

# CARACTERIZAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE FINOS DE LIGAS DE MANGANÊS (FeMnAC e FeSiMn)<sup>1</sup>

Geraldo Lúcio de Faria<sup>2</sup>

Érica Linhares Reis<sup>2</sup>

Fernando L. von Krüger<sup>3</sup>

Fernando Gabriel da Silva Araújo<sup>4</sup>

Cláudio Batista Vieira<sup>4</sup>

Nelson Jannotti Jr.<sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho investiga a concentração gravimétrica dos finos gerados durante o processamento de ligas de Ferro Manganês Alto Carbono (FeMnAC) e de Ferro Sílico Manganês (FeSiMn). A caracterização mostrou que as composições químicas dos finos estão abaixo das especificações para sua comercialização na indústria siderúrgica. Por meio de microscopia óptica, observou-se que, para a faixa granulométrica acima de 1,19mm, mais de 99% de ambos os finos correspondem às ligas. Para a faixa granulométrica abaixo de 1,19mm, 88% correspondem à liga de FeSiMn e o restante à escória e outros contaminantes. Para FeMnAC, 95% correspondem à liga e apenas 5% à escória e outros. Para a fração menor do que 1,19mm, testes de concentração em espiral foram efetivos, com elevado índice de recuperação de Mn para ambos os finos. As amostras foram submetidas a análises granulométricas, análises químicas e de micrografia.

**Palavras-chave:** Caracterização de resíduos; Finos de liga de manganês; Concentração gravimétrica; Espirais Humphreys.

## CHARACTERIZATION AND CONCENTRATION OF MANGANESE ALLOYS FINES (HC-FeMn AND FeSiMn)

### Abstract

This paper presents an investigation about Humphrey's concentration method applied on FeSiMn and high-carbon-FeMn alloys fines. The characterization procedures showed that the Mn, Fe and Si content did not meet the chemical specifications for commercial manganese alloys. The phosphorous concentrations meet the chemical specifications in the both FeSiMn and HC-FeMn alloys. Optical microscopy showed that more than 99% of HC-FeMn and FeSiMn above 1.19mm is alloy. For the fraction below 1.19mm, this procedure showed that 88% of the FeSiMn corresponded to the alloy and that the slag content was about 12%. For the HC-FeMn sample, 95% corresponded to the alloy and only 5% to the slag and others. The concentrations tests were successful for the alloys fraction below 1.19mm. A high Mn recuperation index was obtained.

**Key words:** Residues characterization; Manganese alloys fines; Gravity concentration; Humphrey's method.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais/REDEMAT/UFOP  
Praça Tiradentes 20, Centro, Ouro Preto, MG – geraldolfaria@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> M.Sc., Dr. – Fundação Gorceix

<sup>4</sup> M.Sc., Dr. – Rede Temática em Engenharia de Materiais/REDEMAT/UFOP

<sup>5</sup> Rio Doce Manganês (RDM)

## 1 INTRODUÇÃO

As ferro-ligas são ligas de ferro e outros metais que têm por finalidade facilitar a incorporação de elementos de liga ao aço e nas quais o teor dos outros metais é maior que o de ferro.

A liga de manganês FeMnAC (Ferro Manganês Alto Carbono), segundo ULLMANN<sup>(1)</sup>, é a mais utilizada, sendo aplicada principalmente na desoxidação do aço. O FeSiMn (Ferro Sílico Manganês), segundo ULLMANN<sup>(1)</sup> e RISS,<sup>(2)</sup> é empregado como um desoxidante complexo e na produção de aços de baixa liga. A tabela 1 nos fornece as especificações químicas comerciais das ferro-ligas FeMnAC e FeSiMn.

**Tabela 1** – Especificações Químicas Comerciais das Ferro-Ligas FeMnAC e FeSiMn.

Liga	Mn	C	Si	P	S
<b>FeMnAC</b>	74 - 78	7,5 Máx.	1,5 Máx.	0,3 Máx.	0,04 Máx.
<b>FeSiMn</b>	65 - 70	1,5 – 3,0	12 - 20	0,15 Máx.	0,04 Máx.

Devido a essas características, as ligas FeMnAC e FeSiMn são matérias-primas essenciais à produção de praticamente todos os tipos de aços, sendo adicionados em média 10kg de ferro-manganês por tonelada de aço. Segundo Liu,<sup>(3)</sup> cerca de 98% da produção mundial de ferro-manganês é destinada à produção de aços.

Segundo Mártires,<sup>(4)</sup> em 2004, a produção nacional do setor de ferro ligas à base de manganês, alcançou 480 mil toneladas, sendo 27% de FeMnAC e 62% de FeSiMn, mantendo a seqüência de crescimento de 3% em relação ao ano anterior.

Ambas as ligas FeMnAC e FeSiMn são produzidas pela redução dos minérios de manganês a altas temperaturas em fornos elétricos a arco submerso. A liga FeMnAC pode também ser produzida em alto-forno, porém a quantia efetivamente produzida é apenas uma pequena parte de toda a liga produzida em todo o mundo.<sup>(5,6)</sup>

Os produtos finais do processo são as ligas FeMnAC e FeSiMn. Também é gerada no processo escória de baixa densidade que flutuam sobre o metal no interior do forno. Na obtenção das ligas, dois estágios são de extrema importância. O primeiro é o vazamento do forno, onde liga e escória são separados, geralmente pelo processo *Skimmer*,<sup>(2)</sup> que é um sistema de coletores. A liga, por ter maior densidade, é coletada em um nível inferior e a escória, que flutua sobre o metal, em um nível superior.

Como o único mecanismo de separação do sistema liga-escória é a diferença de densidade, uma porção considerável de liga acaba contaminada por escória.

O segundo estágio produz ligas granuladas por meio da cominuição dos lingotes em britadores de mandíbula. A adequação granulométrica é feita de acordo com as especificações exigidas pelos clientes, usualmente na faixa de 6.3 a 50.0mm, para uso direto nas plantas de produção de aços. Durante este procedimento, resíduos finos de liga contaminados, com partículas menores que 6.3mm, são gerados. Resíduos estes que representam entre 10% e 15% de toda a produção.

Neste contexto, este trabalho caracterizou estes resíduos e realizou ensaios de concentração gravimétricos, visando a obtenção de concentrados com maior teor de manganês para aplicação imediata ou indireta, destes finos, nos processos de fabricação de ferro-ligas e aço. Isto abre portas para que se resolva não só um

problema econômico, mas também um grave problema ambiental, relacionado à diminuição de rejeitos nas indústrias produtoras de ferro-ligas de manganês.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente, as amostras de finos das ferro-ligas FeMnAC e FeSiMn, cada uma com cerca de 500 kg, foram homogeneizadas e quarteadas. A distribuição granulométrica foi obtida, por peneiramento, usando a série Tyler em um peneirador Ro-Tap a seco. Os teores de Mn, Fe, Si e P, da amostra global e dos produtos dos ensaios de concentração, foram determinados por ICP (Espectrômetro de Emissão por Plasma Indutivamente Acoplado).

Foram preparadas pastilhas das amostras de FeMnAC e FeSiMn para análise por microscopia óptica, visando determinar a quantidade de liga e de escória presentes, e também a forma como estão distribuídas nos finos.

Um microscópio eletrônico de varredura (MEV), modelo JEOL JSM 5510, equipado com detectores de energia dispersiva de raios X (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer – EDS) foi utilizado para análise de superfície das amostras globais dos finos. Análises por EDS auxiliaram na identificação de algumas fases.

Para avaliar a possibilidade da utilização de métodos gravimétricos para a concentração desses finos de liga, foram medidas as densidades das ligas FeMnAC e FeSiMn, de suas respectivas escórias e dos finos de britagem.

As densidades das ligas FeMnAC, FeSiMn e da escória de FeMnAC e FeSiMn foram medidas utilizando o Multipicnômetro a hélio da marca Quantachrome.

O material acima de 1,19 mm não foi submetido a ensaios de concentração por já estar dentro das especificações químicas para uma eventual utilização.

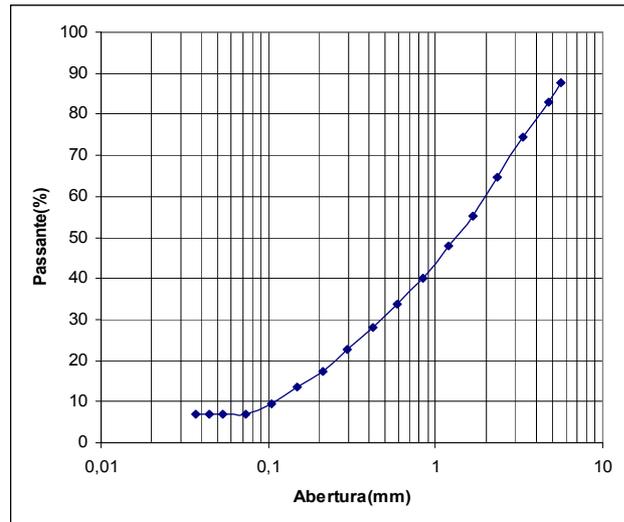
Para o material abaixo de 1,19 mm, foram feitos testes de concentração em espiral, utilizando uma espiral de Humphreys de porte industrial, em uma polpa com 30% em peso de sólidos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

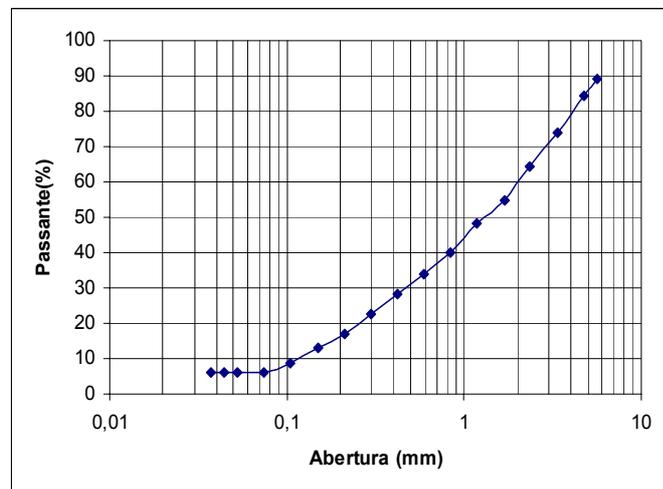
As distribuições granulométricas das amostras estudadas estão apresentadas nas Figuras 1 e 2. Observa-se que 47,8% e 48,0% das partículas que compõem a amostra de finos de FeMnAC e FeSiMn, respectivamente, estavam abaixo de 1,19 mm. A Tabela 2 apresenta a composição química dos finos na faixa granulométrica acima de 1,19 mm.

**Tabela 2** – Análise química da fração de finos acima de 1,19mm.

Amostra	Fe (%)	Mn (%)	Si (%)	P (%)
FeMnAC	16,5	70,4	3,2	0,27
FeSiMn	14,1	63,0	17	0,16



**Figura 1** - Distribuição granulométrica dos finos de FeMnAC.



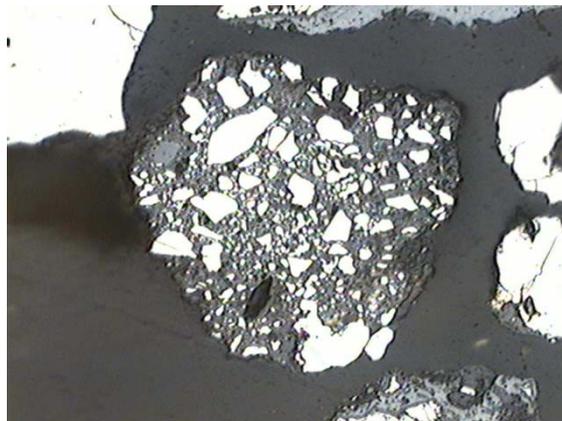
**Figura 2** - Distribuição granulométrica dos finos de FeSiMn

Segundo as análises por microscopia óptica, observa-se que a faixa granulométrica acima de 1,19mm é composta, majoritariamente, por liga, 99,9% e 99,8%, para as amostras de FeMnAC e FeSiMn, respectivamente, tornando dispensáveis os ensaios de concentração nessa classe.

Através da microscopia óptica foram observadas as formas como estão agregadas escória e liga. Apesar da baixa porcentagem em massa de escória presente, a mesma se encontra satisfatoriamente liberada, de forma que quanto mais fino o material (tal qual do processo de produção), mais agregada está a liga à escória. As Figuras 3 e 4 mostram as fases liga/escória agregadas.



**Figura 3** – Fotomicrografia de uma partícula de liga FeMnAC agregada à escória. Aumento: 220x



**Figura 4** – Fotomicrografia de partículas de liga FeSiMn agregada à escória. Aumento: 220 x

A Figura 5 apresenta uma fotomicrografia, em microscópio óptico polarizado, de uma partícula de escória liberada da liga de FeMnAC.



**Figura 5** – Fotomicrografia de uma partícula de escória de FeMnAC liberada. Aumento: 220x.

Análises por meio de microscopia óptica e microsonda revelaram, em alguns pontos, valores relativamente elevados de álcalis e fósforo.

As diferenças de densidades entre as escórias e as ligas FeMnAC e FeSiMn são maiores que 1,5; sendo adequadas para processos de concentração gravimétrica. A Tabela 3 apresenta as densidades das ligas e respectivas escórias. Os valores dos critérios de concentração para as ferro-ligas FeMnAC e FeSiMn são 2,5 e 2,1 respectivamente.

**Tabela 3** – Densidades, medidas por meio da técnica do multiplicômetro a hélio, das ligas FeMnAC, FeSiMn e de suas respectivas escórias.

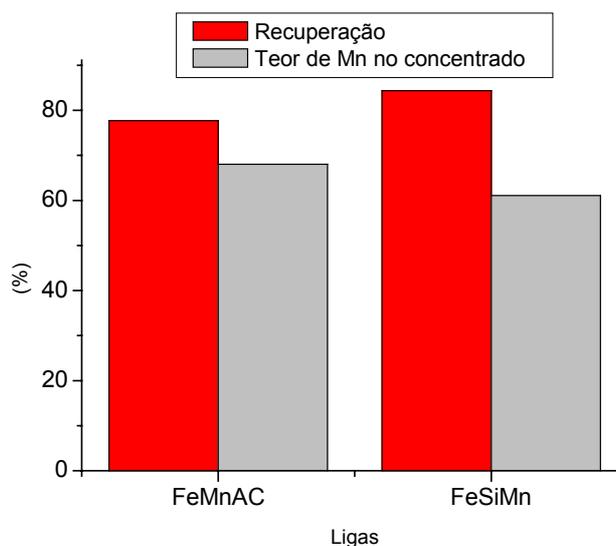
	Liga FeMnAC	Escória FeMnAC	Liga FeSiMn	Escória FeSiMn
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	6,70	3,27	5,98	3,37

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados da análise química da fração abaixo de 1,19mm das amostras de finos de liga antes de passarem pelos processos de concentração na espiral.

**Tabela 4** - Análise química dos elementos majoritários da fração abaixo de 1,19mm dos finos de liga FeMnAC e FeSiMn.

Amostra	Mn(%)	Si(%)	P(%)	Fe(%)
FeMnAC	64,3	19,3	0,3	16,2
FeSiMn	57,6	27,8	0,3	14,3

Os testes de espiral apresentaram elevado nível de seletividade, onde se observou na segunda volta do dispositivo uma boa identificação visual do concentrado. Foi observado um aumento do teor de manganês, em torno de 4%, O que ainda não permite aplicação direta na siderurgia. Para tal, seria necessário um teor de Mn da ordem de 72%. O teor de fósforo no concentrado diminuiu em média 0,1%.



**Figura 6** – Histograma de comparação entre o teor e a recuperação de Mn nos concentrados de finos de liga.

Observa-se, pela Figura 6, os valores de teor e recuperação de manganês para os finos de liga FeMnAC e FeSiMn, obtidos nos ensaios em espiral de Humphreys. Para todos os ensaios em espiral, realizados para os finos de ligas FeMnAC e FeSiMn, observa-se que a relação de enriquecimento foi pequena em termos de manganês.

O comparativo indicou um aumento do teor de manganês para a liga FeMnAC de 3,7% com recuperação de 77,7% do Mn disponível. Já para FeSiMn de 3,6% com recuperação de 84,4%.

Houve diminuição de 0,8%, 14,0% e 0,07% para a liga FeMnAC nos teores de Fe, Si e P, respectivamente, nos concentrados de todos os ensaios realizados na espiral. Para a Liga FeSiMn, verificou-se um aumento no teor de Fe de 1,1%. O teor de P diminuiu de 0,1%, e o de Si de 12,3%.

Observa-se que não seria possível aplicar o concentrado diretamente na indústria siderúrgica, porém este, a princípio, apresenta potencial químico para voltar ao forno e ser utilizado como componente de misturas na produção de novas remessas de ferro-ligas de manganês.

#### 4 CONCLUSÕES

- A quantificação das fases presentes nos finos das ligas, mostrou que, para a fração acima de 1,19mm, as amostras são compostas por 99,9 e 99,8% de FeMnAC e FeSiMn, respectivamente. Um peneiramento em 1,19mm seria o primeiro método de concentração (procedimento já adotado na RDM-Brasil).
- Nos ensaios de concentração em espirais os maiores valores da relação de enriquecimento e recuperação de manganês são obtidos para os finos de FeSiMn (recuperação de Mn de 84,4%) e amostra de FeMnAC (recuperação de Mn 77,7%). Foram obtidos teores de Mn de 61,1% e 68,0% respectivamente, para os finos de FeMnAC e FeSiMn.

#### Agradecimentos

- Fundação Gorceix – NUPEC;
- Programa PIVIC – UFOP;
- REDEMAT.

#### REFERÊNCIAS

- 1 ULLMANN, F. (1985). *Manganese and Manganese Alloys*. In: *Encyclopedia of Industrial Chemistry*. VCH, Weinheim, Germany, 5ª edição, vol. 16 A, p. 77-133.
- 2 RISS, M. & KHODOROVSKY. *Production of Ferroalloys*. Moscow: Mir Publishers, 1967.
- 3 LIU, X. *Dephosphorization of ferro-manganese under oxidizing conditions*. Tese de Ph.D., TRITA-PT-93-01, The Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm (Suécia), 1993.
- 4 [www.DNPM.gov.br](http://www.DNPM.gov.br) – Último acesso: 23/01/2007
- 5 TANGSTAD, M. and OLSEN, Sverre E. *The Ferromanganese Process – Material and Energy Balance*. INFACON7, 621-630, 1995.
- 6 TANGSTAD, M. *Production of Ferromanganese Alloys in the Submerged Arc Furnace*. Trondheim, Norway. Version 1, 2005.
- 7 FARIA, Geraldo L. de; *Monografia: “Caracterização Química e Estrutural de Matérias-Primas e Produtos de Ferro Ligas de Manganês”* – Departamento de Física, UFOP – 2006.
- 8 FARIA, Geraldo L.; REIS, Érica L.; ARAUJO, F. G. da Silva; VIEIRA, Cláudio B.; KRÜGER, Fernando L.; JANNOTTI, Nelson. *Caracterização dos Finos de Ligas de Manganês FeSiMn e FeMnAC*. II Simpósio Mineiro de Ciência dos Materiais – 2007.

- 9 LIU, X.; WIJK, O.; SELIN, R. & EDSTRÖN, J.O. *Phosphorous equilibrium between BaO-BaF<sub>2</sub>-MnO fluxes and ferro-manganese melts*. Steel Research, vol. 66, n° 3, pág 96-102, 1995.
- 10 LAPLANTE, R. A., SPILLER, D. E. *Bench-Scale & Pilot Plant Testwork for Gravity Concentration Circuit Design*.