

DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE CARGA METÁLICA PARA SINTERIZAÇÃO E ALTO-FORNO

Hamilton Porto Pimenta ¹

Alex André de Castro ¹

Paulo F. Nogueira ¹

Antônio Paulo do Valle.Salles Júnior ²

Dauter de Oliveira ²

Humberto L. Martins de Oliveira ³

Edson L. Massanori Harano ³

Mauro Ribeiro da Silva ³

Resumo

A ampliação da capacidade de produção de gusa da CST com a construção de um terceiro alto-forno levou à alteração da carga metálica dos fornos, com o aumento da participação de pelotas. Neste contexto, e em consonância com a política da CVRD em oferecer aos clientes a melhor solução integrada de carga metálica, foi celebrado um Acordo de Cooperação Técnica com a CST visando o desenvolvimento integrado de cargas metálicas para a sinterização e altos-fornos, de altas performances técnica e econômica. Este trabalho foi conduzido nos laboratórios da Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento de Ferrosos da CVRD, em Vitória/ES. Além do desempenho da planta de sinterização e qualidade do sinter, a expectativa de performance dos altos-fornos com a nova carga metálica foi avaliada a partir da realização de ensaios de amolecimento e fusão. Com este estudo a CVRD assegura o fornecimento de mistura de minérios de ferro para sinterização e carga metálica para altos-fornos com elevado potencial para atendimento das necessidades dos processos de produção de sinter e gusa da CST.

Palavras-chave: Sinter; Pelotas; Altos-fornos.

JOINT DEVELOPMENT OF BURDEN TO SINTER PLANT AND BLAST FURNACE

Abstract

The increase in the hot metal production capacity at CST with the construction of a new Blast Furnace resulted in the revision of the metallic burden, with a significant larger fraction of pellets. In consonance with CVRD's policy of supplying its customers with the best all-around metallic burden solution, a Technical Cooperation Agreement was signed between both parties. The objective of this agreement was the development of a new sinter burden as well of a new Blast Furnace burden with high technical and economical performance. This work was performed at the Ferrous R&D Laboratories, in Vitoria/ES, Brazil. Besides the sintering performance and sinter quality, the expected behavior of the Blast Furnace with the new metallic burden was evaluated through softening and melting tests. With this study, CVRD ensures the iron ore supply for sintering as well as of other components of the Blast Furnace metallic burden, with high potential to meet the requirements of CST's ironmaking processes.

Key words: Sinter; Pellets; Blast furnace.

1 INTRODUÇÃO

A CST está investindo em um terceiro alto-forno para a ampliação de sua capacidade de produção de gusa dos atuais 5,1 Mt/ano para 8,0 Mt/ano a partir de 2007. Uma revisão do programa de abastecimento de minérios de ferro para esta empresa é necessária, uma vez que grandes quantidades de pelota e sinter feed serão demandadas.

A nova estrutura de produção de gusa prevê a utilização de altas participações de pelotas na carga metálica dos altos-fornos resultando em profundas alterações na qualidade química do sinter. As principais alterações no sinter serão os aumentos de basicidade e do teor de MgO, necessárias para a adequação da qualidade da escória dos fornos.

¹ Departamento de Tecnologia e Planejamento em Ferrosos, CVRD; Vitória, ES.

² Departamento de Marketing e Vendas de Ferrosos, CVRD; Vitória, ES.

³ Divisão de Controle Técnico da Área de Gusa da CST, Vitória, ES.

Para o atendimento da nova demanda de sinter, a CST optou em não investir na ampliação da área de máquina de sinterização, mas no aumento dos níveis de produtividade da planta a partir da utilização de misturas de minérios de alto desempenho e da maior adição de cal virgem. Além disto, investimentos estão sendo feitos para a adequação de toda a estrutura de produção à futura condição operacional com altas produtividades.

Neste contexto, e em consonância com a política da CVRD em oferecer aos clientes a melhor solução integrada de carga metálica, foi celebrado um Acordo de Cooperação Técnica com a CST visando o desenvolvimento de mistura de minérios de ferro para a sinterização e de carga metálica para altos-fornos de altas performances técnica e econômica, garantindo alta competitividade a seus produtos.

Este trabalho foi conduzido nos laboratórios da Gerência de P&D da CVRD, no Complexo de Tubarão em Vitória/ES, e contou com uma forte parceria entre os técnicos das duas empresas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Misturas de Minérios de Ferro para Teste em Sinterização Piloto

Em face da necessidade de manutenção das características e propriedades da escória e gusa, a elevação da participação de pelotas na carga metálica dos fornos exigiu alterações significativas na qualidade química do sinter (Tabela 1).

Tabela 1. Comparativo da carga metálica dos altos-fornos (atual e futuro).

Carga metálica	Participações (%)		Parâmetros químicos					
			MgO (%)		SiO ₂ (%)		CaO/SiO ₂	
	Atual	Futuro	Atual	Futuro	Atual	Futuro	Atual	Futuro
Sinter	66	51	1,75	1,95	5,00	5,20	1,80	1,95
Pelota AF	22	39	0,05		2,38			
Granulados	12	10	0,05		2,70			

A definição das misturas de minérios para teste e da qualidade química do sinter baseou-se nos seguintes aspectos:

- atendimento das especificações de qualidade de gusa e escória;
- respeito às limitações de disponibilidade e transporte dos minérios; e
- maximização do uso de minérios de características físicas e mineralógicas/morfológicas favoráveis a altas produtividades do processo de sinterização.

Ao todo, sete misturas de minérios foram avaliadas, sendo uma referência, representando a mistura atual (Base A), e seis misturas alternativas (M1 a M6). Neste último caso, os minérios de ferro representam, em sua maioria, produtos que apenas serão produzidos a partir de 2006 e, portanto, as amostras para teste foram geradas em usina piloto exclusivamente para este estudo. Quatorze diferentes minérios de ferro foram considerados nesta avaliação (Tabela 2). Todas as demais matérias-primas, fundentes, reciclados e combustíveis, foram previamente fornecidas pela CST e utilizadas de acordo com a sua prática industrial.

Tabela 2. Qualidade química dos minérios de ferro considerados no estudo.

Minérios de ferro	Composição química (%)						
	Fe _t	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Mn	P	PPC
A	65,20	0,50	4,59	0,78	0,142	0,023	0,72
B	66,00	0,61	4,16	0,49	0,192	0,020	0,46
C	64,60	0,90	4,10	0,75	0,109	0,061	2,83
D Atual	67,60	0,36	1,88	0,71	0,043	0,021	0,53
E	61,30	0,43	4,56	2,59	0,363	0,065	4,16
F	46,30	1,08	9,74	1,33	9,690	0,075	8,34
G	65,40	0,36	2,48	0,49	0,113	0,021	1,19
H	65,40	0,54	4,39	0,92	0,150	0,024	0,65
I	65,90	0,50	4,12	0,56	0,196	0,017	0,41
J	64,00	0,72	5,33	0,81	0,158	0,054	2,20
K Futuro	65,60	0,65	2,03	0,69	0,03	0,063	3,14
L	63,80	0,46	3,58	1,56	0,115	0,068	2,94
M	66,40	0,36	1,98	0,89	0,050	0,028	1,86
N	64,58	0,50	3,53	1,26	0,185	0,039	1,84

2.2 Metodologia dos Ensaio em Sinterização Piloto

A seguir são comentados alguns detalhes da metodologia utilizada que refletem particularidades das condições operacionais da planta de sinterização da CST.

2.2.1 Parâmetros do processo de sinterização

Os principais parâmetros de processo da planta de sinterização da CST foram simulados em planta piloto, tais como a altura de camada de mistura e a pressão de sucção do sistema.

2.2.2 Carregamento de mistura

A planta de sinterização da CST dispõe de dispositivo de segregação granulométrica de misturas na esteira denominado ISF – *Intensified Sifting Feeder*. Este dispositivo atua no sentido de aumentar a permeabilidade do leito a partir da separação granulométrica dos grânulos da mistura, deslocando os maiores para o fundo do leito e os menores para a sua porção superior. Desta forma, aumenta-se o índice de vazios do leito e, conseqüentemente, sua permeabilidade.

Num estudo onde se pretende simular as condições operacionais do processo do cliente, é fundamental que todas as características sejam reproduzidas. Desta forma, foi desenvolvido para o Laboratório de Sinterização Piloto da CVRD um equipamento piloto com a finalidade de simular a ação do ISF industrial.⁽¹⁾ No entanto, em face de seu princípio de funcionamento, a segregação granulométrica resultante é mais intensa que a do equipamento industrial. Por isto, em estudos para clientes cuja máquina de sinterização é equi-

pada com o ISF, dois procedimentos de carregamento de mistura na panela de sinterização são adotados:

- sem segregação granulométrica (carregamento convencional); e
- com segregação.

Assim, considera-se que o comportamento da mistura no processo industrial seja algo intermediário a estas duas condições adotadas em laboratório. Portanto, neste estudo, todas as misturas foram submetidas à avaliação em escala piloto segundo os dois procedimentos de carregamento.

2.2.3 Uso de cal virgem

Em todas as misturas alternativas testadas utilizou-se 2,0% de cal na mistura parcial, ao contrário dos 0,8% de cal na mistura referência. Esta iniciativa, conforme comentado anteriormente, faz parte da estratégia da CST para elevação da produtividade da planta de sinterização.

2.3 Caracterização e Avaliação das Propriedades do Sínter

Além da caracterização química, a qualidade do sínter foi avaliada com base nos seguintes ensaios:

- resistência física (Tumbler: ISO 3271 e Shatter index: JIS M8711);
- degradação sob redução (RDI - ISO 4696-2);
- capacidade de redução (Redutibilidade – ISO 7215); e
- propriedades a altas temperaturas (Amolecimento e Fusão – Padrão CVRD).

A expectativa de performance das cargas metálicas nos altos-fornos foi avaliada a partir da realização de ensaios de Amolecimento e Fusão com os componentes individuais (pelota e sínter) e com as cargas metálicas mistas (pelota + sínter). Tanto a condição de carga atual quanto a futura foram avaliadas. Neste último caso, o sínter avaliado foi aquele cuja mistura de minérios apresentou o melhor desempenho na sinterização. Os ensaios foram realizados no equipamento para medida de propriedades a altas temperaturas (Figura 1a), instalado no Laboratório Central da CVRD em Tubarão, segundo procedimento padrão.⁽²⁻⁴⁾

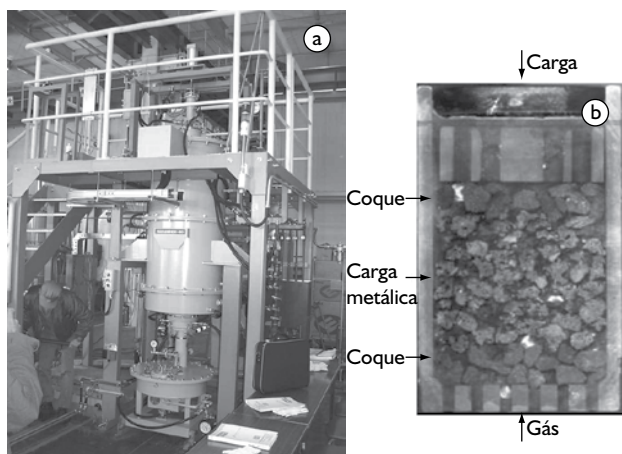


Figura 1. a) Forno de Amolecimento e Fusão da CVRD; e b) esquema de carregamento da carga no cadinho.

As amostras de pelota e sínter, preparadas na faixa de tamanho entre 10 mm e 16 mm, são inseridas em cadinho de grafite sobre uma camada de coque com 20 mm de espessura. A quantidade em massa de carga metálica utilizada é determinada pela altura desejada de 70 mm. Sobre a carga metálica, uma nova camada de coque com 20 mm de altura é colocada (Figura 1b).

Para a avaliação das cargas metálicas mistas, quatro situações diferentes de carregamento dos componentes da carga no interior do cadinho foram testadas, sendo:

- cargas homoganeamente misturadas;
- camadas alternadas de pelota e sínter;
- pelotas em uma camada superior e sínter em baixo; e
- sínter em uma camada superior e pelota em baixo.

Em todas as situações, foram mantidas as relações em massa entre pelotas e sínter, tanto para a carga metálica atual dos fornos quanto para a carga futura com maior participação de pelotas.

Durante o ensaio, o sistema de aquisição de dados coleta as temperaturas do forno inferior, do forno superior e da amostra, a queda de pressão na amostra, a composição dos gases de saída (CO , CO_2 e H_2) e a ocorrência de gotejamento. O grau de redução é calculado a partir destes dados de saída. A seguir são apresentados os principais parâmetros usualmente utilizados para avaliar as propriedades a altas temperaturas das cargas metálicas:

- temperaturas de início e fim de amolecimento, (TS) e (TE);
- temperatura de início de gotejamento (TD);
- faixa de temperatura da zona coesiva ($\Delta T = TE - TS$);
- perda de pressão máxima do gás (ΔP_{max});
- índice de permeabilidade (Svalue e S' value); e
- grau de redução nas temperaturas de 1.000°C a 1.200°C.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desempenho das Misturas de Minérios de Ferro em Sinterização Piloto

De maneira geral, as misturas alternativas (M1 a M6) resultaram numa produtividade maior do que a mistura atual (Base A), conforme Figura 2a. Isto é devido, sobretudo, à maior quantidade de cal virgem utilizada nestas misturas.

Outro aspecto que contribuiu para estes melhores resultados foi o ganho em rendimento de sínter decorrente do maior volume de escória nas misturas alternativas. O maior teor de sílica e a basicidade mais elevada nestes sínteres compensaram com vantagens os eventuais efeitos negativos do maior teor de MgO e das maiores velocidades de descida da frente de queima sobre a resistência física e o rendimento destes sínteres.

Considerando-se os dois procedimentos de carregamento de mistura na panela, apenas as Misturas M4 e M5 obtiveram um aumento de produtividade superior a 5% (considerado o erro experimental do ensaio). Em especial, a Mistura M4 apresentou elevado potencial para o atendimento da necessidade futura de produtividade da planta industrial da CST, com aumento de produtividade da ordem de 15% sobre a mistura atual (Base A), considerando-se a média das duas condições de carregamento, sem e com segregação. Esta mistura apresenta como diferencial a maior participação de minérios supergênicos, de pequeno tamanho de cristal e alta capacidade de granulação.

Com relação ao consumo específico de combustível (Figura 2b), a grande diferença ficou por conta das condições de carregamento de mistura. O uso de sistema de segregação de misturas permite o deslocamento preferencial das partículas de combustíveis e de fundentes para a região superior do leito, onde o sínter é mais frágil, aumentando o rendimento sínter/mistura. Para o carregamento convencional as misturas apresentaram consumos equivalentes ou até mesmo inferiores nas misturas alternativas. Por outro lado, para o carregamento segregado uma forte inversão nesta tendência foi observada, com maiores exigências de combustível pelas misturas alternativas. Isto demonstra a necessidade de adequação das distribuições granulométricas de combustíveis e fundentes nas novas misturas para a condição de carregamento segregado. As distribuições granulométricas destes materiais necessitam estar ajustadas a esta condição e à mistura de minérios em uso para se obter o rendimento sínter/mistura desejado.⁽⁵⁾ Assim, nestas misturas alternativas, onde o teor de MgO e a velocidade da frente de queima são mais elevados, os efeitos deletérios sobre a resistência do sínter ficam aparentes, exigindo mais combustível para compensar a redução de rendimento.

A Mistura Base B foi avaliada com a intenção de conhecer o desempenho da mistura atual de minérios nas mesmas condições de processo e qualidade química do sínter das misturas alternativas, ou seja, maior adição de cal à mistura e maiores basicidade

e teor de MgO no sínter. Os resultados demonstraram que esta mistura tem também um elevado desempenho de processo, motivado principalmente pelo elevado rendimento de sínter. No entanto, o seu desempenho foi ainda inferior ao da Mistura 4 que apresentou alta permeabilidade do leito.

3.2 Propriedades Físicas, Metalúrgicas e de Amolecimento e Fusão do Sínter

3.2.1 Resistência física do sínter

As variações de qualidade física apresentadas pelos sínteres, em uma mesma condição de carregamento de mistura, foram inferiores aos próprios erros inerentes aos ensaios de *Tumbler Index* e *Shatter Index* (Figura 3). No entanto, menor resistência física foi observada nos sínteres produzidos a partir de carregamento segregado para todas as misturas avaliadas. Isto se deveu principalmente ao efeito da segregação acentuada promovida pelo equipamento piloto utilizado para segregar a mistura. Ao mesmo tempo, existe a contribuição da inadequação granulométrica de fundentes e combustíveis às misturas de minérios alternativas.

3.2.2 Propriedades metalúrgicas do sínter

As variações de qualidade metalúrgica apresentadas pelos sínteres, em uma mesma condição de carregamento de mistura, foram inferiores aos próprios erros inerentes aos ensaios de RDI e redutibilidade (Figura 4). Entretanto, observam-se tendências de aumento de redutibilidade dos sínteres das misturas alternativas, o que é explicado pela maior basicidade destes sínteres e a maior formação de ferritos de cálcio de alta capacidade de redução.

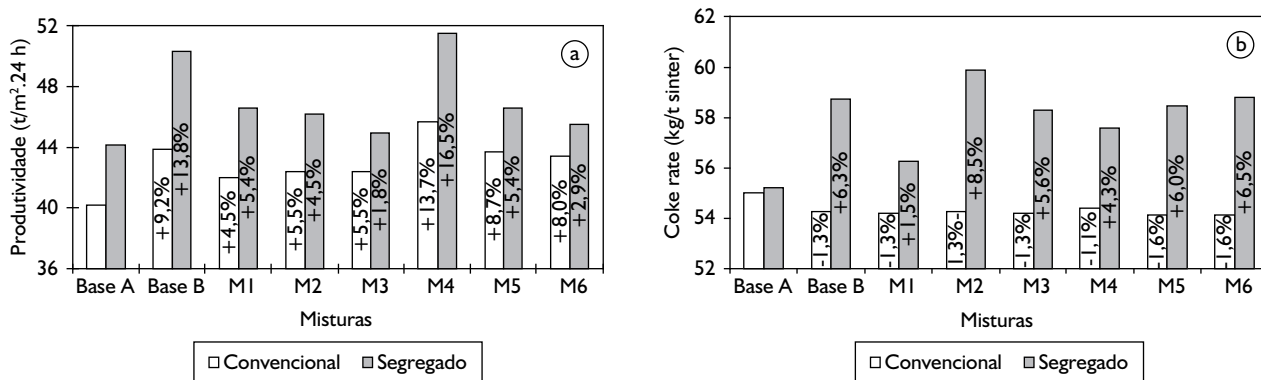


Figura 2. a) Produtividade do processo; e b) consumo específico de combustível.

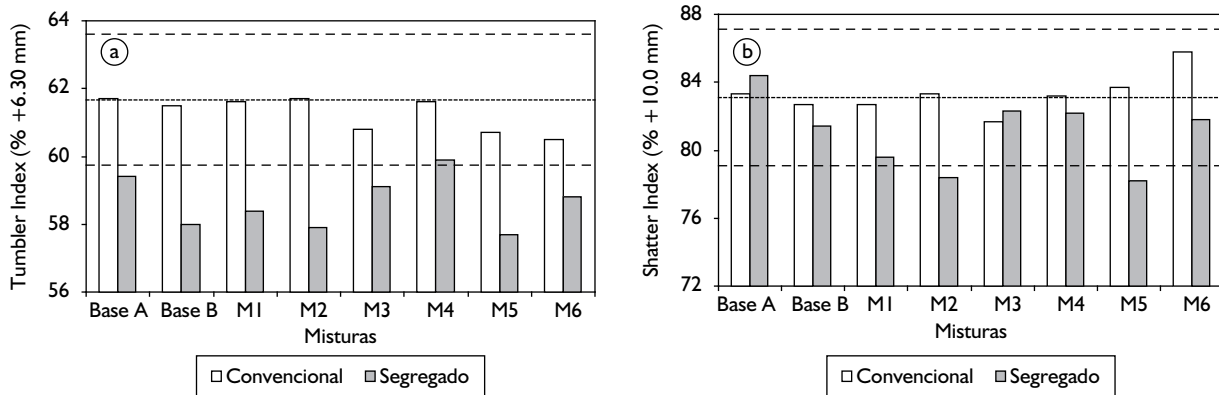


Figura 3. Resistência física do sinter: a) *Tumbler Index*; e b) *Shatter Index*.

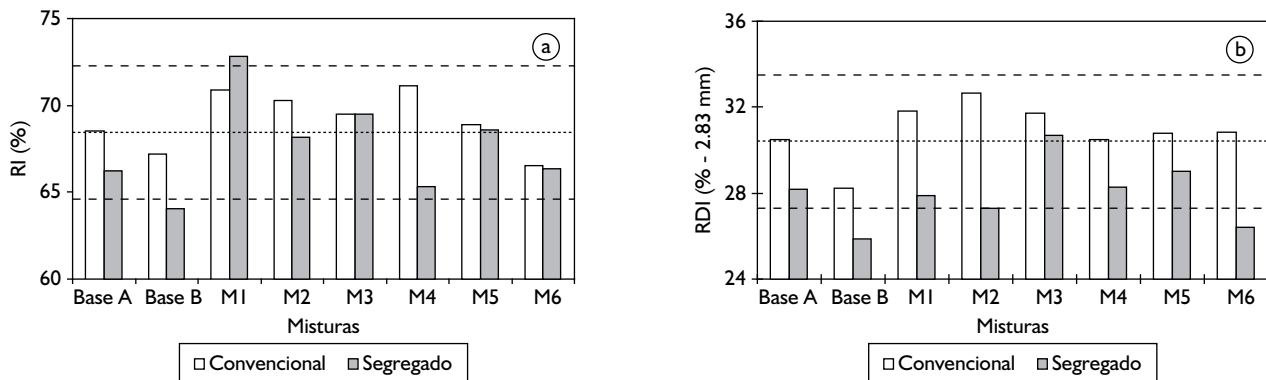


Figura 4. Propriedades metalúrgicas do sinter: a) RDI; e b) redutibilidade.

Por sua vez, a segregação granulométrica da mistura reduziu a intensidade da degradação sob redução (RDI) dos sínteres. Este efeito pode ser explicado pela melhor distribuição térmica ao longo da altura de camada de mistura fruto do deslocamento preferencial do combustível sólido para a região superior do leito. A adequação granulométrica de combustíveis e fundentes poderá melhorar ainda mais esta propriedade do sinter.

3.2.3 Propriedades a altas temperaturas da carga metálica

Vários trabalhos publicados na literatura demonstram que uma carga metálica de elevado desempenho deve apresentar baixa resistência ao fluxo gasoso ao longo da sua descida no interior do alto-forno.⁽⁶⁻¹⁰⁾ Perdas acentuadas de pressão do gás são observadas na zona coesiva, onde a carga amolece e funde. Assim, intensos esforços têm sido despendidos no sentido de desenvolver cargas metálicas que ofereçam baixa resistência ao fluxo gasoso, principalmente na zona coesiva. Para isto, as cargas devem fundir rapidamente e em mais altas temperaturas, favorecendo a redução indireta da carga metálica, uma pequena espessura da zona coesiva e baixa resistência ao fluxo gasoso. Uma boa fluidez dos líquidos formados também é de fundamental importância, ao facilitar o seu escoamento para a zona de gotejamento. Portanto, utilizam-se os ensaios de amolecimento e fusão para a identificação e o desenvolvimento de cargas metálicas com estas características.

Neste contexto foram avaliadas a carga metálica atualmente em consumo nos fornos da CST e a carga futura, constituída por

alta participação de pelota e sinter proveniente da Mistura M4, de melhor desempenho nos testes piloto de sinterização. É importante ressaltar que por dificuldade de simulação e riscos de comprometimento da reprodutibilidade do ensaio não foi considerada nas cargas metálicas a participação de minérios granulados. No entanto, como suas participações nas cargas metálicas aqui consideradas (Tabela I) estão muito próximas, adotou-se como premissa que as tendências relativas de comportamento entre as cargas não seriam afetadas pela presença dos granulados.

Quanto ao desempenho dos constituintes individuais observa-se que a pelota apresenta temperaturas de amolecimento e fusão sensivelmente inferiores aos sínteres (Figura 5a). Este comportamento é justificado pelas características químicas da escória da pelota que favorecem a fusão prematura do material. Por sua vez, a elevada basicidade do sinter retarda o seu início de amolecimento com a formação de escórias de alto ponto de fusão. O efeito da alta basicidade do sinter sobre o gotejamento dos líquidos é mostrado na Figura 5b, onde se vê a distribuição de material gotejado ao longo do ensaio. O sinter futuro (mistura M4) resultou em menor quantidade de material gotejado em relação à pelota AF

e ao sínter Base A, de menor basicidade binária. Estes resultados estão de acordo com a prática industrial segundo a qual fornos operando com alta participação de sínter de elevada basicidade podem apresentar instabilidades operacionais por dificuldade de escoamento do metal e escória líquidos.⁽¹¹⁾

Os desempenhos das cargas mistas, atual e futura, no ensaio de amolecimento e fusão foram semelhantes, tanto em relação às temperaturas de amolecimento e fusão e queda de pressão do gás (Figura 6a) quanto à dinâmica de escoamento de líquidos (Figura 6b). A escória líquida da pelota reage com o sínter, reduz a temperatura de fusão das escórias primária e secundária, melhorando o escoamento dos gases e das fases líquidas. A maior participação de pelota foi de fundamental importância na melhoria da performance

da carga global com a presença de sínter de elevada basicidade binária.

A forma de carregamento dos constituintes pelota e sínter é também de fundamental importância na garantia do bom desempenho global da carga metálica. O estudo feito alterando-se a disposição dos constituintes demonstrou que quando o carregamento favorece a integração entre pelotas e sínter a performance da carga é sensivelmente melhorada (Figura 7a). A influência do carregamento é ainda mais importante para cargas com sínter de elevada basicidade binária (Figura 7b).

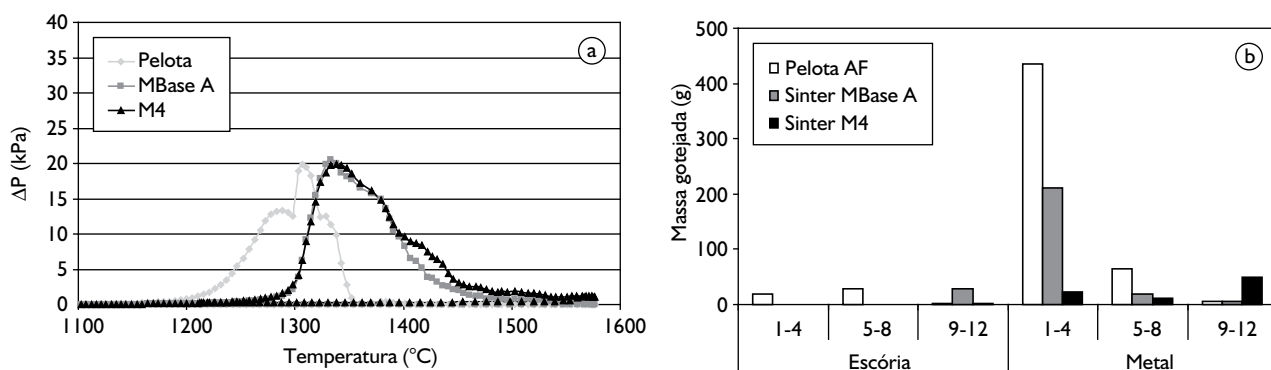


Figura 5. Componentes individuais: a) Δ pressão do gás; e b) material gotejado.

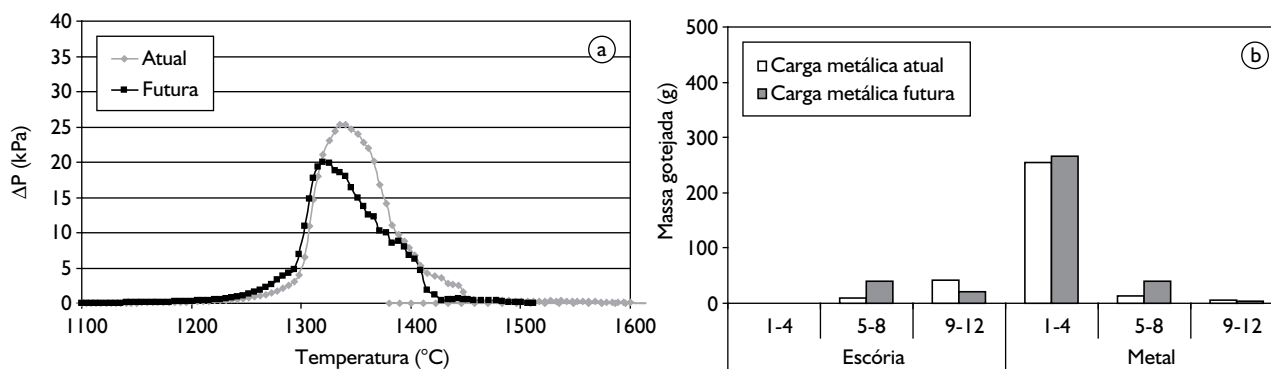


Figura 6. Cargas metálicas mistas: a) Δ pressão do gás; e b) material gotejado.

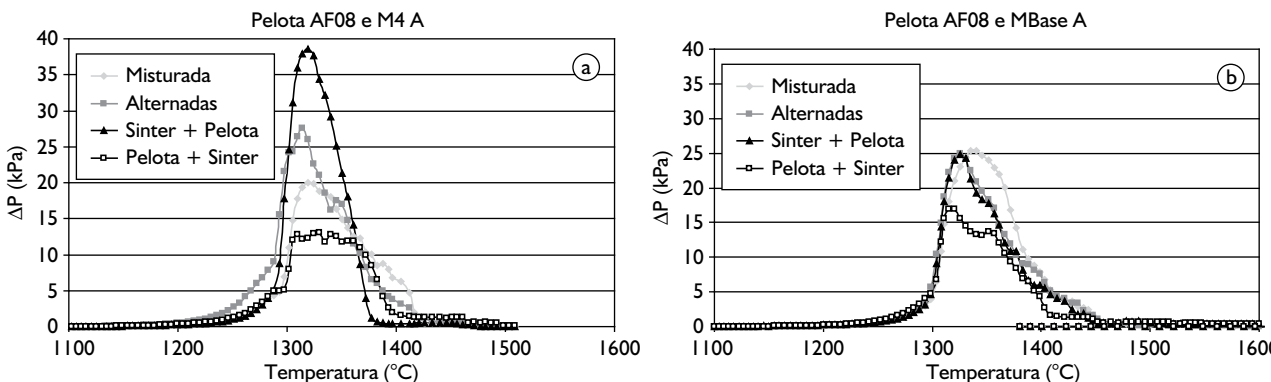


Figura 7. Efeito da forma de carregamento sobre a performance da carga metálica: a) carga metálica atual; e b) carga metálica futura.

3.3 Volume de Escória e Qualidades da Escória e Gusa

Para a avaliação do volume de escória e das qualidades resultantes da escória e do gusa, foram realizados balanços de massa no Alto-Forno com as diversas misturas consideradas. Para isto, adotaram-se alguns valores típicos de *coke rate* e taxa de injeção de carvão. A seguir são apresentados os resultados principais:

- sensível redução no volume de escória dos fornos devido à maior utilização de pelotas na carga metálica;
- atendimento das especificações de qualidade química da escória; e
- ligeiro aumento no teor de fósforo do gusa pela maximização de minérios supergênicos de melhor desempenho na sinterização.

4 CONCLUSÕES

Em consonância com sua política de oferecer aos clientes a melhor solução integrada em carga metálica no longo prazo, a CVRD tem investido intensa e continuamente na capacitação de seu corpo técnico e em recursos científicos e tecnológicos. Neste

contexto, a partir de um Acordo de Cooperação Técnica entre a CVRD e a CST, este estudo conjunto foi desenvolvido e os seguintes objetivos foram atingidos:

- desenvolvimento de mistura de minérios de ferro para sinterização com alto potencial para o atendimento das necessidades de produção da planta de sinterização e de qualidade de síter;
- desenvolvimento de carga metálica para altos-fornos de altas performances técnica e econômica; e
- estreitamento dos laços técnicos e de amizade entre as Empresas.

Desta forma, a CVRD está apta a oferecer a CST, a partir de 2006, uma mistura de minérios para sinterização e uma carga metálica para altos-fornos que atendam a todas as necessidades de produtividade e qualidade de produto previamente apresentadas pela CST, garantindo elevado desempenho aos seus processos de produção de síter e gusa.

REFERÊNCIAS

- 1 OLIVEIRA, D.; PINHEIRO, P.; NAPOLEÃO, A. Metodologia para avaliar minérios de ferro para sinterização com leitões intensamente segregados. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 33., 2003, Ouro Preto/MG. **Anais...** São Paulo: ABM, 2003. p.139-50.
- 2 MOURÃO, J.M.; CARNEIRO, R. T. S.; PIMENTA, H. P.; CASTRO, A. A.; SILVA, M. M. Evaluation of softening and melting behavior of blast furnace metallic burden. In: INTERNATIONAL MEETING ON IRONMAKING, 2.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRON ORE, 1., 2004, Vitória/ES. São Paulo: ABM, 2004. p. 45-7.
- 3 Nogueira, P.F.; Castro, A.A. Softening and melting properties of iron ore pellets. In: IAS IRONMAKING CONFERENCE, 5., 2005, San Nicolás/B.As. Argentina. Buenos Aires: IAS, 2005, p. 259-266.
- 4 CASTRO, A.A.; PIMENTA, H.P.; CARNEIRO, R.T.S. Zona coesiva do Alto-Forno: a CVRD se capacita para abrir esta caixa preta. **Metalurgia & Materiais** v.60, n. 548, p. 547-549, set. 2004. Caderno técnico.
- 5 PIMENTA, H.P.; HONORATO, E.P.; BASTOS, J.R. Estudo de adequação da granulometria das matérias-primas de sinterização na Usiminas. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 31., 2000, Santos/SP. **Anais...** São Paulo: ABM, 2000. p. 751-65.
- 6 PIMENTA, H.P.; COSTA, J.D.; MAGALHÃES, J.R. Avaliação do comportamento a altas temperaturas da carga metálica dos altos-fornos da Usiminas. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 32., 2002, Vitória/ES. **Anais...** São Paulo: ABM, 2002. p.65-77.
- 7 KORTMANN, H.A.; RITZ, V.J. Quality aspects of blast furnace burden material at elevated temperatures. In: IRONMAKING CONFERENCE PROCEEDINGS, 49., 1990, Washington, DC. [S.l.]: Iron & Steel Society, 1990. p. 29-43.
- 8 YI, S-H.; HUH, W-W.; RHEE, C.-H.; CHO, B-R. Softening and melting properties of pellets for a high level of pulverized coal-injected blast furnace operation. **Scandinavian Journal of Metallurgy**, v. 28, p.260-265, 1999.
- 9 BUSBY, N.J.; FRAY, T.A.T.; GOLDRING, D.C. Nature of cohesive zone in blast furnace. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 21, n. 3, p.229-36, 1994.
- 10 NOGUEIRA, P.F.; FRUEHAN, R.J. Blast FURNACE BURDEN SOFTENING AND MELTING PHENOMENA: Part I Bellet bulk interaction. **Metallurgical and Materials Transactions**, v.35B, n. 5, p.829-838, 2004.
- 11 BUSBY, N.J.; FRAY, T.A.T.; GOLDRING, D.C. Nature of cohesive zone in blast furnace. **Ironmaking and Steelmaking**, v. 21, n. 3, p. 229-36, 1994.

Recebido em: 30/01/07

Aceito em: 28/09/07

Proveniente de: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS, 36., 2006, Ouro Preto, MG. São Paulo: ABM, 2006.