

## ASPECTOS FUNDAMENTAIS E PECULIARIDADES DA SINTERIZAÇÃO DE CROMITAS<sup>1</sup>

Marcelo Gualberto Rocha<sup>2</sup>  
Anderson Santana da Silva<sup>2</sup>  
Domingos Miranda Filho<sup>2</sup>  
Eduardo de Oliveira Lino<sup>2</sup>  
João.Ramos Neto<sup>2</sup>  
Cyro Takano<sup>3</sup>

### Resumo

Para concentração de minérios de cromita, com pouca ganga, há necessidade de moagem para frações menores que 1 mm, resultando numa distribuição granulométrica não favorável para sinterização. A relação de partículas nucleantes/aderentes dos concentrados é da ordem de 15/85 quando o ideal seria de 60/40. Além disso, os concentrados de cromita são constituídos de partículas de cromita (cristais na forma de um espinélio complexo  $XO.Y_2O_3$ , onde  $X= Fe$  e  $Mg$ ; e  $Y= Cr, Al$  e  $Fe$ , principalmente) e de partículas de ganga, principalmente de silicato de magnésio. As partículas de cromita mesmo finas não participam na formação da fase líquida durante a sinterização, como acontece na sinterização de minérios de ferro, pois a temperatura de início de fusão está acima de  $1.800^{\circ}C$ . A ganga também apresenta temperatura de início de fusão elevada (temperatura *solidus*), da ordem de  $1.400^{\circ}C$  a  $1.500^{\circ}C$ , exigindo durante a sinterização picos elevados de temperatura (entre  $1.450^{\circ}C$  a  $1.500^{\circ}C$ ) e durante um tempo longo (acima de 5 minutos) à temperatura, correspondendo à zona de combustão larga, da ordem de 75 mm. Este trabalho aborda estes aspectos fundamentais, com caracterizações das cromitas, estimativas das temperaturas *liquidus* da ganga das cromitas e de fundente. Baseando-se nesses conceitos foram utilizados finos de minério substituindo parcialmente os concentrados e também com adição de fundente. Resultados industriais nessas condições mostraram melhoria sensível no rendimento e no consumo de combustível.

**Palavras-chave:** Sinterização; Cromita; Fundamentos.

### FUNDAMENTALS ASPECTS AND PECULIARITIES OF SINTERING OF CHROMITES

#### Abstract

Chromites ores needs to be crushed bellow 1 mm size to allow concentrations for decreasing the content of gangues. The concentrates particle size distributions, therefore, are not favorable for sintering. The relation nucleants/adherents of concentrates is around 15/85 in comparison with desirable 60/40. The chromites concentrates are composed basically by chromite grains (complex spinel structure  $XO.Y_2O_3$ ) and gangues of magnesium silicates, mainly. Chromites grains do not contribute for forming a liquid phase during sintering due to high melting temperature (above  $1.800^{\circ}C$ ) and the gangue also presents *solidus* temperature around  $1.400^{\circ}C/1.500^{\circ}C$ . Combustion zone during sintering should reach  $1.450^{\circ}C$  to  $1.500^{\circ}C$  with width of around 75 mm corresponding of 5 minutes at the temperatures. This paper tries to analyze these fundamentals aspects, with characterizations of chromites, with estimate of *liquidus* temperature of chromites grain and gangue. For improving permeability, fines of ore were added to the charging mixture and also some slag forming agent aiming to facilitate the liquid phase forming. The results of industrial runs presented improved sintering yields.

**Key words:** Sintering; Chromites; Fundamentals.

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Cia de Ferro Ligas da Bahia S.A. – Ferbasa.

<sup>3</sup> Membro da ABM. Professor Associado do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP.

## 1 INTRODUÇÃO

A Ferbasa utiliza na produção de Ferro-Cromo, em forno elétrico de redução, granulado fino de minério e sinter produzido a partir de concentrados de cromita. A utilização de sinter é preferível em relação ao granulado por conter menos ganga e também por melhorar o desempenho no forno elétrico, por aumentar a permeabilidade aos gases (produtos de redução).

Para diminuição da ganga dos minérios de cromo os mesmos são moídos para frações finas (no caso, menores que 0,6 mm a 1 mm) para uma boa liberação e para que possibilite a concentração, resultando numa distribuição granulométrica não favorável para sinterização. A relação de partículas nucleantes/aderentes dos concentrados é da ordem de 15/85 quando o ideal seria de 60/40. Além disso, os concentrados de cromita são constituídos de partículas de cromita (cristais na forma de um espinélio complexo  $XO.Y_2O_3$ , onde  $X = Fe$  e  $Mg$ ; e  $Y = Cr, Al$  e  $Fe$ , principalmente).<sup>(1)</sup> As partículas de cromita mesmo finas não participam na formação da fase líquida durante a sinterização, pois a temperatura de início de fusão está acima de  $1.800^\circ C$  e como o tempo na zona de sinterização (combustão) é curto não permite a dissolução das mesmas. A ganga é composta principalmente de silicato de magnésio, também com temperatura de início de fusão elevada, da ordem de  $1.400^\circ C/1.500^\circ C$ , exigindo durante a sinterização picos elevados de temperatura, entre  $1.450^\circ C$  e  $1.500^\circ C$ ,<sup>(2)</sup> durante um tempo longo (acima de 5 minutos) à temperatura, correspondendo à zona de combustão larga, da ordem de 75 mm.

Este trabalho aborda estes aspectos fundamentais, com caracterizações das cromitas, estimativas das temperaturas *liquidus* da ganga das cromitas e do fundente. Baseando-se nesses conceitos foram utilizados finos de minério (mais grosseiro) substituindo parcialmente os concentrados visando melhoria na permeabilidade da carga a sinterizar e também com adição de fundente grosseiro contendo componentes exotérmicos para facilitar a formação da fase líquida durante a sinterização.

## 2 CARACTERIZAÇÕES DOS MATERIAIS E SEUS EFEITOS NA SINTERIZAÇÃO

Os concentrados e o fundente foram caracterizados quanto à distribuição granulométrica, análise química, análise por microscopia eletrônica de varredura com micro-análise por EDS. No combustível não foi feita a caracterização micrográfica.

### 2.1 Análise Granulométrica

A Tabela 1 contém a distribuição granulométrica desses materiais, onde se observa que no concentrado Jacurici praticamente 75% das partículas entram na categoria dos aderentes ( $< 0,21$  mm) com presença nula de nucleantes ( $> 0,6$  mm) e no concentrado Comisa praticamente 29% são aderentes e apenas 5,2% nucleantes. Os finos de minério Jacurici são bastante favoráveis à melhoria da permeabilidade por conter 56% de frações acima de 0,6 mm (nucleantes).

**Tabela 1.** Distribuição granulométrica das materiais primas para sinterização

Espécie	Distribuição Granulométrica (peneiras) mm ou mesh (#) / % retida											
	6,35 mm	4,76	2,83	0,84	0,6	0,3	0,21	0,15	< 0,15	0,11	0,075	<0,075
	#				28	48	65	100	<100	150	200	< 200
Conc. Jacurici		0	0	0	0,04	7,0	17,9	61,7		8,3	4,5	0,7
Conc. Comisa		0	0	0	5,2	41,5	24,4	19,9		4,1	2,8	2,0
Finos minério A	5,5	8,8	14,1	23,1	4,2	11,6	15,2	9,6		2,3	3,8	2,0
Carvão vegetal	14,1		21,8		37,1	18		6	3			
Escória FeSiCr	37,4	4,3	8,5	9,1	7,4	5,7	4,6	2,3		10,3	7,1	3,3
Finos de Sinter		12,8	6,2	14,2	8,2	27,7	13,7	11,4		3,6	1,6	0,6

## 2.2 Análise Química

A Tabela 2 apresenta os resultados de análise química. Os teores de cromo no concentrado Jacurici são maiores que os dos finos de minério Jacurici, mostrando coerência. Os resultados estão apresentados em óxidos correspondentes e para o Fe foi considerado que o mesmo está totalmente na forma de “FeO”. Vale lembrar que as análises químicas dão composições médias sem distinguir a mineralogia dos componentes dos concentrados. Mais adiante, no item “análise dos resultados, sub item 2”, será discutido este aspecto e elucida melhor as composições das partículas de grãos de cromita e das gangas presentes; e também será estimado o teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que estaria presente na cromita. O carvão vegetal (combustível) apresenta um teor relativamente baixo de carbono fixo em decorrência da contaminação durante o seu processamento e armazenamento. A quantidade de cinza é, portanto, alta e tem mostrado que aumenta em frações mais finas, menores que 0,6 mm (Tabela 2).

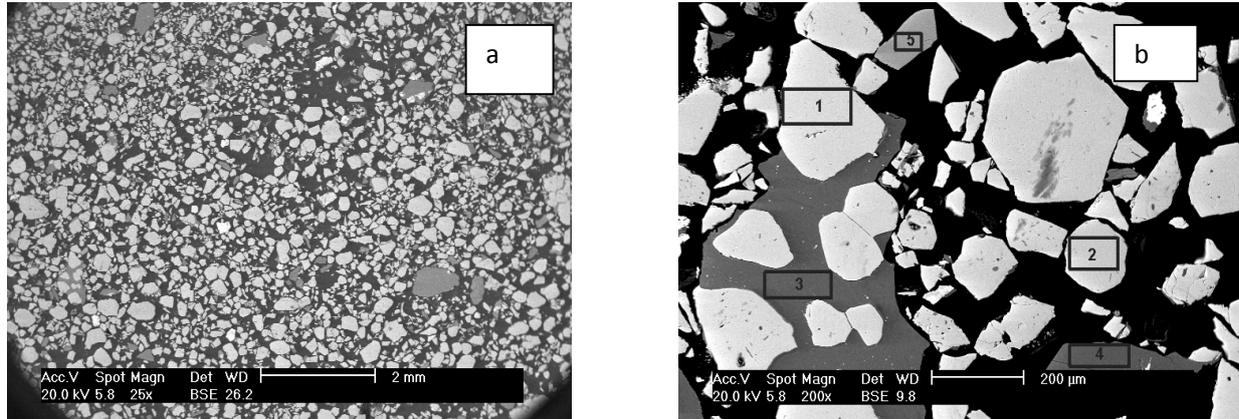
**Tabela 2.** Análise química dos materiais

Materiais\ componentes	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CrO	FeO	Cfixo	M. Vol	Cinza
Conc. Jacurici	13,6	18,2	3,4	0,17	43,8		17,7			
Conc. Comisa	13,2	9,5	8,2	0,4	38,5		28,0			
Finos Minério Jacurici	17,5	14,5	12	0,5	36,7		16,3			
Esc FeSiCr	12,9	11,6	30,8	43,7	-	0,5	0,5			
Carvão vegetal (geral)								66,6	19,1	13,6
C.veg <0,6mm (27%)								46,5	18,5	35,0

## 2.3 Caracterização Micrográfica

As Figuras 1, 2 e 4 mostram as micrografias, por microscopia eletrônica de varredura (MEV), das principais matérias primas utilizadas na sinterização da Ferbasa. Na Figura 3, por lupa e microscopia ótica, tem-se uma visão das partículas de finos de minério de cromita Jacurici.

### 2.3.1 Concentrado Jacurici

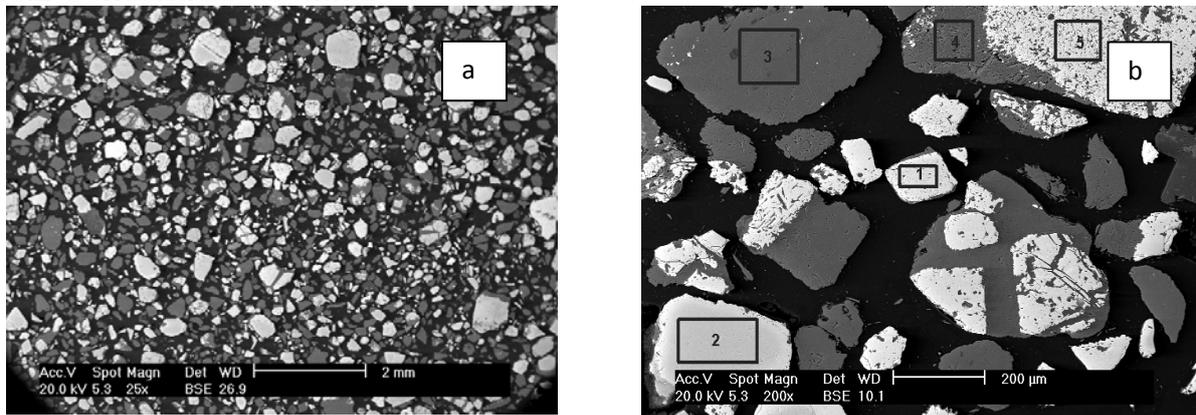


**Figura 1.** MEV. a) Vista geral da amostra de concentrado Jacurici: (< 0,6 mm); bem liberado, pouca ganga. 25x. Cromita (partículas claras) e ganga (partículas cinza); b) Pouca cromita (fase clara – FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) não liberada da ganga de silicato de magnésio (fase escura). Aumento 200x. Partículas de cromita de ~ 0,05 mm a 0,5 mm.

**Tabela 3.** EDS das áreas mostradas na Figura 1 b (% peso)

Área	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	
1	16,5	10,5	12,9	0,0	0,0	39,1	19,6	Cromita
2	17,3	11,7	14,5	0,0	0,0	39,4	16,4	Cromita
3	29,2	26,8	1,7	31,9	0,3	0,0	8,9	Ganga
4	29,2	25,6	2,9	34,1	0,5	0,0	6,0	Ganga
5	20,0	13,8	32,4	0,0	0,0	15,8	16,9	Cromita

### 2.3.2 Concentrado Comisa

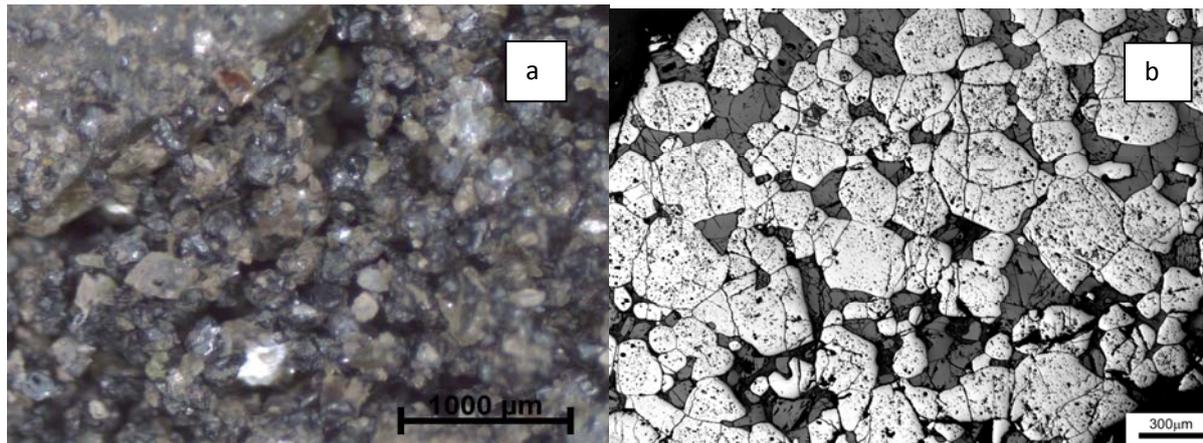


**Figura 2.** MEV a) Vista geral do concentrado Comisa onde os grãos claros são de cromita e escuros são de ganga; contem muita ganga e é mais grosseiro que o concentrado Jacurici. Aumento de 25X; b) detalhes com aumento de 200X.

**Tabela 4.** EDS das áreas mostradas na Figura 2b. (%peso) Concentrado Comisa

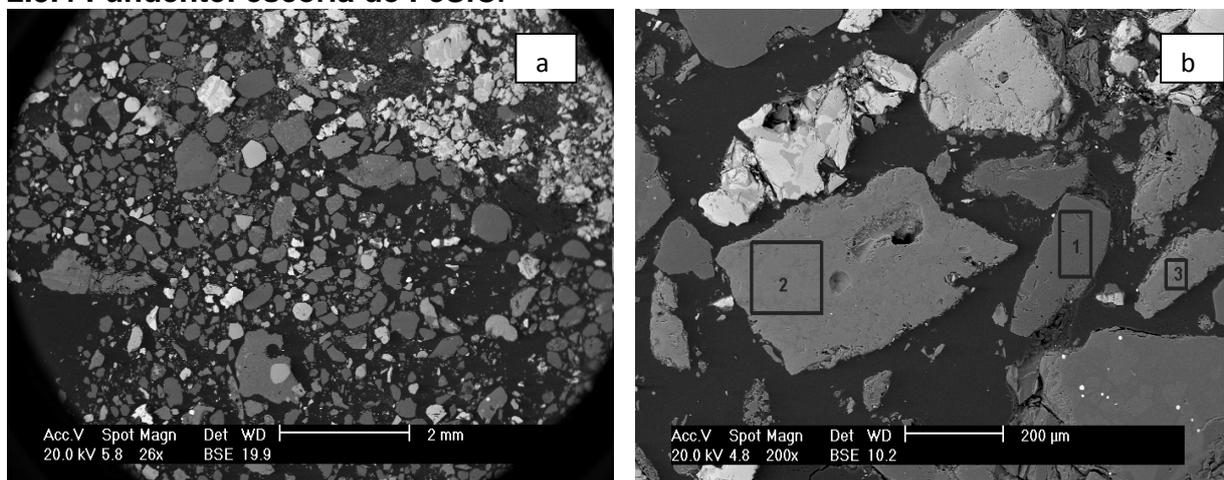
Área	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	Observação
1	16,7	4,0	0,7	0,0	0,0	41,8	36,3	Cromita baixo Al,Mg
2	18,4	9,2	9,5	0,0	0,0	43,2	18,8	Cromita baixo Fe
3	32,3	28,6	5,3	27,9	0,2	0,0	2,0	Ganga, silicato-Al-Mg
4	31,6	25,4	8,4	25,8	0,3	0,0	3,2	Ganga
5	17,4	4,9	1,2	0,0	0,0	42,0	32,2	Cromita

### 2.3.3 Finos de minério Jacurici



**Figura 3.** Finos de minério Jacurici mostrando aspecto dos grãos de cromita (clara) e em quantidade maior de ganga (escura) comparado ao concentrado Jacurici correspondente. a) vista por lupa; b) microscopia ótica de partícula contendo grãos de cromita (clara) e ganga (escura).

### 2.3.4 Fundente: escória de FeSiCr



**Figura 4.** MEV a) Aspecto geral do fundente (escória de FeSiCr) contendo partículas metálicas (claras) e escória propriamente dita (escura); b) (mais escura), silicato-aluminato de Ca e Mg (2 e 3); e fase metálica (mais clara).

**Tabela 5.** EDS das áreas mostradas na Figura 4b (escória)

Area	O	Mg	Al	Si	Ca	Cr	Fe	
1	29,4	1,3	2,0	66,1	0,22	0,6	0,5	Silica
2	21,4	10,2	8,9	24,4	34,3	0,4	0,4	Silicato-aluminato Ca Mg
3	20,9	9,9	9,7	23,8	34,8	0,3	0,4	Silicato-aluminato Ca Mg

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO E OS EFEITOS NA SINTERIZAÇÃO

#### 3.1 Distribuição Granulométrica dos Materiais

Verifica-se na Tabela 1 uma granulometria muito fina dos concentrados. Utilizando o conceito de nucleantes (> 0,6 mm) e aderentes (< 0,2 mm) observa-se que os concentrados, em si, apresentam esta relação de 0/100 e 15/85 respectivamente para concentrados A e B, bem impróprio (a relação recomendada é de aproximadamente 60/40), para propiciar uma boa permeabilidade da carga a sinterizar. Como não há possibilidade de se cominuir para frações maiores sem prejudicar a qualidade de concentrados, assim como há necessidade de utilizar os concentrados disponíveis, as alternativas para melhoria da permeabilidade ficam restritas a:

- compensar com os componentes de mistura a sinterizar, contendo majoritariamente partículas maiores que 0,6mm (nucleantes), por exemplo, os finos de minério que apresenta a relação nucleantes/aderentes de 76/24;
- aumentar a granulometria dos finos de retorno e conseqüentemente aumentar o seu teor na mistura;
- aumentar a granulometria do combustível e dos fundentes; e
- aumentar a quantidade de finos de minério. Por outro lado o aumento da granulometria do combustível favorece também o alargamento da zona de combustão, necessário para a sinterização de cromita.

Em função da baixa permeabilidade da carga a sinterizar, associada à necessidade de altas temperaturas por tempo longo (acima de 1.450°C a 1.500°C durante ~ 5 minutos), o tempo de sinterização também é longo, da ordem de 40 minutos a 50 minutos<sup>(2)</sup> refletindo na baixa produtividade da sinterização, se comparada com sinterização de minério de ferro.

Para atender às necessidades de altas temperaturas por longo tempo a granulometria do combustível precisa ser controlada para frações maiores que os recomendados para minérios de ferro (1 mm a 3 mm). Frações mais grosseiras de combustível auxiliam na permeabilidade. A necessidade de altas temperaturas é também favorecida pela presença de componentes que gerem reações exotérmicas durante a combustão.

#### 3.2 Estimativas das Composições das Cromitas e das Gangas

Como a sinterização depende da formação da fase líquida pela fusão parcial da carga, para um melhor entendimento do processo procedeu-se às estimativas, primeiramente, das composições dos concentrados de cromitas (mineral cromita) e das gangas presentes nos concentrados. As composições foram estimadas a partir das análises químicas e das micro-análises das fases identificadas por microscopia eletrônica. Como os resultados de EDS não são precisos quanto aos teores de O, foi feita uma correção

estimando-os baseando-se nas análises dos elementos Mg, Si, Al, Fe, Cr e transformando-os nos respectivos óxidos. O Cr foi considerado totalmente como  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  e a estimativa de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  foi feita para balancear o número de mols de XO igual ao número de mols de  $\text{Y}_2\text{O}_3$  (considerando uma cromita pura). As estimativas estão na Tabela 6.

Com esses dados, auxiliados com os resultados de análise química geral dos concentrados (Tabela 2), e simulando-se para os balanços de massa de  $\text{SiO}_2$  (por ser componente de maior teor da ganga) e de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (por ser o de maior concentração de grãos de cromita) permitiu-se estimar, ainda que grosseiramente, as quantidades de ganga e do mineral cromita nos concentrados. Os resultados estão na Tabela 7.

Para estimar os teores de metálicos na escória de FeSiCr, admitiu-se que todo Fe (hipótese razoável) analisado estaria na forma de FeSiCr e conhecendo-se o teor de Fe nas ligas de FeSiCr, estimaram-se os teores de metálicos e de escória propriamente dita. Resultados estão também na Tabela 7.

**Tabela 6.** Estimativas das composições dos minerais cromita e ganga dos concentrados de cromita

	Grãos de cromita nos concentrados						
	MgO	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	CaO	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	FeO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Conc. Jacurici	14,8	19,3	0,0	0,0	47,6	12,3	6,0
Conc. Comisa	8,8	4,9	0,0	0,0	49,8	19,6	13,8
	Ganga contida nos concentrados						
Conc. Jacurici	39,8	3,1	50,5	0,6	0,0	4,6	
Conc. Comisa	40,1	10,4	38,6	0,4	0,0	4,5	

**Tabela 7.** Estimativas das quantidades de mineral cromita e ganga nos concentrados de cromita, e de escória e metálicos contidos na escória de aditivo como fundente (%)

	Cromita	Ganga	Escória	Metálicos
Concentrado. Jacurici	94 a 96	4 a 6		
Concentrado B	75 a 80	20 a 25		
Escória FeSiCr			82	18

### 3.3 Estimativa da Composição da Escória de FeSiCr e da Fase Metálica Contida Nela

Procedeu-se a seguinte metodologia para esta estimativa. Baseando-se nas análises químicas (geral) e nas micro-análises por EDS, com as devidas correções no teor de oxigênio por EDS e considerando que todo Fe da escória estaria na forma metálica (FeSiCr) estimou-se a quantidade de metálicos presentes e conseqüentemente os teores de Si e Cr na forma metálica. Estimou-se assim a composição da fase oxidada da escória. A Tabela 8 mostra os resultados obtidos dessas estimativas. A presença de grandes teores de fase metálica (da ordem de 18%) nessa escória contribuem de maneira expressiva na sinterização, seja permitindo um pico maior de temperatura, pela reação exotérmica intensa na oxidação desses metálicos, assim como possibilitando a redução de quantidade de combustível. A composição da fase oxidada de menor temperatura *liquidus* (Tabela 8) também contribui para a formação da fase líquida.

### 3.4 Estimativas das Temperaturas *Liquidus* das Cromitas, das Gangas e da Escória

Ainda que grosseiramente, as partir das composições dos minerais cromita e ganga, assim como do fundente, foram estimadas as temperaturas *liquidus* baseando-se nos diagramas ternários e quaternários.<sup>(3)</sup> Os resultados estão na Tabela 8.

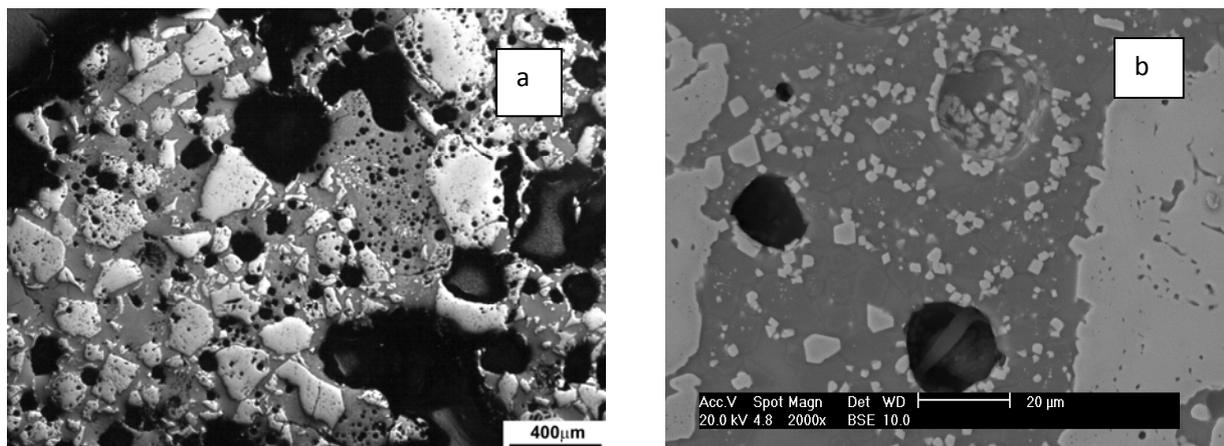
Os cristais de cromita são extremamente refratários e a estimativa de temperatura *liquidus* está acima de 2.000°C. Portanto, a única maneira dessas partículas de cromita incorporar na fase líquida formada, durante a sinterização, é por dissolução. Este mecanismo exige tempo às altas temperaturas. Como tempo é de apenas, da ordem, de 5 minutos na zona de combustão (~1.500°C), as partículas de cromita mesmo pequenas, praticamente, não participam da formação da fase líquida.

**Tabela 8.** Temperaturas *liquidus* estimadas dos grãos de cromita, da ganga e do fundente

	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Temp. <i>liquidus</i> estimada
Fase cromita ( grãos de cromita) dos concentrados								
Grãos de cromita	8,5 a 15	5 a 20	0	0	42 a 52	12 a 19	10 a 15	Acima de 2.000°C
Fase ganga dos concentrados de cromita								
Conc. Jacurici	39,8	3,1	50,5	0,6	0	4,6		~1.750°C/1.600°C
Conc. Comisa	40,1	10,4	38,6	0,45	0	4,5		~1.750°C/1.600°C
Fundente: escória de FeSiCr, sem fase metálica								
Escória	12,9	11,6	30,8	43,7	0,5	0,5		~1.500°C/1.400°C

A ganga apresenta uma estimativa de início de fusão (temperatura *solidus*) acima de 1.500°C, exigindo picos altos de temperatura durante a sinterização ou presença de fundentes.

Os resultados de sinterização com utilização de fundentes e com a contribuição de cinza de carvão vegetal, no caso rica em SiO<sub>2</sub>, resultaram numa formação da fase líquida (Figura 5) cuja composição estimada a partir das micro-análises está na Tabela 9 e apresenta temperatura *liquidus* estimada bem mais baixa (~1.400°C).



**Figura 5.** Micrografias do sínter obtido com adições de finos de minério e de fundente. a) Microscopia ótica. 50x. Verificam-se porosidades na cromita e na fase escória formadas durante a sinterização. Fase mais clara é grão de cromita, fase cinza escura é a fase formada pela fusão parcial e áreas pretas são

poros; b) MEV, mostrando grãos extremamente finos de cromita dispersos na fase líquida formada durante a sinterização

**Tabela 9.** Estimativa da composição da fase líquida formada durante a sinterização, baseada em micro-análise da área cinza escura da figura 5b

	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Temperatura <i>liquidus</i>
Fase cinza escura	16	13	54	9	8	1.400°C/1.300°C

#### **4 RESULTADOS DAS SINTERIZAÇÕES COM ADIÇÃO DE FUNDENTE E COM UTILIZAÇÃO DE FINOS DE MINÉRIO**

Em função das análises acima foram realizadas uma série de sinterizações mantendo-se o mais constante possível as composições por longo período para diluir os efeitos das variáveis não controladas. Como falsa grelha foi utilizada minério de cromita com granulometria de 6 mm a 30 mm.

Como a produtividade envolve fatores não técnicos, por exemplo paradas emergenciais, introduziu-se o conceito de índice de desempenho técnico (IDT), baseando-se apenas nas variáveis técnicas do processo (efetivamente medidas). No caso da Ferbasa, a sinterização é feita intermitentemente, em painéis, e são anotados o tempo para cada ciclo e o rendimento de sínter (% maior que 6 mm). Assim, este índice foi calculado pelo produto (diretamente proporcional) da massa de sínter produzido com o inverso do tempo médio de sinterização/ciclo. É a mesma unidade de produtividade (t/h) onde foram expurgados os tempos gastos por paradas emergenciais.

$$\text{IDT (t/h)} = K \cdot (\text{produção sínter, em toneladas}) / (\text{tempo médio de sinterização, em h})$$

Onde, K= constante de proporcionalidade, para se ajustar com a produtividade dos períodos sem paradas emergenciais.

As variáveis ensaiadas foram: efeitos das adições de finos de minério de cromita e de fundentes. Os finos de minério, embora contendo maiores teores de ganga do que o concentrado apresenta a vantagem de atuar como nucleantes da mistura a sinterizar (a relação Nucleantes/aderentes é de 76/24) e assim melhorar sensivelmente a permeabilidade da carga a sinterizar, diminuindo o tempo de sinterização. A adição de fundente, no caso, com fase escória apresentando temperatura *liquidus* da ordem de 1.500°C facilitaria junto com as cinzas de carvão vegetal a formação da fase líquida melhorando o rendimento de sínter. No caso específico, por conter fases metálicas, serve também como substituto parcial de carvão vegetal. Os resultados estão na Tabela 10 e na Figura 6.

A Figura 5 mostra também que houve uma boa formação de sínter com fusão de todos componentes da ganga, do fundente e da cinza de carvão vegetal envolvendo os grãos de cromita. Estes grãos de cromita não se fundem e nem se dissolvem na fase líquida formada durante a sinterização.

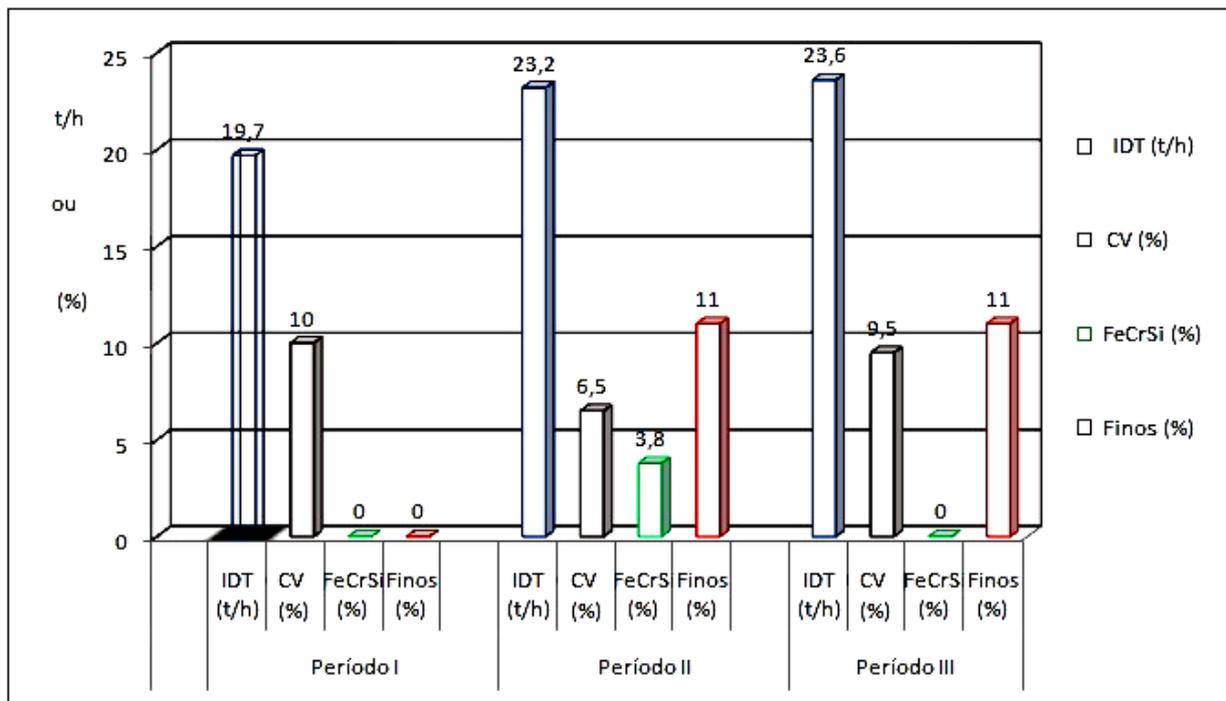
O efeito do aumento de permeabilidade da carga a sinterizar devido à adição de partículas nucleantes (11% de finos de minério substituindo os concentrados) aumentou em mais de 20% o índice de desempenho técnico de sinterização.

Os efeitos da adição de escória de FeSiCr também são evidentes, mostrando um aumento no desempenho técnico na sinterização da ordem de 20%, com teores de

adição de 3,8% na mistura a sinterizar comparando-se a série de experiências sem adição de finos de minério

**Tabela 10.** Resultados de sinterização industrial com variações na permeabilidade da carga a sinterizar (adições de finos de minério) e de fundente (escória de FeSiCr)

Período (dias)	Concentrado		Esc. FeSiCr (%)	Falsa grelha (%)	Finos		Rendimento efetivo (%)	Tempo (min)	Produtividade (t/h)	Índice de desempenho técnico (IDT, t/h)
	Jacurici (%)	Comissa (%)			Minério Jacurici (%)	Carv. Vegetal (%)				
8	39	39		22		10	65,2	49	19,7	19,7
5	34	34		21	11	9,5	65,4	41	22,6	23,6
17	32	32	3,8	21	11	6,5	65,7	42	22,5	23,2



**Figura 6.** Resultados de desempenho técnico de sinterização com adições de finos de minério de cromita e de fundente.

O melhor desempenho é decorrente dessa escória conter alto teor de metálicos (FeSiCr) presentes na escória (propiciando altos picos de temperatura); pelo efeito da escória em si de temperaturas *solidus/liquidus* da ordem de 1.400°C a 1.500°C; e por ter propiciado melhora na permeabilidade da carga. Obteve-se um sinter de boa formação, com fusão completa das impurezas presentes (gangas, cinza de carvão vegetal, escória) e praticamente sem dissolução de partículas de cromita, mesmo pequenas. Com isso, verifica-se que tanto as experiências em que se utilizou a escória de FeSiCr quanto a utilização de finos de minério apresentaram resultados mais satisfatórios do que as experiências utilizando apenas concentrados de cromita. A utilização de escória de FeSiCr resultou num índice de desempenho satisfatório devido a granulometria grosseira da mesma proporcionar uma melhor permeabilidade na carga

como também, a presença de metal possibilitou uma exotermia na sinterização, onde foi possível a redução do carvão vegetal em 3,5%. A utilização de finos de minério proporcionou uma melhor permeabilidade na carga (contem aproximadamente 56% de partículas maiores que 0,6 mm) o que refletiu no aumento do índice de desempenho.

## 5 CONCLUSÕES

- Na sinterização de minérios ou concentrados de cromita há necessidade de picos altos de temperaturas (da ordem de 1.500°C) para fundir a ganga constituída principalmente de silicato de magnésio;
- os grãos de cromita contidos nos minérios ou concentrados não participam da formação da fase líquida durante a sinterização e praticamente não se verifica dissolução desses grãos mesmo de partículas bem finas.
- desde que a zona de combustão atinja picos de temperaturas da ordem de 1.500°C durante aproximadamente 5 minutos forma-se um bom sínter com fusão de praticamente de todos componentes (ganga do minério, fundente e cinza de carvão), com exceção dos grãos de cromita, formando uma fase contínua ligando as partículas de cromita.
- como esperado, quando da utilização de concentrados de minérios de cromita (bastante finos, < 0,2 mm a 1 mm), o desempenho de sinterização é melhorado sensivelmente com adições de finos de minério, com relação favorável de nucleantes/aderentes (aproximadamente 56% de partículas maiores que 0,6mm).
- o efeito benéfico da adição de fundente é bem mais sensível quando a permeabilidade da carga é baixa (sem adições de nucleantes)

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Ferbasa pelo apoio e permissão para a publicação deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- 1 Hino, M.; Higuchi, K.; Nagasaka, T.; Ban-Ya, S. Phase equilibria and thermodynamics of FeO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO.Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - MgO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spinel structure solution saturated with (Cr, Al)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. ISIJ International, Vol. 35 (1995), N° 7, pp 851-858.
- 2 Zhu Deqing, Li Jian and He Aoping. Sintering behaviours of chromite fines and the consolidation mechanism. International Journal of Mineral Processing. Elsevier. Vol. 86,(2008) no. 1-4, pp 58-67.
- 3 Slag Atlas. Verlag Stahleisen M.B.H. Duelsdorf-Ge, 1981.