CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE UMA AMOSTRA DE MINÉRIO DE FERRO

DUARTE, R.S.[1], MILHOMEM, F.O.[2], ANDRADE, L.R.[3], LIMA, R.M.F.[4]
[1]Universidade Federal de Ouro Preto. renaduarte@gmail.com
[2]Universidade Federal de Ouro Preto. felipe.milhomen@hotmail.com
[3]Universidade Federal de Ouro Preto. laisrandrade@gmail.com
[4]Universidade Federal de Ouro Preto. rosa@demin.ufop.br

RESUMO

No presente trabalho são apresentados os resultados de caracterização física, química e mineralógica de um minério de ferro denominado HBA, oriundo do Quadrilátero Ferrífero - MG. As análises granulométricas foram efetuadas por peneiramento a úmido. Para determinação de densidade foi utilizado o picnômetro a hélio ultrapycnoter 1000 e para determinação de área superficial e porosidade foi utilizado o BET Nova 1200e, ambos do Laboratório de Propriedades Interfaciais do Departamento de Engenharia de Minas – DEMIN/UFOP. A densidade do minério, a área superficial e o volume dos poros foram de 4,66 g/cm^3; 45,11 m^2/g e 0,02 cm^3/g, respectivamente. Por meio de difratometria de raios X foram identificados os minerais hematita, goethita, quartzo, magnetita e caulinita. As análises químicas revelaram um alto teor de Fe (63,4%). No entanto, a perda por calcinação - PPC (4,99%) e o teor de P (0,15%) estavam acima dos valores máximos admissíveis nos produtos de minério de ferro. Através de cálculo estequiométrico determinou-se a proporção dos minerais constituintes da amostra: 46,6% de goethita, 45,8% de hematita, 2,5% de magnetita, 1,8% de caolinita e 3,04% de quartzo e outros.

PALAVRAS-CHAVE: minério de ferro; área superficial; hematita; goethita.

ABSTRACT

In this paper are presented the results of physical, chemical and mineralogical characterizations carried out on a Brazilian iron ore denominated HBA from Quadrilátero Ferrífero – MG. The size distributions were carried out by wet sieving. The density was determined by helium pycnometer (Ultrapycnometer 1000) and the surface area by BET Nova 1200e of the Laboratorio de Propriedades Interfaciais of DEMIN/UFOP. The ore density, surface area and porous volume were of 4.66 g/cm^3; 45.11 m^2/g e 0.04 cm^3/g, respectively. The minerals identified by X-ray diffractometry were hematite, goethite, quartz, magnetite and kaolinite. The chemical analysis showed a high Fe content (63.4%) but, the loss on ignition – LI (4.99%) and the P content (0.15%) were above the maximum values accepted in iron ore products. Stoichiometric calculations yielded the following proportions of minerals in the ore: 46.7% of goethite, 45.8% of hematite, 2.5% of magnetite, 1.8% of kaolinite and 3.04 of quartz and others minerals.

KEYWORDS: iron ore; surface area; hematite; gothite.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui a segunda reserva mundial de minério de ferro (17,4%). Em 2011, o país foi responsável por 14,2% da produção mundial de minério de ferro beneficiado. Do período de 2005 a 2011, 16,6% do total das exportações brasileiras foram desta importante matéria prima para a indústria siderúrgica (DNPM, 2011).

Os produtos de minério de ferro são classificados em função da granulometria como granulado (fração granulométrica acima de 6,3mm) e finos (sinter feed – fração granulométrica entre 6,3 e 0,15mm e pellet feed – fração granulométrica abaixo de 0,15mm) (Jesus, 2010). Na Tabela I estão apresentadas as principais especificações granulométricas e químicas dos principais produtos de minérios de ferro.

Tabela I. Principais produtos de minérios de ferro.

Produtos	Tamanho (mm)	% Fe	% P	Umidade (%)
"Lump" Comum	12,5 - 152,4 15% < 12,5	68 - 69	0,045	1
"Lump"	12,5 - 152,4 10% < 12,5	68 - 69	0,045	4 - 7
"Pebble"	10 -75 20% < 10	66 - 68	0,050	2 - 4
"Natural Pellet Ore"	5 - 25 10%< 5	66 - 68	0,060	2 - 4
"Standart Sinter Feed"	< 6,35 máx. 10% > 6,35 máx. 42% < 0,15	64,5	0,070	4 - 6
"Pellet Feed Fines"	< 0,15 min. 80 - 90% < 0,044	67,5	0,018	8

"Standart sinter feed" - SiO_2 - 4,0 a 6,0%
"Pellet feed fines" - SiO_2 < 2,0%
Fonte: Lima, 1997.

Pela Tabela I, observa-se que os teores de Fe dos produtos comercializados são todos acima de 64,5%. Por essa razão, os minérios brasileiros produzidos no estado de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, na maioria das vezes, necessitam ser concentrados para alcançarem os valores das especificações comerciais para a indústria siderúrgica.

Segundo Araújo *et al*. (2003) a escolha da técnica de concentração (concentração gravítica, separação magnética de baixa e alta intensidade, flotação) para as frações granulométricas finas de minérios brasileiros, *sinter feed* e *pellet feed*, é efetuada levando-se em consideração a proporção dos minerais-minérios de ferro e dos minerais de ganga presentes nos mesmos. Para *sinter feed*, empregam-se concentração magnética, concentração gravítica (meio denso, espirais e jigagem). A concentração magnética de alta intensidade não é recomendada para minérios em que a magnetita e o quartzo são os minerais predominantes. A flotação inversa catiônica de *pellet feed* é fortemente recomendada para minérios, cujo mineral-minério predominante é a hematita e cuja ganga é constituída principalmente pelo quartzo com baixa proporção de minerais de alumínio. A mesma é

recomendada também para minérios, cujos minerais portadores de ferro predominantes são a magnetita e goethita associadas ao quartzo com baixas proporções de alumino-silicatos.

Pelo exposto anteriormente, fica evidente a importância da caracterização tecnológica de minérios para a escolha da rota de beneficiamento, visando maximizar a recuperação dos mesmos e a viabilização da utilização de minérios, que no passado eram considerados marginais. Logo, este trabalho teve por objetivo efetuar a caracterização tecnológica preliminar de uma amostra de minério de ferro, denominada de HBA, proveniente do Quadrilátero Ferrífero-MG.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O minério de ferro, utilizado neste trabalho foi coletado na frente de lavra de uma mina de minério de ferro do Quadrilátero Ferrífero-MG. Como pode ser observado pela Figura 1, o mesmo era constituído de fragmentos compactos, recobertos com material ocre.

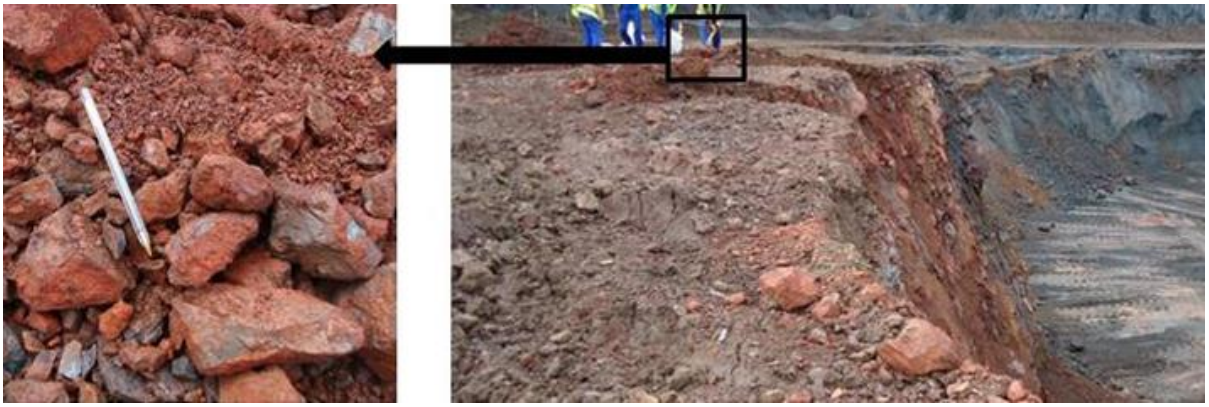

Figura 1. Foto evidenciando a direita o local de retirada da amostra de minério de ferro e a esquerda a fragmentos "compactos" recobertos com um material de cor ocre.

Para os ensaios de caracterização tecnológica preliminares (Figura 2), o minério HBA, coletado na frente de lavra foi previamente fragmentado em granulometria abaixo de 1,27 cm e uma amostra de cerca de 15 kg do mesmo foi enviada para o Laboratório de Tratamento de Minérios do DEMIN/UFOP.

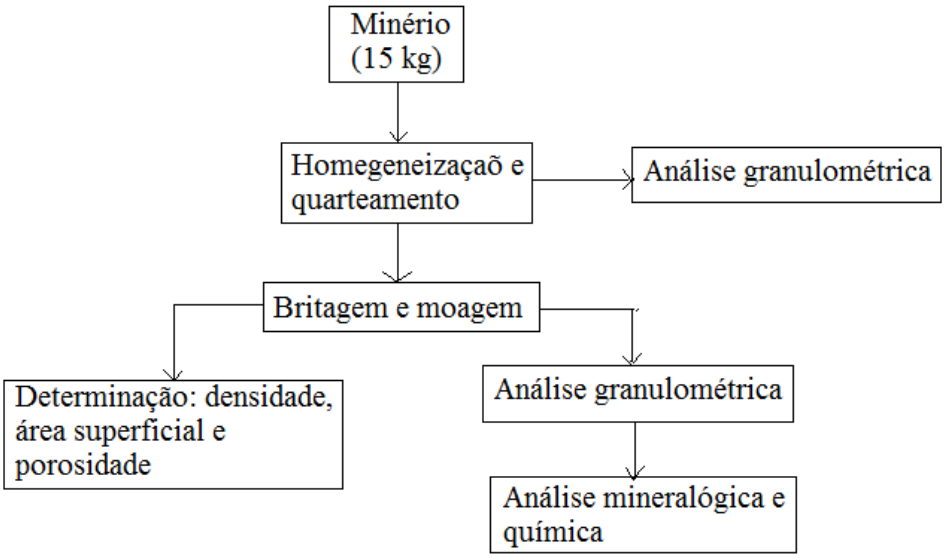

Figura 2. Fluxograma dos ensaios de caracterização tecnológica do minério HBA.

Após a homogeneização e quarteamento da amostra recebida no laboratório, retirou-se uma alíquota de carca de 200 g para análise granulométrica, visando à determinação da proporção do minério que

já se encontrava abaixo de 2,00 mm. Então, após a separação do material acima de 2,00 mm, usando peneira de 50 cm de lado, todo o material retido foi fragmentado, usando britador de rolos, moinho de barras e moinho de disco. Em cada uma das etapas de fragmentação efetuava-se a separação do minério abaixo de 2,00 mm e somente a fração retida era fragmentada novamente. Esse procedimento foi repetido até que toda a amostra foi reduzida para granulometria abaixo de 2,00 mm.

Tanto o peneiramento da amostra recebida no laboratório (peneiramento 1), quanto da amostra após fragmentação (peneiramento 2) foram efetuados a úmido, usando a série Tyler de peneiras de 12,7 a 0,037 mm (peneiramento 1) e de 1,68 a 0,037 mm (peneiramento 2).

Para determinação da densidade da amostra fragmentada abaixo de 2,00 mm, foi utilizado o picnômetro a gás (Ultrapycnometer 1000 da marca Quantachrome Instruments). Para determinação da área superficial e porosidade utilizou-se o BET modelo Nova 1200e (Quantachrome Instruments), ambos do Laboratório de Propriedade Interfacial do DEMIN/UFOP.

A determinação dos constituintes mineralógicos, por faixa granulométrica, foi efetuada por difratometria de raios X (método do pó total). O equipamento utilizado foi difratômetro modelo 11076186 PanAnalytical do Laboratório de Difração de raios X do DEGEO/UFOP. A radiação utilizada foi de 1,54Å ($K\alpha_{Cu}$) e ângulo de medida de 2 a 70°.

As análises químicas por faixa granulométrica foram efetuadas pelo Laboratório de Análises Químicas da CSN. Os elementos químicos e/ou compostos analisados foram: Fe_{total} (espectrometria por fluorescência de raios X), FeO (volumetria), SiO_2, Al_2O_3, P, Mn (espectrometria ótica de emissão- plasma de acoplamento indutivo) e PPC por gravimetria.

A proporção dos minerais identificados por difratometria de raios X foi efetuada por cálculo estequiométrico, utilizando os resultados de análise química.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 estão apresentadas as distribuições granulométricas da amostra fragmentada abaixo de 1,27 cm e após fragmentação abaixo de 2,00 mm. Conforme pode ser observado, houve aumento de aproximadamente 5% de finos (partículas menores do que 0,037 mm) após a preparação da amostra para os ensaios de caracterização.

A área superficial da amostra HBA foi de 45,11 m^2/g (BET-Multipoint). A área superficial dos poros foi de 6,835 m^2/g, volume total de 2,1 x 10^{-2} cm^3/g e raio médio de 17,97 Å (BJH).

Pelos difratogramas de raios X foram identificados em todas as faixas granulométricas picos dos minerais hematita e goethita (maiores proporções) e dos minerais magnetita, quartzo e caolinita, que devido às menores proporções dos mesmos presentes nas amostras analisadas foram identificados somente alguns picos desses minerais, especialmente, em sobreposições com os picos da hematita e goethita. Na Figura 4 está apresentado o difratograma de raios X típico da amostra de minério de ferro HBA.

Na Tabela II está apresentada a os resultados da análise granuloquímica da amostra de minério de Ferro HBA, onde observa-se que a mesma possui alto teor de Fe (63,36%), baixo teor de SiO_2 (2,96%). No entanto, o teor de P (0,15%) é muito alto.

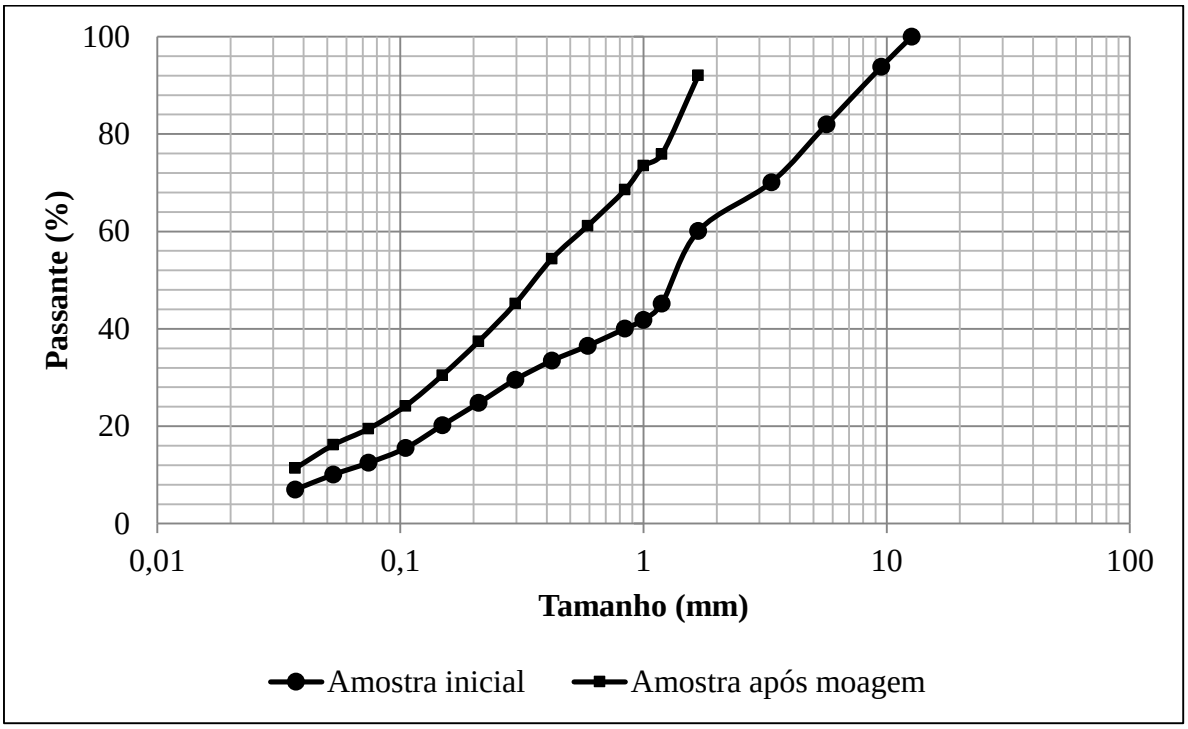

Figura 3. Distribuição granulométrica da amostra antes e após a preparação para os ensaios de caracterização tecnológica.

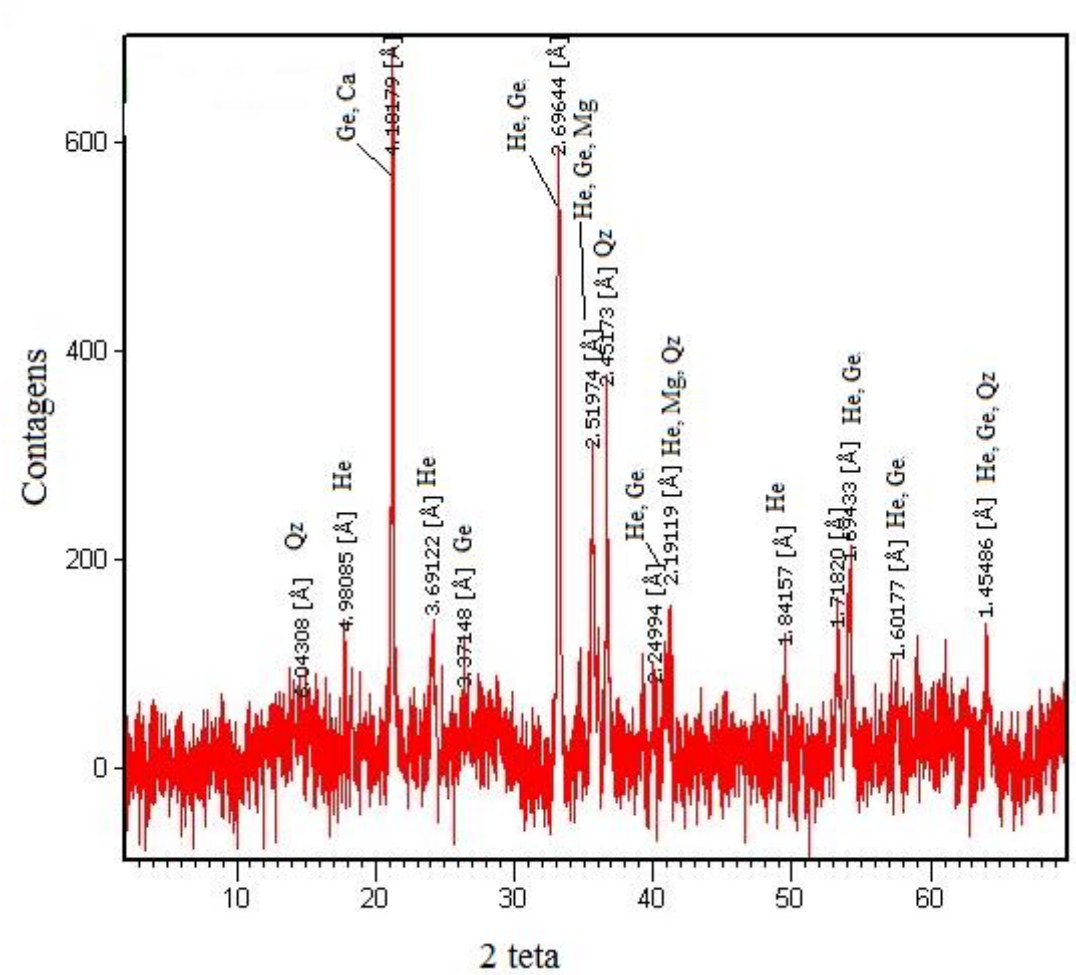

Figure 4. Difratograma de raios X típico da amostra de minério de ferro HBA (Ge – gothita, He – hematita, Mg – magnetita, Ca – caolinita e Qz – quartzo).

A fração granulométrica acima de 0,21 mm representa 65,4% da amostra. Os teores de Fe (64,5%), SiO_2 (<2,3%) e Al_2O_3 (~0,6%), exceto de P desta fração granulométrica estão dentro das especificações do produto "stander sinter feed" (Tabela I). Observam-se também pela Tabela II, que os teores de Al_2O_3 (1,79%) e PPC (7,68%) são maiores na fração granulométrica abaixo de 0,4 mm, que pode estar relacionado com a maior proporção de argila (caolinita) nesta fração granulométrica.

Tabela II. Análise granuloquímica da amostra de minério de ferro HBA.

F.G.	Peso (%)	Teores (%)						Distribuição (%)				
		Fet	FeO	SiO_2	Al_2O_3	P	PPC	Fet	FeO	SiO_2	Al_2O_3	PPC
+1,41	22,4	64,86	1,03	1,14	0,58	0,16	4,84	29,7	8,6	18,3	21,7	29,7
+0,84	8,1	64,46	0,75	1,64	0,64	0,16	4,74	7,8	4,5	7,3	7,7	7,8
+0,50	18,5	64,37	0,69	1,79	0,63	0,16	4,73	16,4	11,2	16,4	17,5	16,4
+0,21	16,4	64,46	0,7	2,3	0,5	0,13	4,27	14,8	12,7	11,6	14,0	14,8
+0,10	10,9	62,3	0,66	5,45	0,52	0,13	4,2	9,2	20,0	8,0	9,1	9,2
+0,40	13,7	60,51	0,68	6,8	0,67	0,16	5,2	12,0	31,4	12,9	14,3	12,0
-0,40	10,1	60,54	0,77	3,39	1,79	0,21	7,68	10,1	11,6	25,6	15,6	10,1
A.R.	100	63,36	0,78	2,96	0,71	0,15	4,99	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

F.G. – faixa granulométrica; A.R. – Alimentação recalculada

Tomando-se como base os teores de Fet, FeO, SiO_2, Al_2O_3 e PPC foram determinadas as proporções dos principais minerais presentes no minério de ferro HBA (Tabela III).

Tabela III. Composição mineralógica da amostra do minério de ferro HBA.

Mineral	% peso
Hematita (Fe_2O_3)	45,77
Goethita ($Fe_2O_3.H_2O$)	46,88
Magnetita (Fe_3O_4)	2,51
Caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)	1,80
Quartzo (SiO_2) e outros	3,04

De uma maneira geral pode-se dizer que pelo fato do minério de ferro HBA analisado possuir alto teor de Fe (63,36%) e teores de SiO_2 (2,96%) e Al_2O_3 (0,71%) dentro das especificações de produtos de minério de ferro, não se justifica nenhum método de concentração para o mesmo. Logo, o aproveitamento deste minério pode ser efetuado pela blendagem do mesmo com concentrados de minérios com menores teores de P, visando à obtenção de um produto com teor de P dentro das especificações.

Estudos do perfil térmico deste minério e de misturas do mesmo com diferentes proporções de outros tipos de minérios para aglomeração por sinterização e pelotização podem viabilizar o aproveitamento do mesmo, dando subsídio para o aproveitamento de minérios goethíticos, considerados até então como minérios marginais, e consequentemente aumento da vida útil das minas do Quadrilátero Ferrífero - MG.

4. CONCLUSÕES

O minério de ferro HBA embora possua alto teor de Fe e baixo teor de SiO_2 é considerado um minério marginal devido ao seu alto teor de goethita e P. Para o seu aproveitamento, necessita de estudos mais detalhados sobre o comportamento do mesmo e misturas deste minério com outros minérios de ferro, visando a adequação da mistura para os processos de sinterização e pelotização.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapemig pelo apoio financeiro, à CAPES pelas bolsas de mestrado para dois dos autores, ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa para um dos autores.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. C. *et al*. Ore mineralogy and its relevance for selection of concentration methods in processing of Brazilian iron ores. Mineral Processing and Extractive Metallurgy. April 2003. v.112,. n.1. p. C54-C64.

LIMA, R. M. F. Adsorção de amido e amina na superfície de hematita e do quartzo e sua influência na flotação. Belo Horizonte, 1997. Vol.1. 238p.Tese. (Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Área de Concentração: Tecnologia Mineral).

http://www.dnpm.gov.br. Sumário Mineral 2012. V.32 (acessado em 01/03/2013 às 10:30h).

http://www.dnpm.org.br. JESUS, C. A. G. Economia Mineral do Brasil em 2009. Capítulo 3: Mineração de Metais Ferrosos: Ferro/Aço. p.99-116 (acessado em 14/11/2011 às 15:34h).