



# ELEVAÇÃO DO TEOR DE MgO DO SINTER COM O AUMENTO DA UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO<sup>1</sup>

*Felipe Viana Pimentá<sup>2</sup>  
Juliana Almeida de Souza<sup>2</sup>  
Maurício Bittencourt Marques<sup>2</sup>  
Rubens Moreira Bicalho<sup>3</sup>  
José Donizete Custódio<sup>4</sup>  
Célio Ambrósio<sup>4</sup>*

## Resumo

A qualidade do sinter é de grande importância para a estabilidade operacional do alto-forno. A sua composição química interfere diretamente na composição da escória modificando a sua viscosidade e interferindo diretamente na capacidade de drenagem deste líquido do cadinho. De forma a garantir uma boa fluidez da escória iniciou-se a utilização de calcário dolomítico na sinterização, como fonte de MgO, em substituição parcial ao serpentinito. A utilização do serpentinito é limitada em função do alto teor de sílica, o que impacta diretamente o volume de escória do sinter, elevando o *fuel rate* do alto-forno. Os resultados na sinterização mostraram que houve uma degradação da propriedade física do sinter e elevação do consumo específico de combustível, no entanto não houve perda significativa de produtividade da máquina de sinter para a proporção de calcário dolomítico utilizada. Para o alto-forno a redução da viscosidade da escória foi imprescindível para a estabilidade operacional do processo.

**Palavras-chave:** Calcário dolomítico; Sinterização; MgO; Serpentinito.

## RISE-UP THE MgO CONTENT OF SINTER WITH THE INCREASE OF DOLOMITE USE

### Abstract

The sinter quality is very important to blast furnace operational stability. Its chemistry composition interferes directly on blast furnace slag, modifying its viscosity and drainage capability from the hearth. The use of the serpentinite is limited due to the high silica content, which impacts on the slag volume of sinter, increasing the blast furnace fuel rate. To guarantee a blast furnace slag good flowability, the sinter plant started using dolomite, in partial replacement to serpentinite. This work shows that sinter strength decrease and solid fuel consumption increase due to dolomite consumption increase. The dolomite proportion used did not affect significantly the sinter productivity. The lower blast furnace slag viscosity was essential to the process operational stability.

**Keywords:** dolomite, sintering, MgO, serpentinite.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista – Gerência de Redução da ArcelorMittal Monlevade; João Monlevade, MG. Brasil.*

<sup>3</sup> *Membro da ABM, Administrador – Gerente de Área da Sinterização da ArcelorMittal Monlevade; João Monlevade, MG. Brasil.*

<sup>4</sup> *Membro da ABM, Técnico em Metalurgia – Gerência de Área de Produção de Sinter da ArcelorMittal Monlevade; João Monlevade, MG. Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

O sinter é um dos principais componentes da carga metálica dos altos-fornos e por isso deve ter suas propriedades acompanhadas e controladas de modo a não provocar distúrbios e otimizar a operação destes.

No primeiro trimestre de 2008, a sinterização da ArcelorMittal Monlevade operava em alta produtividade em função do elevado volume de escória, sendo este um fator limitante para a elevação da participação de sinter na carga metálica do alto-forno, gerando uma elevação do excedente de sinter. O volume de escória do sinter está diretamente ligado ao *fuel rate* e a estabilidade operacional do alto-forno.

Outro fator que limitava a elevação do sinter na carga metálica do alto-forno era o teor de  $Al_2O_3$  do sinter, que tem como principal contribuinte o *sinter feed*. A elevação do teor de alumina aumenta a viscosidade da escória do alto-forno, tendo efeitos negativos no fluxo gasoso e por conseqüência na marcha deste reator.

Pelo fato da sinterização da ArcelorMittal Monlevade utilizar apenas um tipo de minério de ferro, SFAN (*Sinter Feed Andrade*) e este ser um minério próprio, a utilização de um minério de ferro corretivo foi descartada. Na Figura 1 pode ser observada a elevação dos teores de sílica e alumina do SFAN.

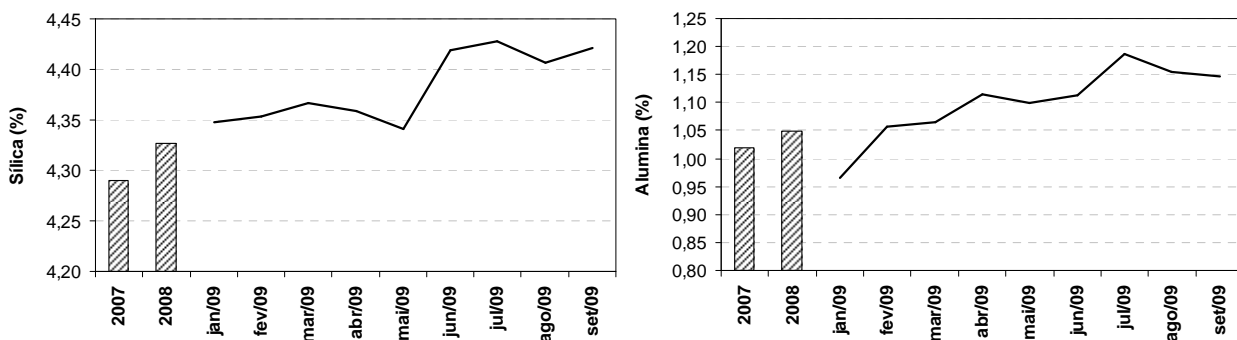


Figura 1 – Teores de sílica e alumina do SFAN.

Dentro desse contexto, tornou-se necessária na sinterização da ArcelorMittal Monlevade, a utilização do calcário dolomítico em substituição parcial ao serpentinito, como fonte de  $MgO$  e para a redução do volume de escória, visando uma maior oferta de sinter com qualidade adequada.

O presente trabalho tem como objetivo mostrar os efeitos do aumento da utilização de calcário dolomítico no processo de sinterização, os impactos na qualidade do sinter e os efeitos na qualidade da escória do alto-forno.

## 2 UTILIZAÇÃO DE CALCÁRIO DOLOMÍTICO EM SINTERIZAÇÃO

### 2.1 A Substituição de Serpentinito por Calcário Dolomítico

Como fonte de  $MgO$ , as sinterizações normalmente utilizam silicatos de magnésio: dunito ou serpentinito, a diferença entre eles está na forma de hidratação em que se encontram. Outra possível fonte de  $MgO$  utilizada é o calcário dolomítico, sendo este um carbonato de magnésio pouco reativo e que demanda altas taxas de energia para a sua decomposição.<sup>(1)</sup>

Em geral, as siderúrgicas brasileiras têm demonstrado preferência pelo uso de fundentes silicatados (e.g. serpentinito -  $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ ) ao invés dos carbonatos (e.g. calcário dolomítico -  $(Ca,Mg)(CO_3)_2$ ) devido principalmente a reatividade do primeiro ser melhor que o segundo, melhorando a qualidade física do sinter e a produtividade da sinterização.<sup>(1)</sup>

A utilização de serpentinito em sinterização é limitada pelo elevado teor de sílica deste fundente, o que implica em elevação do volume de escória do sinter e conseqüente aumento do *fuel rate* do alto-forno. Por outro lado, a redução ou eliminação do serpentinito na mistura causa uma redução do volume de escória do sinter, podendo ocasionar perda de produtividade da sinterização.

A utilização de sinter com baixo volume de escória, desde que sem perda de resistência física, é benéfica para a operação do alto-forno. Resultados do Alto-forno A (AF-A) da ArcelorMittal Monlevade mostram que uma redução de 10kg de escória/t de gusa gera uma redução de 0,9kg/t no *coke rate*. Sinter com baixo volume de escória pode ser obtido através da utilização de calcário dolomítico em substituição ao serpentinito.

Durante o desenvolvimento do trabalho foram testados 3 tipos de calcário dolomítico, todos oriundos do estado de Minas Gerais. A Tabela 1 compara as características do serpentinito com os calcários dolomíticos utilizados na ArcelorMittal Monlevade.

**Tabela 1** – Composição química e granulométrica do serpentinito e calcário dolomítico utilizado na sinterização de Monlevade

Características		Calcário dolomítico			Serpentinito
		A	B	C	
Químicas	%SiO <sub>2</sub>	1,70	1,93	1,45	39,47
	%CaO	35,30	28,65	28,28	2,90
	%MgO	16,82	19,94	22,93	32,52
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20	0,69	0,80	4,37
	PPC	45,52	44,60	45,43	12,00
Granulométricas	>6,30mm	0,7	0,1	4,6	0,3
	>1,00mm	33,7	26,1	17,8	37,5
	<0,105mm	7,60	1,7	22,0	2,0

## 2.2 Efeitos da Elevação do Teor de MgO do Sinter na Sinterização

Muitas pesquisas foram realizadas utilizando calcário dolomítico na sinterização. Segundo Higuchi,<sup>(2)</sup> a utilização de calcário dolomítico causa uma perda de rendimento no processo de sinterização e queda da resistência física do sinter. No entanto o motivo desta piora de rendimento e qualidade quando comparado com outras fontes de MgO ainda são desconhecidos.

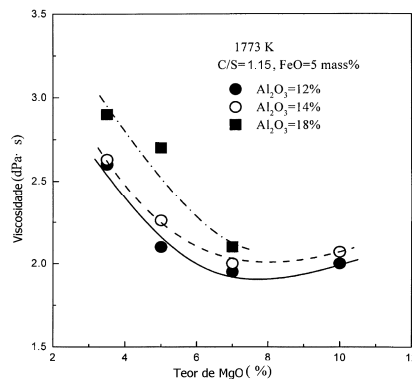
Segundo Yadav<sup>(3)</sup> os efeitos da elevação do teor de MgO na escória do alto-forno são bem conhecidos, mas os efeitos no processo de sinterização e na qualidade do sinter ainda não são muito claros. Resultados operacionais do processo de sinterização mostram que, com a elevação do teor de MgO, espera-se uma piora da taxa de sinterização, aumento do consumo de combustível, piora da resistência física e redutibilidade do sinter; no entanto observa-se uma melhora no RDI (*Reduction degradation index*) e nas características de amolecimento e fusão.

Existem duas linhas distintas de pesquisa sobre o assunto. Na primeira os autores defendem a teoria que os efeitos negativos no processo de sinterização independem do tipo do fundente utilizado e sim da elevação do teor de MgO. Já a outra linha de

pesquisa defende que a elevação do consumo de calcário dolomítico degrada o processo de sinterização independente do teor de MgO.

### 2.3 Efeitos da Elevação do Teor de MgO na Escória do Alto-forno

Segundo Tanaka,<sup>(4)</sup> a alumina tem certa influência na viscosidade da escória. O composto  $Al_2O_3$  exerce uma função de polimerização da rede do silicato capaz de propiciar a formação precoce de cristais de silicato de cálcio, e dessa forma induz um aumento da viscosidade do sistema. A Figura 2 mostra como a viscosidade varia com o teor de MgO em diferentes faixas de alumina. Observa-se que para um valor fixo do teor de MgO a viscosidade aumenta com o teor de alumina.



**Figura 2** - Variação da viscosidade da escória em função do teor de MgO para diferentes concentrações de  $Al_2O_3$ .

### 2.4 A Utilização do Calcário Dolomítico na sinterização da ArcelorMittal Monlevade

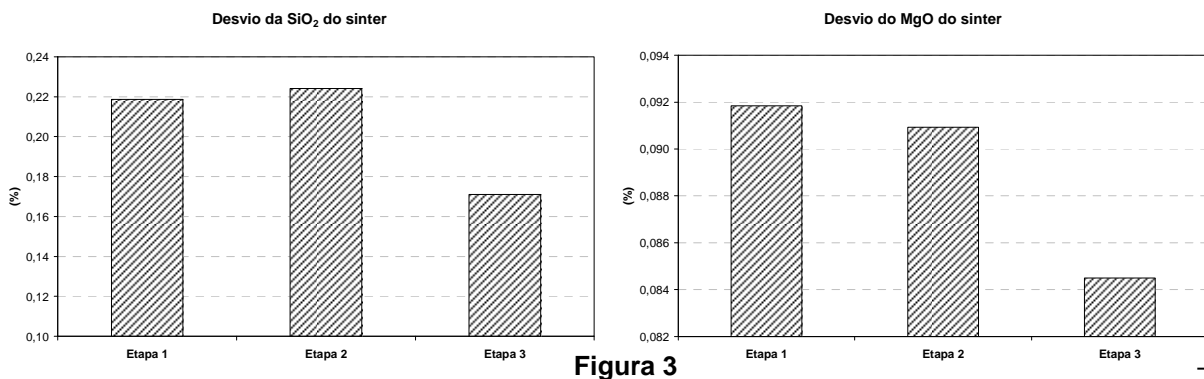
O calcário dolomítico já foi utilizado na sinterização da ArcelorMittal Monlevade em substituição ao serpentinito, porém devido a baixa necessidade de elevação do teor de MgO e redução do volume de escória no período, a utilização foi paralisada.

A utilização do calcário dolomítico na sinterização da ArcelorMittal Monlevade pode ser descrita em três etapas distintas. A primeira etapa, devido ausência de silo de dosagem exclusivo disponível, foi marcada pela blendagem do calcário dolomítico juntamente com o serpentinito no pátio de matérias-primas. A mistura dos fundentes era realizada através de pás mecânicas. Para operacionalizar a blendagem a proporção utilizada foi fixada em 50% serpentinito e 50% calcário dolomítico. Após blendagem a mistura era enviada para o silo de dosagem da sinterização. Devido a imprecisão deste método de blendagem, foi percebido uma grande variação da qualidade química do sinter, principalmente nos teores de MgO e  $SiO_2$ . Outro ponto negativo nesta etapa foi o elevado custo com o transporte do material e muita geração de poeira no manuseio do material no pátio.

A segunda etapa do consumo de calcário dolomítico deu-se pela formação da mistura na área de recepção das matérias-primas da sinterização. Um ponto importante nesta etapa foi a maior confiabilidade com relação à etapa 1 na formação da mistura, uma vez que estes fundentes eram recebidos em silos de recepção diferentes e dosados em forma volumétrica pela abertura das guilhotinas de cada silo, dando uma maior flexibilidade na composição da mistura (possibilidade de variar a proporção entre serpentinito e calcário dolomítico). Esta etapa contribuiu

também para a redução de custos na sinterização pela eliminação dos custos das pás mecânicas no pátio e transporte da mistura.

A terceira e ultima etapa do consumo de calcário dolomítico iniciou-se com a liberação de um silo da área de dosagem que estava em manutenção, possibilitando a utilização de silos exclusivos para o serpentinito e calcário dolomítico. Destaca-se nesta etapa uma maior precisão e flexibilidade na dosagem dos fundentes. Na Figura 3 nota-se a redução do desvio padrão da  $\text{SiO}_2$  e  $\text{MgO}$  do sinter durante as três etapas do desenvolvimento.



**Figura 3**  
Influência do tipo de preparação da mistura na qualidade do sinter

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Desde janeiro de 2009 a sinterização da ArcelorMittal Monlevade está utilizando continuamente o calcário dolomítico em substituição ao serpentinito com um consumo específico na faixa de 25 a 35kg/t de sinter.

A elevação do teor de  $\text{MgO}$  do sinter foi imprescindível para a operação do AF-A após o início de elevação do teor de alumina do sinter em função do SFAN. A Figura 4 demonstra a evolução do teor de  $\text{MgO}$  na escória do alto-forno e do sinter. Durante este período pode ser observada também a elevação do consumo de calcário dolomítico e redução do consumo de serpentinito.

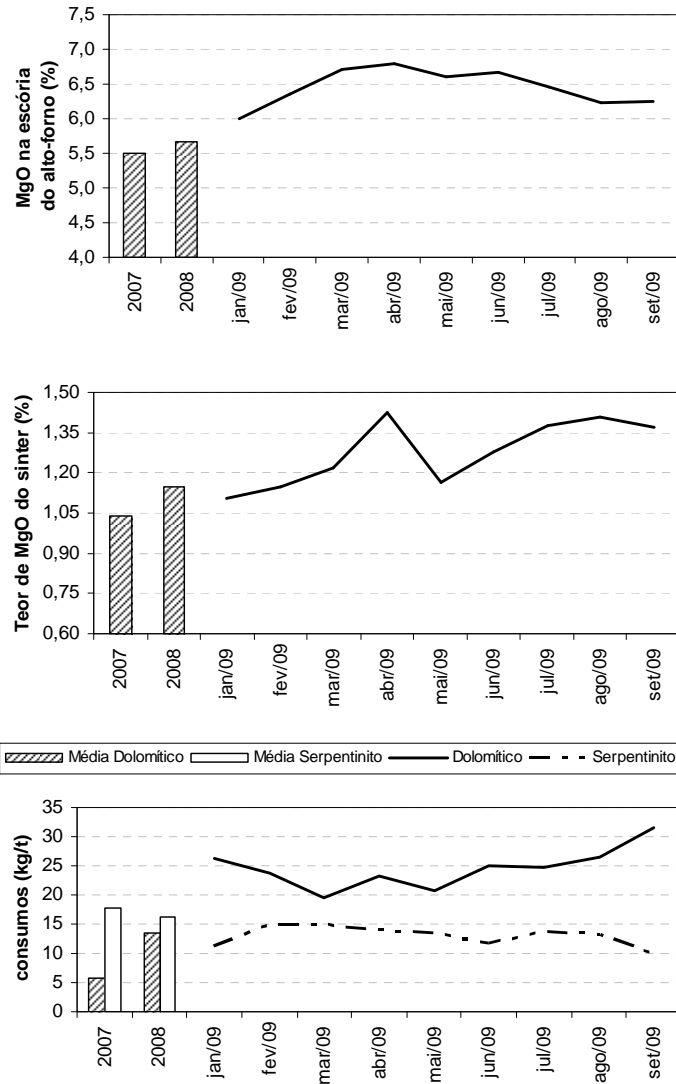


Figura 4 – Teor de MgO da escória do AF-A, MgO do sinter, consumo de calcário dolomítico e serpentinito.

Dentre os efeitos da utilização do calcário dolomítico na sinterização de Monlevade, a manutenção da performance da sinterização expressa através da produtividade foi um destaque positivo, ou seja, a sinterização conseguiu operar com os mesmos níveis de produtividade mesmo com a elevação do teor de MgO.

Outro efeito que foi observado no processo de sinterização foi a elevação do consumo específico de combustíveis após a elevação do consumo de calcário dolomítico. Este aumento do consumo deve-se a necessidade de um maior aporte térmico para a decomposição do calcário dolomítico.

A piora da qualidade física do sinter, expressa pelo índice de tamboramento, também foi observada após o maior consumo de dolomítico. A Tabela 2 mostra um comparativo dos principais resultados operacionais da sinterização com a elevação do consumo de calcário dolomítico.

**Tabela 2-** Principais resultados operacionais com a elevação do consumo de calcário dolomítico

Parâmetro	Unidade	Média do Período	
		Período I	Período II
Consumo calcário dolomítico (base seca)	kg/t	5,7	24,4
Teor de MgO do sinter	%	1,04	1,32
Produtividade	t/m <sup>2</sup> /24h	40,8	40,2
Tumble index	<6,35mm	72,7	71,1
Consumo combustível (base seca)	kg/t	47,9	48,5
Volume de escória so sinter	%	14,6	14,9

Pelo fato dos testes terem sido feitos em escala industrial não foi possível identificar diferenças entre os tipos de calcários utilizados devido à dificuldade de fixação dos demais parâmetros de processo e matérias-primas. No entanto foi observada uma excessiva geração de poeira no manuseio e na área de dosagem da sinterização quando utilizado o calcário mais fino, podendo inviabilizar o consumo. Também foi observada a presença de grãos de calcário sem reagir coincidindo com o período de utilização do calcário dolomítico mais grosseiro, afetando o consumo de combustível e a qualidade física do sinter.

## 5 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos com a utilização de calcário dolomítico na sinterização pode-se concluir que:

- embora observada uma pequena degradação da resistência física do sinter e elevação do consumo de combustível, a sinterização manteve o mesmo nível de produtividade com a elevação do teor de MgO, para a proporção de calcário dolomítico utilizada, mostrando a viabilidade técnica e operacional da utilização deste fundente em substituição ao serpentinito; e
- a elevação do teor de MgO da escória do alto-forno de 5,5% até 6,5% foi imprescindível para uma maior oferta de sinter com qualidade e maior estabilidade operacional do alto-forno devido a melhora da qualidade da escória do AF-A.

## REFERÊNCIAS

- 1 HONORATO, Edilson Pinto. 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, Belo Horizonte, EEUFMG, 2005.
- 2 HIGUCHI, K.; TANAKA, T.; SATO, T. Reaction behavior of dolomite accompanied with formation magnetite solid solution in iron ore sintering process, ISIJ International, v.47, n.5, p. 669-678, 2007.
- 3 YADAV, U.S.; PANDEY, B.D.; DAS, B.K.; JENA, D.N. Influence of magnesia on sintering characteristics of iron ore, Ironmaking and Steelmaking, v.29, n.2, p. 91-95, 2002.
- 4 TANAKA, T.; NAKAMOTO, M.; USUI, T. Proc. of Japan-Korea Workshop on Science and Technology in Ironmaking and Steelmaking, ISIJ, Tokyo, p. 56, 2003.