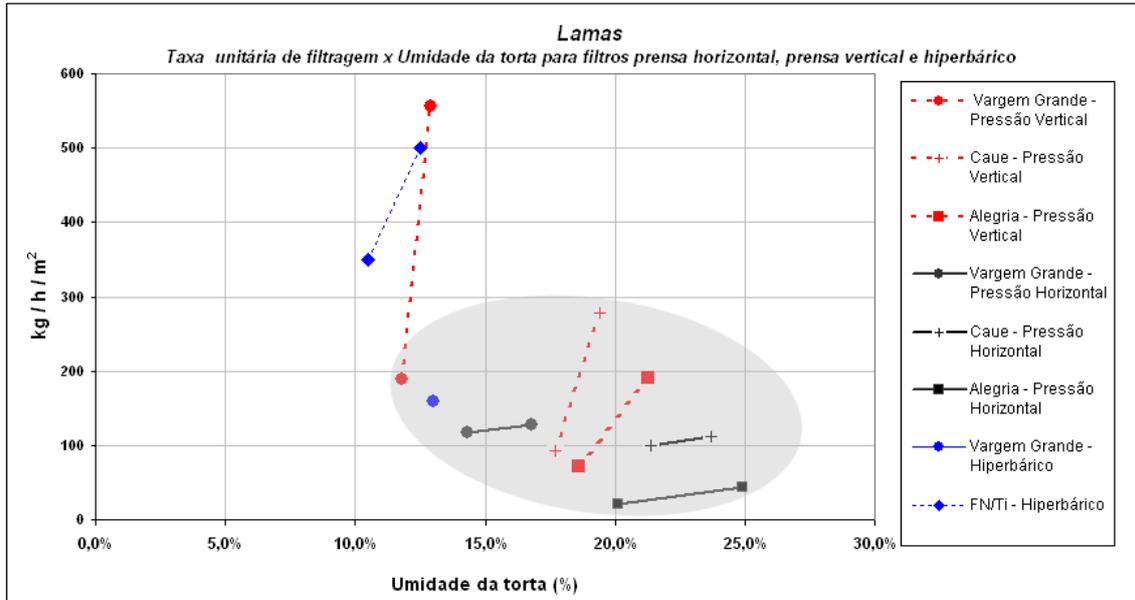


Figura 3. Taxa unitária de filtragem em função da umidade da torta das lamas para filtro de prensa horizontal, prensa vertical e hiperbárico.

3.4 Comparativo das Tecnologias de Filtragem para os Rejeitos de Concentração Magnética

Os rejeitos de concentração magnética apresentaram alta taxa unitária de filtragem, com valor próximo a 3.000 kg/h/m^2 , aplicando filtro horizontal de correia (filtragem a vácuo) e filtro prensa vertical (filtragem sob pressão). Os valores de umidades das tortas variaram, em média, entre 10% a 12% para o filtro horizontal de correia e entre 6% a 12% para o filtro prensa vertical (Figura 4).

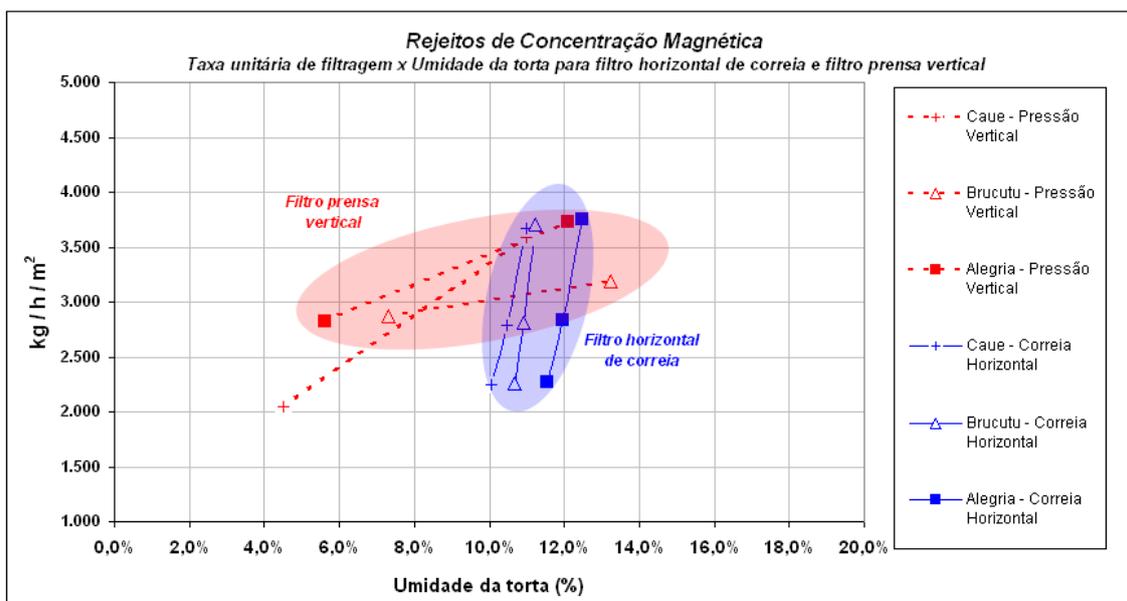


Figura 4. Taxa unitária de filtragem em função da umidade da torta de rejeitos de concentração magnética.

3.5 Análise Econômica

Foi feita uma coleta de preços dos equipamentos de filtragem, incluindo bomba de vácuo e compressores exigidos para cada tipo de filtro. Como alguns fabricantes ofertaram equipamentos importados, considerou-se o seguinte: impostos (18,05%), taxas de importação (40%) e câmbio (€ 1,00=R\$ 2,60; US\$ 1.00= R\$ 1,80). Aplicando os respectivos impostos e taxas de importação (quando era o caso), é apresentado na Figura 5 o comparativo de custos de aquisição dos equipamentos por unidade de filtragem. Compressores de ar, bombas de vácuo, bombas especiais de alimentação de polpa, sistemas de lavagem de panos, chutes de descarga de torta especiais, tanques de filtrado etc. estão incluídos nos preços. Para efeito comparativo, para a tecnologia com menor valor total de aquisição foi adotado um valor de referência igual a 1 e verificada a razão entre os custos dos diversos equipamentos em relação ao equipamento de referência.

Observa-se que o filtro de disco convencional e o prensa horizontal apresentam o menor custo de investimento por área de filtragem. Comparativamente, os filtros horizontal de correia, de disco cerâmico, hiperbárico e pressão vertical são, respectivamente, 2,9, 3,6, 5,3 e 9,8 vezes mais caros por área de filtragem que o filtro de disco convencional.

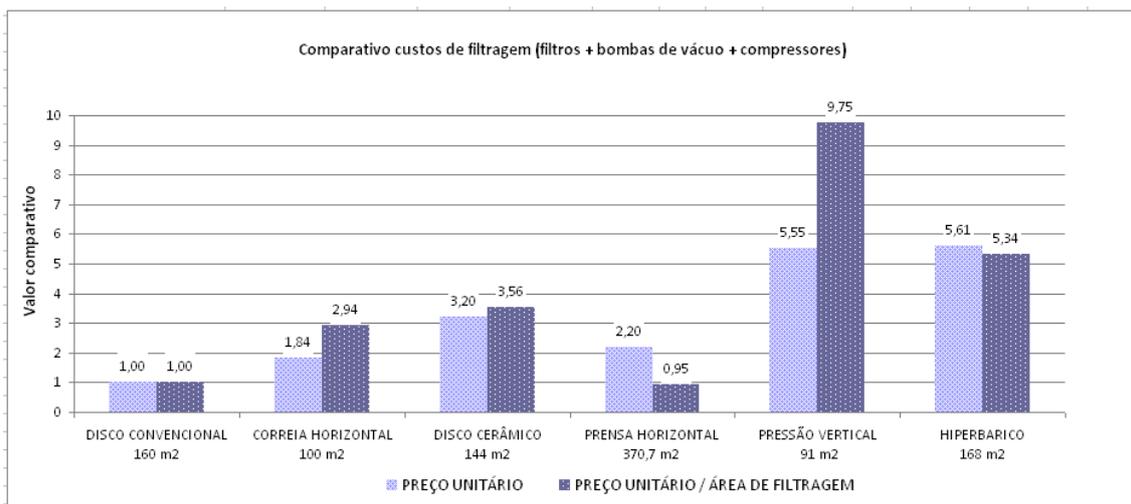


Figura 5. Comparativo: custo de aquisição por tipo de filtro.

Para cada unidade de filtragem foi verificada a potência necessária na instalação. Para efeito comparativo, para a tecnologia que exigiu menor potência instalada foi adotado um valor de referência igual a 1 e verificada a razão de potência de cada equipamento em relação ao equipamento de referência (Figura 6). Pode ser verificado que o filtro de disco cerâmico e prensa horizontal apresentam a menor potência instalada por unidade de área de filtragem (incluindo bombas de vácuo e compressores), correspondendo a 15% do consumo do filtro de disco convencional, 7% dos filtros horizontais de correia e, cerca de, 10% dos filtros de pressão vertical e hiperbárico, confrontados também por área de filtragem.

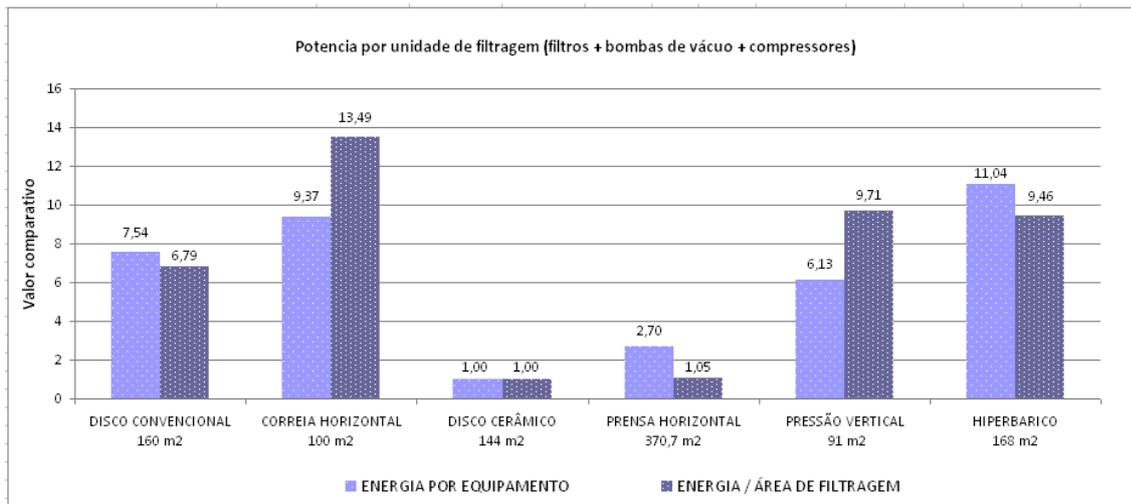


Figura 6. Comparativo: potência instalada por tipo de filtro.

3.6 Quadro Resumo

Na Tabela 3 é apresentado um quadro resumo comparativo do estudo realizado e que poderá ser referência para um estudo conceitual de filtragem de rejeitos. Considerando a massa de sólidos a ser gerada e os dados da tabela pode ser verificada a tecnologia de filtragem que apresenta menor valor presente de desembolso.

Tabela 3. Quadro Comparativo das tecnologias de filtragem

Tipos de filtros	Rej. Conc. Magnética		Rejeito de flotação		Lamas		Custo/m ²	Energia/m ²
	tuf (kg/h/m ²)	umidade (%)	tuf (kg/h/m ²)	umidade (%)	tuf (kg/h/m ²)	umidade (%)		
Disco convencional	-		1.000 a 1.700	10 a 13	-	-	1,0	6,8
Correia Horizontal	2.500 a 3.500	10 a 12	2.000 a 3.500	9 a 12	-	-	2,9	13,5
Disco cerâmico	-		600 a 1.800	8 a 9	-	-	3,6	1,0
Prensa Horizontal			200 a 350	5 a 10	20 a 130	14 a 25	1,0	1,1
Prensa Vertical	2.500 a 3.500	6 a 12	500 a 2.500	6 a 16	100 a 500	12 a 22	9,8	9,7
Hiperbárico			2.000 a 4.000	9 a 11	150 a 500	11 a 13	5,3	9,5

tuf: taxa unitária de filtragem; Custo/m²: refere-se ao custo comparativo de aquisição do equipamento incluindo bombas de vácuo e compressores exigidos para cada tipo de filtro (com impostos e taxas) calculado por metro quadrado de área de filtragem; Energia/m²: refere-se a potência necessária na instalação (incluindo bombas de vácuo e compressore) calculada por metro quadrado de área de filtragem.

4 CONCLUSÃO

A filtragem de rejeitos visando à sua disposição em pilhas mostrou ser uma alternativa tecnicamente viável ao método tradicional de disposição de rejeitos diluídos em barragens. Os rejeitos de concentração magnética apresentaram alta

taxa unitária de filtração, próxima a 3.000 kg/h/m^2 e umidade da torta próxima a 10% com aplicação do filtro horizontal de correia (mais indicado). Os resultados mostraram também que os rejeitos de flotação podem ser filtrados aplicando tecnologias mais usuais de filtração: filtro de disco convencional e filtro horizontal de correia. Neste caso, o filtro horizontal de correia apresentou taxa unitária de filtração (*tuf*) de aproximadamente 2.600 kg/h/m^2 (umidade da torta também próxima a 10%), correspondendo ao dobro da *tuf* do filtro de disco convencional. Os filtros de discos cerâmicos são uma alternativa a ser avaliada economicamente para filtração de rejeitos de flotação: proporcionaram a mesma *tuf* dos filtros de discos convencionais, porém apresentam a vantagem adicional de redução em 85% do consumo de energia. A filtração das lamas também mostrou ser tecnicamente possível em bancada (necessário teste piloto). Apresentaram, em geral, baixa taxa unitária de filtração, abaixo de 300 kg/h/m^2 e umidade da torta relativamente alta (em geral, próxima a 20% para os filtros sob pressão). Embora, mesmo comparativamente, a filtração de rejeitos possa apresentar custo superior ao método convencional de disposição de rejeitos, poderá ainda ser uma opção técnica que permitirá novas operações e projetos em decorrência da dificuldade crescente de obtenção de licenciamento de novas áreas para a construção de barragens.

REFERÊNCIAS

- 1 BAGINSK, L.F. (Líder Sênior Licenciamento Ambiental - VALE). Mensagem recebida por <vania.andrade@vale.com> em 28 mai. 2009.
- 2 GUIMARÃES, N.C. **Filtração de rejeitos de minério de ferro visando a sua disposição em pilhas**. Belo Horizonte: UFMG, 2011. 114 p. (Dissertação de Mestrado).
- 3 Valadão, G.E.S. Separação Sólido-líquido. Belo Horizonte: EEUFMG, 2008. 80p.
- 4 DAHLSTRON, D.A., SILVERBLATT, C.E. **Continuous vacuum and pressure filtration**. In: Purchas, D. B. (ed). Solid/liquid separation and scale up. Croydon Uplands Press. 1977. p.445-491.