

# TESTES DE SINTERIZAÇÃO DE MINÉRIOS FERROSOS E NÃO FERROSOS<sup>1</sup>

Juliano Gontijo Duca<sup>2</sup>

## Resumo

Os testes piloto são de fundamental importância no apoio aos clientes, tanto no levantamento dos dados necessários ao dimensionamento do equipamento a ser instalado quanto na definição dos parâmetros de garantia operacional a serem contratados. Os testes permitem a definição dos parâmetros de sinterização de misturas de diferentes minérios, ferrosos ou não ferrosos, tendo sido utilizados também por clientes que se interessam apenas no conhecimento da qualidade de seus minérios ou em apoio a trabalho de *marketing*. Dentre os materiais testados encontram-se minérios de ferro brasileiros e indianos, minérios de manganês de diferentes partes do mundo, finos de magnetita contendo vanádio etc. Neste trabalho são mostrados alguns dos diversos resultados obtidos, dando-se ênfase àqueles que apresentam desvios do comportamento geral da sinterização do minério de ferro.

**Palavras-chave:** Sinterização; Teste piloto; Minério de ferro; Minério de manganês.

## SINTERING TESTS OF FERROUS AND NON-FERROUS ORES

### Abstract

Pilot tests are of primary importance in support to clients, in respect to both the gathering of data required for the dimensioning of the equipment to be installed and the definition of operating parameters to be contracted. The tests allow the definition of sintering parameters of blends of different ores, ferrous and non-ferrous. Pot tests have also been performed by clients only interested in assessing the quality of their ores, in support of their marketing efforts. Among the ores tested there are Brazilian and Indian iron ores, manganese ores from different parts of the world, vanadium containing magnetite etc. This paper presents some of the results obtained, focusing on those which present deviations from the general behavior of iron ore sintering.

**Key words:** Sintering; Pilot tests; Iron ore; Manganese ore.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Sócio da ABM. Coordenador de projeto, Sócio da Minitec Equipamentos Siderúrgicos Ltda. Brasil; [juliano@minitec.eng.br](mailto:juliano@minitec.eng.br).

# 1 INTRODUÇÃO

Os testes de sinterização em laboratório cresceram em importância juntamente com o aumento do tamanho das máquinas industriais de sinterização nas décadas de 1950/1960. Até essa época, devido à reduzida escala de produção, era comum a realização de testes diretamente em escala industrial. O gigantismo das máquinas de sinterização que vieram a seguir inviabilizou totalmente este procedimento, devido ao risco de falta de produto para os equipamentos subsequentes, no caso de ocorrência de problemas de produção ou qualidade.

O uso da máquina piloto de sinterização se tornou de fundamental importância na avaliação dos diferentes tipos de minério a serem utilizados em máquinas de sinterização de pequeno porte. Diferentemente das grandes máquinas, que usam minérios de ferro de características bem conhecidas, muitos desses minérios a serem utilizados nesses equipamentos menores nunca foram antes sinterizados. Em boa parte das vezes não há uma única referência na literatura quanto ao seu comportamento durante a aglomeração.

Encontram-se na literatura técnica citações sobre máquinas de sinterização contínuas (Dwight Lloyd) ou semicontínuas (normalmente do tipo carrossel, no caso Minitec, SKP). Essa divisão induz ao raciocínio que o processo de sinterização seja diferente nos dois casos. Na realidade a única diferença é a interrupção de carregamento de cerca de 30 segundos que ocorre quando a sinterização semicontínua troca de panela a ser carregada ou basculada (eventos simultâneos). Confirmando este fato, a simulação para ambos os equipamentos é exatamente a mesma. Uma mistura de sinterização que se comportar adequadamente em um equipamento contínuo terá o mesmo comportamento no semicontínuo.

A Figura 1 mostra essas máquinas, esquematicamente. Ressalta-se aqui a conveniência do carrossel para instalações de pequeno porte. O esquema por si só, evidencia que enquanto a área útil de sinterização é de menos de 40% da área disponível da esteira (apenas parte da região superior), no carrossel, cerca de 80 a 85% dessa área é útil.

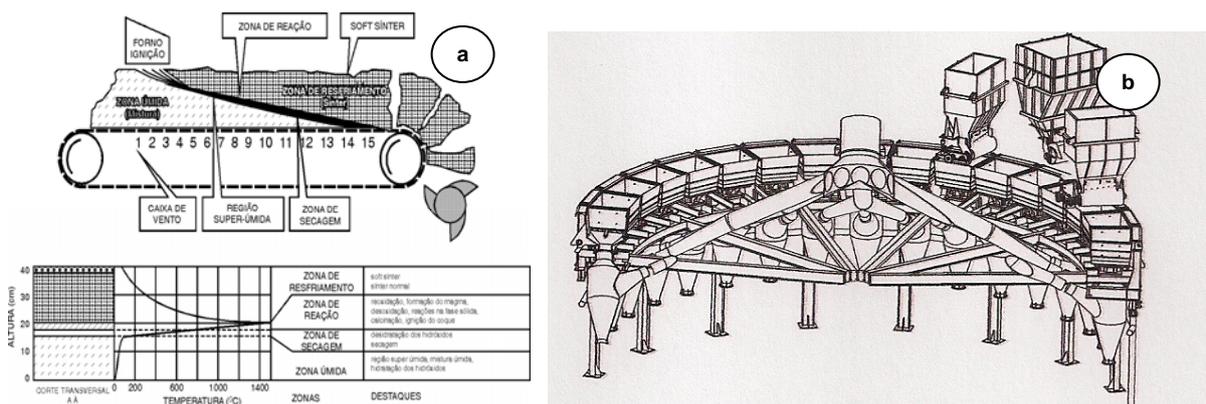


Figura 1. Esquemas de uma Sinterização Dwight Lloyd <sup>(1)</sup> (a) e de uma Sinterização SKP (b).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de avaliação da sinterabilidade de minérios da Minitec consiste na realização de queimas, em escala piloto, de misturas de minérios e fundentes, combustível e finos de retorno.

Parâmetros básicos dos testes na Máquina Piloto de Sinterização:

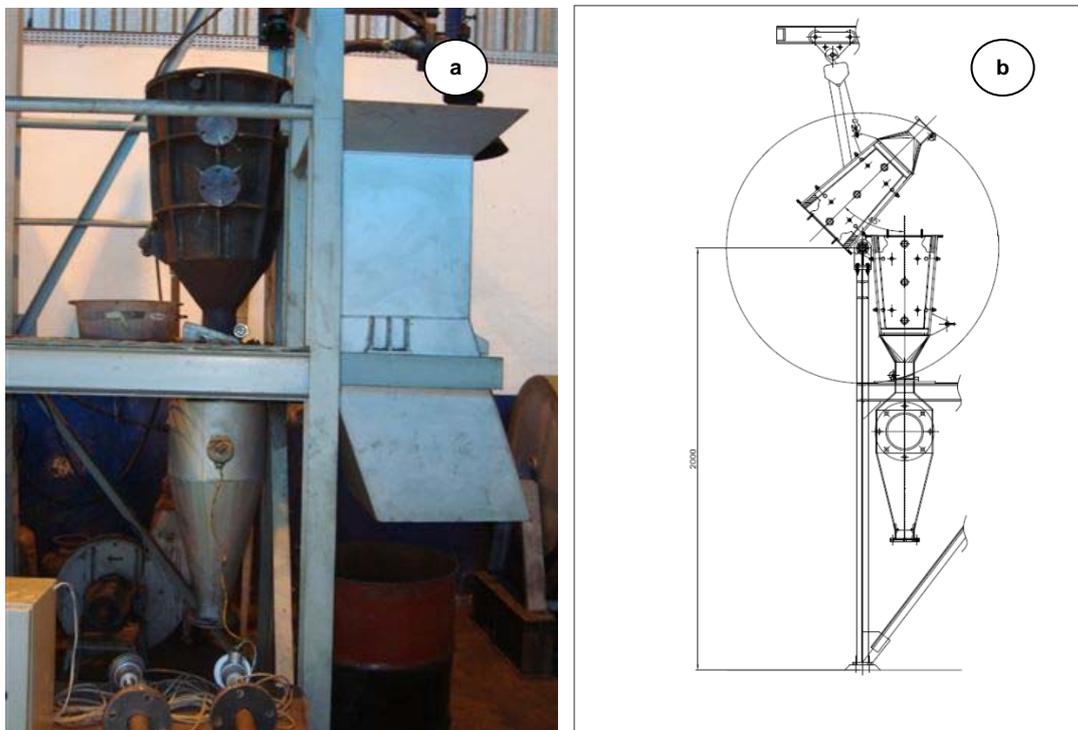
- seção transversal da panela: circular com área de  $0,1 \text{ m}^2$ ;
- altura total da camada: 550 mm (mistura + *bedding*);
- altura do *bedding*: 50 mm (= 3 kg);
- umidade das misturas: ~ 6,5% (depende dos minérios em uso);
- depressão durante a ignição: 900 mmH<sub>2</sub>O;
- sucção durante a queima: até 1.800 mmH<sub>2</sub>O;
- tempo de ignição: 1,0 min; e
- combustível de ignição: gás liquefeito de petróleo (GLP).

O retorno introduzido normalmente é pré-fixado e corresponde, em geral, a 25% da mistura total, sendo sua granulometria preparada em 100% <6,3 mm.

Esses parâmetros podem ser alterados, dependendo da especificação do equipamento a ser simulado ou da especificação de um novo equipamento a ser projetado ou fornecido.

O sinter produzido é também avaliado quanto à qualidade metalúrgica.

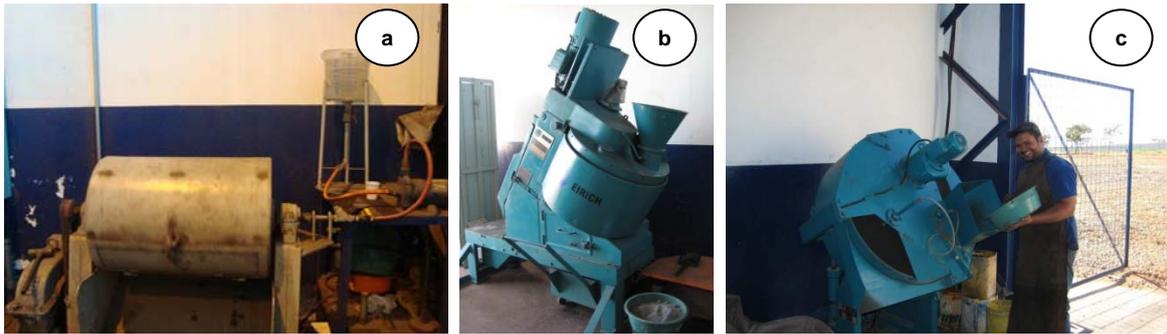
A Figura 2 ilustra a máquina piloto de sinterização em questão.



**Figura 2.** Vista da máquina piloto de sinterização (a) e esquema do basculamento da panela (b).

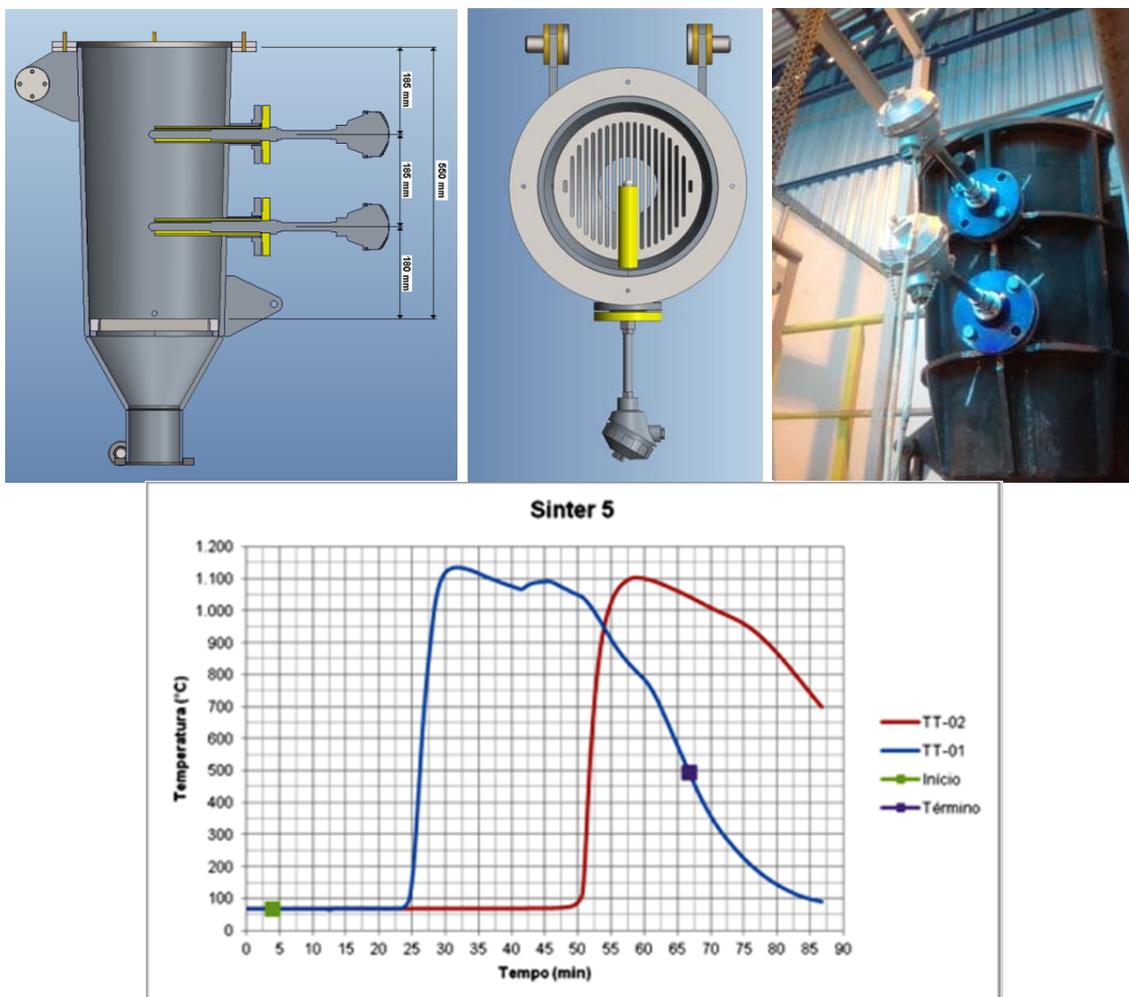
Visando possibilitar a avaliação da sinterabilidade de minérios de granulometria próxima à do sinter feed de minério de ferro e também a de superfinos, próximos ao pellet feed, são disponíveis misturadores convencionais de tambor e misturadores intensivos e disco de pelletização, que permitem simular os processos de misturamento combinados.

A Figura 3 mostra os misturadores de tambor e Eirich e Disco Pelotizador disponíveis para os ensaios de misturamento.



**Figura 3.** Vista dos misturadores: de tambor (a), intensivo Eirich (b) e disco pelotizador (c).

A máquina está ainda equipada para ensaios de avaliação de composição química dos gases efluentes e avaliações de perfil térmico da mistura durante a queima, conforme esquema da Figura 4.



**Figura 4.** Exemplo de instrumentação e resultados de testes de medição de perfil térmico da camada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos primeiros trabalhos piloto de sinterização de minérios que não os de ferro foi a avaliação da sinterabilidade da cassiterita (minério de estanho), para um cliente brasileiro. Somente após confirmação da capacidade de aglomeração desse tipo de minério, foi comercializada uma unidade da máquina SKP para esse cliente.

Um trabalho que merece destaque foi o apoio à Mineração Caraíba S/A em seus estudos sobre a possibilidade de recuperação da magnetita e do pentóxido de vanádio contidos na barragem de rejeitos da Mineração Caraíba S/A (MCSA), através de uma rota por concentração magnética e pirometalúrgica, até se chegar aos produtos ferro-gusa e escória vanadífera.<sup>(2)</sup> Os testes de sinterização mostraram que o concentrado magnético da MCSA possui sinterabilidade adequada, com degradação sob redução (RDI) de 8% <2,8 mm e redutibilidade (RI) entre 52 e 54%, apesar da granulometria fina, aproximadamente um *pellet feed*. Nessa época teve início o desenvolvimento de misturamento para sinterização adequada a misturas muito finas. Com uso de misturadores especiais, cal, carvão vegetal e umidade de aproximadamente 8% houve boa formação de micropelotas a frio, obtendo-se um sinter de boa qualidade.

Em estudo posterior foram realizados ensaios de sinterização para um cliente indiano, com utilização de minério de ferro fino, a alto teor de alumina, característico da região. Os ensaios foram realizados com depressão de 1500 mmH<sub>2</sub>O. O minério indiano apresentava como características básicas: 63,4% Fe, 2,9% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5,7% PPC, 42% >1,0 mm e 33% <100 mesh. Foi visada a produção de um sinter com 5,5% SiO<sub>2</sub> e 1,8 de basicidade binária. Os resultados são sumarizados na tabela 1.

**Tabela 1.** Principais resultados dos ensaios de sinterização com minério indiano

Teste	Umidade	Retorno (%)	Coke-rate (kg/t)	Produtividade	Shatter Index (% >10 mm)
<b>Teste 1</b> (Sem cal)	7,5	25	71,3	0,87	73,5
<b>Teste 2</b> (2% cal)	7,5	25	71,4	0,98	71,5
<b>Teste 3</b> (sem cal)	7,8	30	71,9	0,96	76,0

Ressalta-se nos resultados a baixa produtividade das misturas e baixa resistência do sinter produto, mesmo com utilização de cal virgem.

Minério como esse está sendo usado na instalação SKP projetada pela MINITEC e construída pelos indianos. Como os indianos não estão conseguindo minério com melhor especificação, a produtividade vem se mantendo baixa.

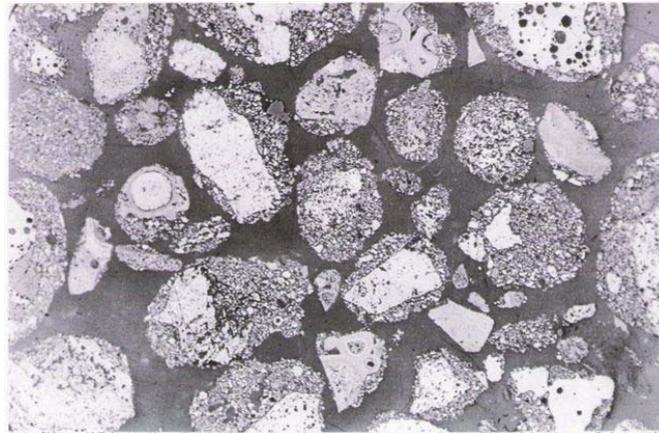
Recentemente esse cliente indiano solicitou apoio visando melhorar o misturamento, permitindo disponibilização de maior quantidade de sinter. Serão avaliadas, em laboratório, as opções de aumento no comprimento do misturador (tempo de misturamento convencional) ou introdução do misturador intensivo na rota de produção.

A atuação nas condições de misturamento é uma das opções que permitem recuperar a produtividade de misturas com afinamento do sinter feed e/ou permitir a obtenção de boa produtividade com misturas de alta porcentagem de superfinos.

A Figura 5 mostra uma seção polida de uma mistura crua de sinterização (embutimento em resina de uma mistura após misturamento convencional, seca em estufa). O correto proporcionamento de partículas finas e grossas dessa mistura permite a maximização da formação de quasi-partículas, compostas de superfinos na camada externa e núcleos, mais grossos, no interior.

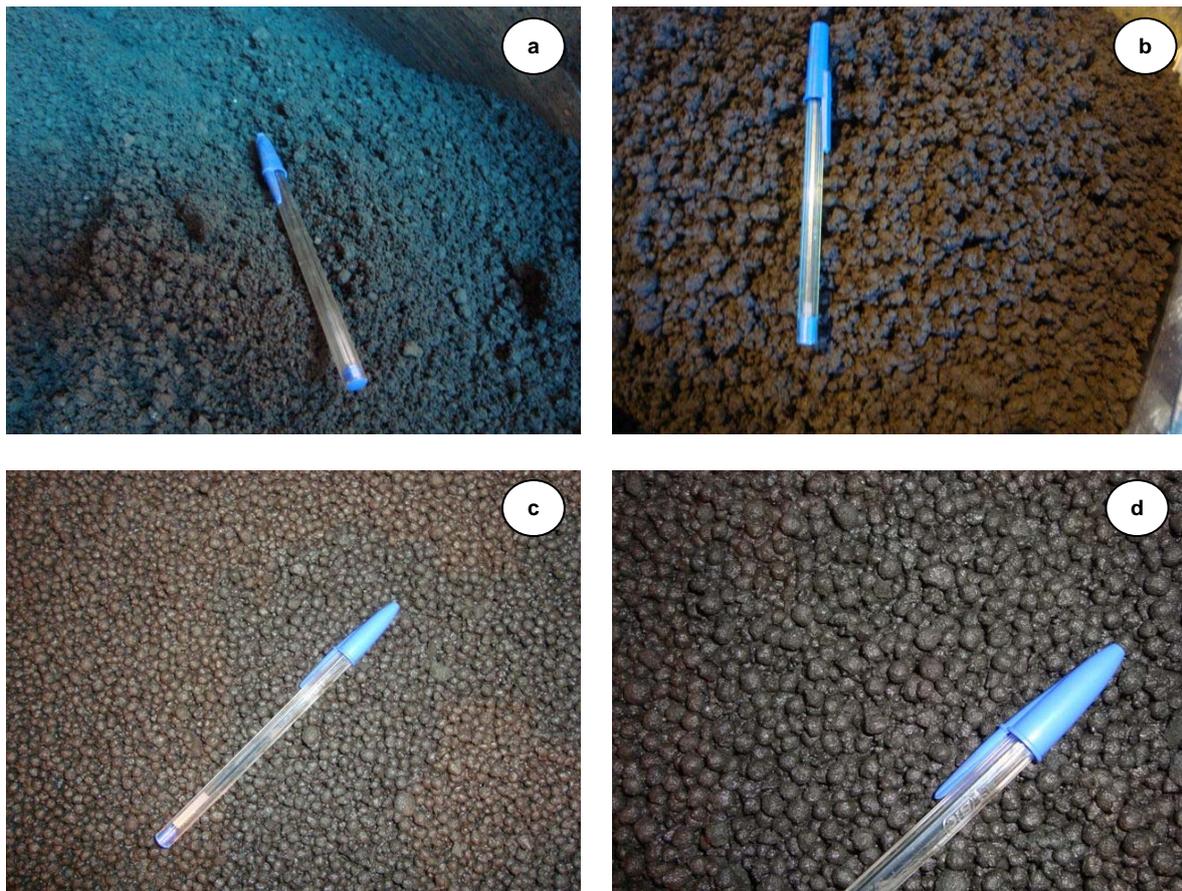
Quando ocorre aumento da fração de superfinos, ocorre também diminuição da permeabilidade da mistura pelo fato de as partículas mais grossas não serem

capazes de absorver o acréscimo de finos. Atuando-se no misturamento é possível reduzir sensivelmente esse efeito.



**Figura 5.** Exemplo típico de textura de mistura de sinterização, observando-se a ocorrência de grãos mais grossos ao centro das partículas e superfinos no seu entorno.<sup>(1)</sup>

Na Figura 6 são mostrados resultados diversos obtidos com diferentes misturas, com elevada percentagem de superfinos.



**Figura 6.** Exemplo de misturamentos especiais para misturas de rejeitos siderúrgicos finos (a) e (b) e rejeitos ferrosos de alta absorção de umidade.

A Figura 6 mostra ser possível ajustar-se a granulometria aparente (na realidade, ajustar-se a formação de quasi-partículas) das misturas de diferentes minérios atuando-se no processo de misturamento. A combinação misturador convencional

com misturador intensivo e discos de pelotização é, sem dúvida, a solução para a tendência atual de afinamento dos diversos minérios, não apenas os de ferro, motivados pela maior necessidade de moagem/concentração.

Além das características de aglomeração a frio, outro ponto importante a ser avaliado previamente à construção de novas sinterizações para novos minérios são suas características.

A Figura 7 exemplifica a metodologia adotada para se determinar a “umidade de saturação” de amostras de diferentes minérios de manganês, dentre os possíveis de serem utilizados em uma Instalação SKP negociada recentemente pela Minitec. É um ensaio simples, possível de ser realizado em campo, em que amostras são embebidas em água até que seu nível superior seja recoberto de líquido; as amostras são deixadas em repouso por uma hora. Em seguida são depositadas sobre uma malha fina de peneira para eliminação do excesso de umidade, também por uma hora. Finalmente é determinada a umidade contida em cada amostra.



**Figura 7.** Determinação de umidade de saturação (a) supersaturação das amostras com água; (b) eliminação do excesso de água sobre malha fina.

Os resultados obtidos variam numa ampla faixa, indicando que diferentes minérios podem exigir diferentes quantidades de água em sua mistura para que a sinterização ocorra de modo estável:

<b>Minério</b>	<b>Umidade de Saturação (%)</b>
Carajás	17,2
Nchwaning	2,7
Gloria	3,5
Billiton	4,7

Tanto em testes de laboratório quanto em uso industrial, o minério de Carajás tem mostrado que sua sinterização é viável com utilização de umidade de mistura que variam de 8 ou 9 a 13 ou 14%. Os minérios Nchwaning, Gloria e Billiton foram testados em escala de laboratório na MINITEC, não tendo sido possível sua sinterização em umidades elevadas. Para esses minérios a umidade de trabalho das misturas situou-se entre 3 e 4,5%, evidenciando que seu uso em regiões de elevada precipitação pluviométrica pode apresentar restrições.

#### **4 CONCLUSÃO**

A utilização da máquina piloto de sinterização para avaliação de misturas a serem utilizadas em equipamentos existentes ou em novos equipamentos é uma

ferramenta útil, podendo antecipar uma série de problemas e/ou indicar alternativas de adequação dessas misturas.

Sua utilização sistemática na Minitec tem permitido auxiliar seus clientes na escolha dos minérios a serem utilizados, de modo a otimizar os resultados operacionais dos novos equipamentos. Tem ainda auxiliado os parceiros da Empresa na seleção de matérias-primas a serem fornecidas a clientes que já possuem sinterização industrial em operação.

### **Agradecimentos**

O autor agradece as sugestões apresentadas pelos engenheiros Marcílio Braga Cardoso e Jairo Pimenta durante a preparação do trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 HONORATO, E. P. Adequação granulométrica das matérias-primas e do sistema de segregação contínua (I.S.F.), para melhorias na produtividade e qualidade do sinter para os altos-fornos. In: DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, UFMG, 2005.
- 2 PIGNATON, T. V. Produção de ferro-gusa e escória vanadífera a partir de rejeitos da Mineração Caraíba. In: DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, UFMG, 2010.