

CARACTERIZAÇÃO METALÚRGICA ASSOCIADA ÀS TIPOLOGIAS DE PRODUTOS GRANULADOS DE MINÉRIO DE FERRO¹

Eunírio Zanetti Fernandes²

Resumo

Os produtos granulados derivados de minérios de ferro, produzidos apenas por sistemas de britagem e peneiramento, são muito importantes nos empreendimentos de mineração. São produzidos a baixo custo com altos preços de venda, comparados aos produtos mais finos, especialmente sinter feed e pellet feed fine. Os estudos de caracterização metalúrgica associados às tipologias dos produtos granulados, facilitam a compreensão dos resultados das variáveis e permite simular misturas mais adequada a cada necessidade. As principais tipologias descritas nas 11 amostras estudadas são os fragmentos compactos, compactos porosos, porosos, canga e itabiritos. Altos valores do grau de metalização, crepitação, tamboramento e baixos valores de finos gerados, redutibilidade, RDI e abrasão, são correlacionados ao predomínio de tipologias compactas e compactas porosas. Médios a baixos valores do grau de metalização, crepitação, tamboramento e índices mais elevados de finos gerados, redutibilidade, RDI e abrasão, são resultantes de percentuais significativos de fragmentos porosos, associados à canga e minérios itabiríticos. A liberação de enxofre é mais alta nos minérios associados à canga. Aqueles minérios onde predominam fragmentos compactos e compactos porosos, a liberação de enxofre é mais baixa.

Palavras-chave: Granulado; Tipologia; Metalurgia.

METALLURGIC CHARACTERIZATION ASSOCIATED TO TYPOLOGIES OF IRON'S ORES GRANULATED PRODUCTS

Abstract

Granulated products derived from iron ores, produced through only by crushing and screening's system, are very important in the mining undertaking. They are produced with lower cost and higher sale's prices, beyond comparison with finer products, as sinter feed and pellet feed fine. The metallurgic's characterization studies associated to granulated's products typologies, make easy the comprehension of variables' results and allow to simulate more suitable mixtures, according each necessity. The main typologies described of eleven samples studied, are compact fragments, porous compact, porous, canga and itabirites. Higher values of metallization grade, decrepitation, tumbler and lower values of finer generated material, reducibility, RDI and abrasion, are correlated to predominancy of compact typologies and porous compact. Medium to lower values of metallization grade, decrepitation, tumbler and higher indexes of finer material generated, reducibility, RDI and abrasion, are resulted of meaningful of porous fragmentos, associated to canga and itabiritic's ores. The sulphur's liberation is higher in the types of ore associated to canga. Those ores where predominate compact fragmentos and porous compact, the sulphur's liberation is higher.

Key words: Granulated; Typology; Metallurgy.

¹ *Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.*

² *Geólogo, Planejamento de Mineração de Curto Prazo, Diretoria de Ferrosos Sul – DIFL - CVRD. Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela Escola de Engenharia da UFMG; Doutorando pela Escola de Engenharia da UFMG.*

1 INTRODUÇÃO

A comercialização de produtos granulados, produzidos apenas por britagem e peneiramento, contribui significativamente para os resultados financeiros da indústria do minério de ferro. A Companhia Vale do Rio Doce, através da Diretoria de Ferrosos Sul, produz granulados destinados a altos-fornos (LOBF) e redução direta (LORD). As características metalúrgicas dos diversos produtos, associadas às tipologias, se constituem em importantes ferramentas de controle dos produtos, principalmente na produção e indústria metalúrgica (Figura 1). O principal objetivo do trabalho é estabelecer critérios de associações tipológicas na avaliação dos resultados de caracterização metalúrgica dos produtos granulados e viabilizar misturas de minérios para atender às especificações metalúrgicas requeridas na indústria do minério de ferro. O segundo objetivo de caráter mais prático visa criar uma sistemática de avaliação visual do comportamento dos produtos granulados nas unidades de produção, ou seja, estabelecer controles de avaliação nas minas e no recebimento do produto nas siderúrgicas.

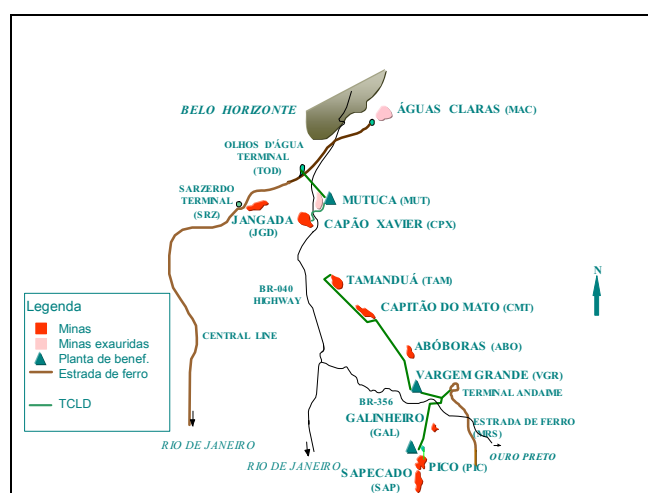


Figura 1 Mapa esquemático de localização das minas com amostras estudadas.

Os ensaios metalúrgicos foram efetuados com base nas normas ISO (International Organization for Standardization). A massa utilizada de cada amostra nos ensaios foi de 150 kg.

A norma ISO 11257⁽¹⁾ avalia a desintegração (FG: finos gerados) e a metalização (GM: grau de metalização) do produto sob condições de redução direta com gás reformado. É a facilidade com que o produto perde oxigênio para o gás redutor, sendo que quanto maior o índice, melhor para o processo, aumentando a produtividade, reduzindo o consumo de coque (*coque rate*) no alto-forno e economizando energia na aciaria.

A norma ISO N170 E,⁽²⁾ avalia a quantidade de enxofre liberado pelo produto no gás redutor, durante o processo de redução direta. A liberação de enxofre, específica para reatores de redução direta com reforma de gás, provoca contaminação (envenenamento) do catalisador do reformador, prejudicando indiretamente a produtividade.

A desintegração à baixa temperatura, denominada por RDI, consta na norma ISO 4696-2.⁽³⁾ Os testes avaliam a resistência à desintegração do produto à baixa temperatura, em condições fracamente redutoras. A degradação do produto, quando o mesmo é submetido à redução, acontece principalmente quando a

hematita (forma hexagonal) é reduzida à magnetita (forma cúbica) a uma temperatura entre 375 a 425⁰C. Esta mudança provoca uma expansão de volume da ordem de 20%, acarretando a fragilização e a geração de finos. A geração de finos influencia na permeabilidade do leito dentro do reator, provocando alteração na marcha operacional do mesmo, ocasionando, eventualmente, arriamento e engaiolamento da carga. Além disso, os finos descarregados no forno têm maior tendência à oxidação e devem ser briquetados, aumentando o custo de produção. Os testes de redutibilidade relativa, que tem como base a norma ISO 7215,⁽⁴⁾ avaliam o grau de facilidade com que o produto enforado perde oxigênio para o gás redutor.

A determinação dos índices de crepitações fazem parte da norma ISO 8371⁽⁵⁾ e objetiva medir a resistência à desintegração do produto granulado, quando submetido a um rápido aquecimento.

Os testes metalúrgicos da norma ISO 3271,⁽⁶⁾ avaliam a resistência à degradação dos produtos granulados de minério de ferro, durante o transporte e manuseio. A quebra das partículas durante o manuseio e transporte, promove uma geração de finos inadequada ao uso na siderurgia que, geralmente, são retirados através de peneiramento no porto das grandes mineradoras ou antes do enforamento dos produtos pelo cliente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

São descritos a seguir a sistemática de amostragem e estudo de avaliação das tipologias.

2.1 Sistemática de Amostragem

As amostras utilizadas no trabalho foram coletadas em um intervalo de 6 meses, com incrementos coletados com base na massa produzida e seguindo a norma NBR ISO 3082.⁽⁷⁾ A massa inicial para os ensaios padronizados foi de 600 kg, convenientemente quarteadas, buscando preservar a representatividade das amostras coletadas no período de 6 meses de produção.

2.2 Estudo de Avaliação das Tipologias

Os estudos tipológicos foram feitos separando os tipos de fragmentos compactos, compacto-porosos, porosos, itabiríticos e cangas, com auxílio de lupa binocular e de bolso. O percentual em peso foi definido em cada faixa granulométrica e uma média ponderada pelos percentuais em cada faixa.

3 DISCUSSÃO

Nas Tabela 1 e 2 estão representadas as amostras utilizadas no trabalho, com os resultados metalúrgicos e avaliações dos percentuais de cada tipologia descrita.

Tabela 1 Resultados dos ensaios metalúrgicos das amostras.

Amostra	Midrex Linder Test		LS ppm	Redutibilidade (% de Redução)	RDI % - 2,80 mm	Índice de Crepitação		Índice de Tamboramento	
	GM (%)	FG (- 3,35 mm)				(- 4,75 mm)	(- 6,30 mm)	TI (+ 6,30 mm)	AI (- 0,50 mm)
1	93,10	4,10	16,60	53,50	12,40	3,0 ± 1,3	4,0 ± 2,0	88,70	8,10
2	93,00	5,60	6,90	52,40	20,30	5,1 ± 2,6	6,6 ± 3,1	77,80	15,10
3	95,70	5,50	7,70	47,30	14,70	3,4 ± 2,1	4,5 ± 2,9	78,50	12,10
4	94,10	9,70	36,60	51,30	20,10	2,2 ± 1,5	3,0 ± 2,1	79,40	12,30
5	93,30	11,20	43,50	57,60	25,10	4,4 ± 1,7	5,1 ± 1,9	65,20	20,20
6	87,70	7,80	29,20	48,50	14,10	0,6 ± 0,5	0,8 ± 0,7	78,70	11,50
7	95,60	6,80	29,30	49,80	9,40	3,6 ± 2,8	4,4 ± 3,4	81,90	11,50
8	92,00	12,90	75,40	59,00	20,30	2,8 ± 1,6	3,8 ± 2,0	76,00	14,90
9	92,00	10,70	44,70	63,50	29,30	3,1 ± 2,5	3,9 ± 3,2	72,90	17,10
10	91,40	9,70	61,70	58,10	37,30	0,5 ± 0,2	0,6 ± 0,2	63,80	26,50
11	92,20	13,50	28,60	55,10	20,10	3,7 ± 2,2	4,8 ± 2,8	75,70	15,30

Tabela 2 Percentuais das tipologias descritas nas amostras.

Amostras/Tipologia	% CO	% CP	% PO	% CG	% IB
1	68,60	16,60	9,60	5,30	0,00
2	57,90	14,20	15,10	6,70	6,10
3	43,17	31,06	10,77	15,00	0,00
4	24,30	52,50	11,20	12,00	0,00
5	39,40	32,00	7,30	21,30	0,00
6	15,90	47,10	34,40	2,70	0,00
7	75,40	13,00	5,00	6,50	0,00
8	32,20	25,00	16,70	12,50	13,60
9	23,00	48,70	8,60	19,70	0,00
10	7,40	0,00	4,50	16,60	71,50
11	38,70	38,50	5,40	17,00	0,10

CO – Minério compacto; CP – Minério compacto poroso; PO – Minério poroso; CG – Minério associado à Canga; IB – Minério itabirítico.

Para facilitar as correlações, os resultados metalúrgicos foram colocados em ordem crescente e com as tipologias correspondentes ordenadas.

Na parte superior da Figura 1 constam os graus de metalizações (GM) em ordem crescente e na parte inferior, as tipologias correspondentes. Em termos gerais o grau de metalização é mais elevado com o aumento dos percentuais das tipologias compactas e compactas porosas. Os teores de ferro são mais elevados nestas tipologias, derivadas de minérios hematíticos compactos e compactos médios, com baixos percentuais de contaminantes, principalmente alumina e sílica.

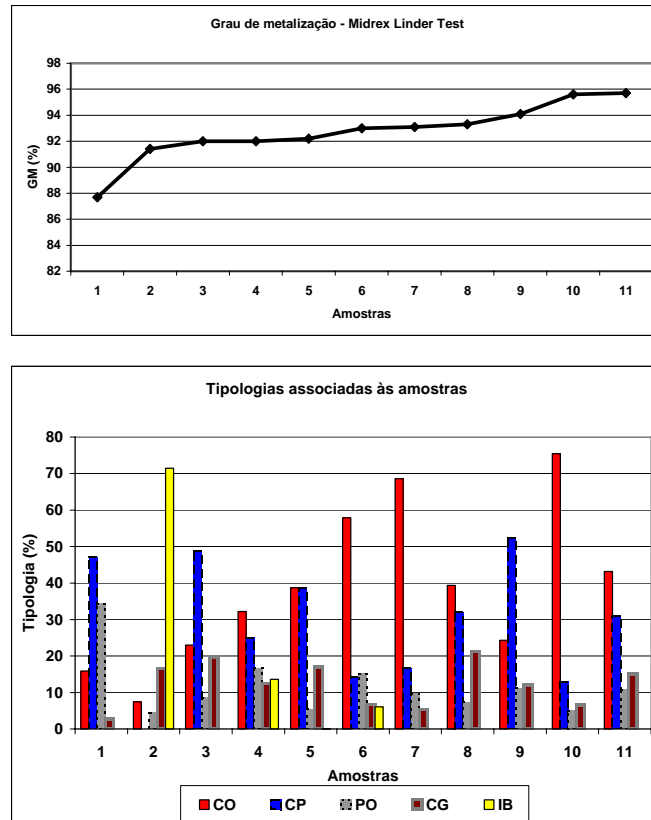


Figura 1 Na parte superior estão os graus de metalização (**GM**) em ordem crescente e os percentuais das tipologias correspondentes na parte inferior.

Na Figura 2 estão representados, em ordem crescente, os percentuais de finos gerados. Na parte inferior, estão os quantitativos tipológicos correspondentes. Os finos gerados aumentam com a redução dos percentuais das tipologias compactas e compactas porosas. É inversamente proporcional ao grau de metalização. As amostras 8, 9, 10 e 11, tem percentuais consideráveis de canga, embora os quantitativos de tipologias compactas e compactas porosas sejam medianas. A presença de minério associado à canga, reduz a resistência mecânica, gerando finos no processo.

A liberação de enxofre é maior nas amostras com percentuais maiores de canga. As tipologias compactas e compactas porosas estão associadas a baixos e médios teores de liberação de enxofre. A amostra 2, embora tenha alto percentual relativo de canga, apresenta baixa liberação de enxofre, provavelmente pela presença de altos percentuais de minérios compactos e compactos porosos (Figura 3).

A redutibilidade relativa aumenta com a redução dos percentuais de fragmentos compactos nas amostras. O aumento dos percentuais de minérios itabiríticos, canga e minérios hematíticos porosos, elevam a redutibilidade dos produtos granulados (Figura 4). Nas amostras 10 e 11, embora a quantidade de fragmentos compactos e compactos porosos sejam elevados, os percentuais de canga e itabiritos também estão altos, bem como os fragmentos porosos na amostra 10.

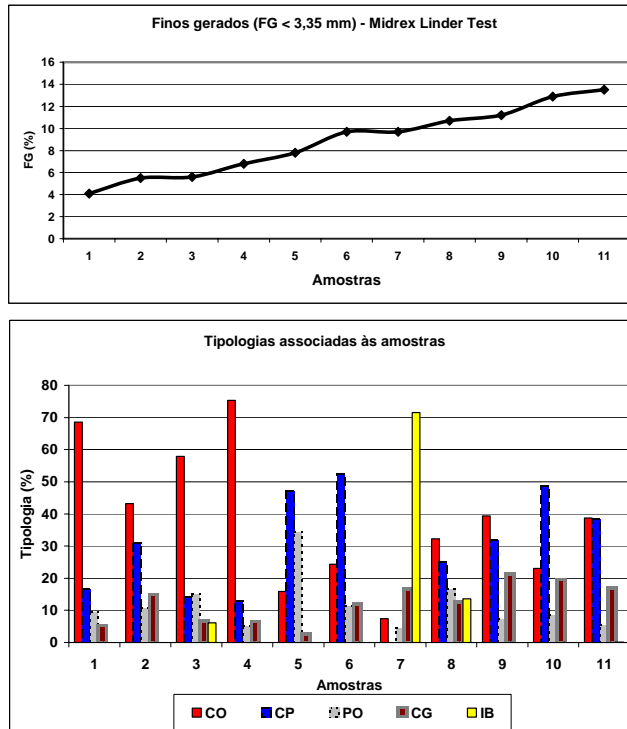


Figura 2 Na parte superior estão os finos gerados (FG) em ordem crescente e os percentuais das tipologias correspondentes na parte inferior.

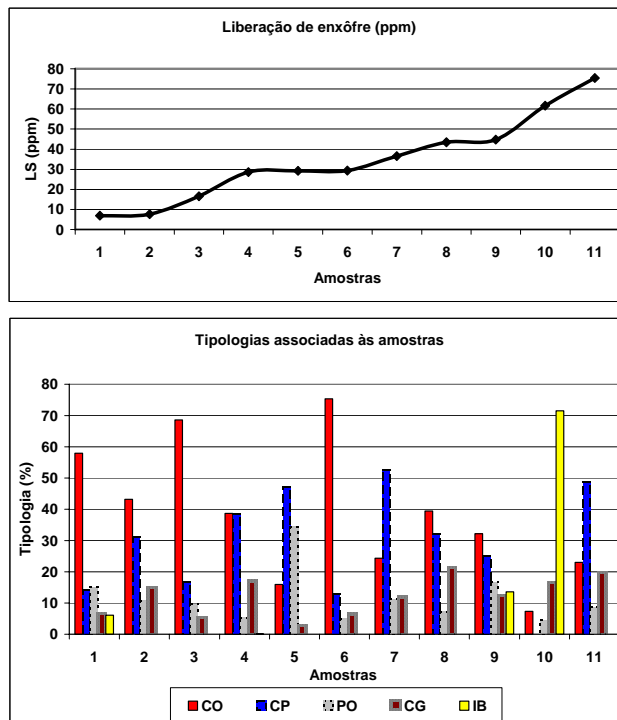


Figura 3. Na parte superior estão, em ordem crescente, os teores de liberação de enxofre (ppm) e os percentuais das tipologias correspondentes na parte inferior.

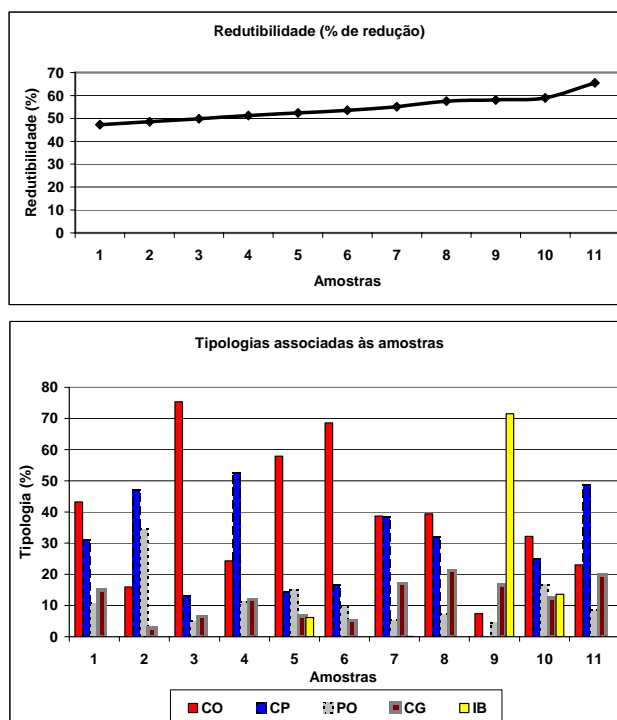


Figura 4 Na parte superior estão os índices de redutibilidade relativa em ordem crescente e os percentuais das tipologias correspondentes na parte inferior.

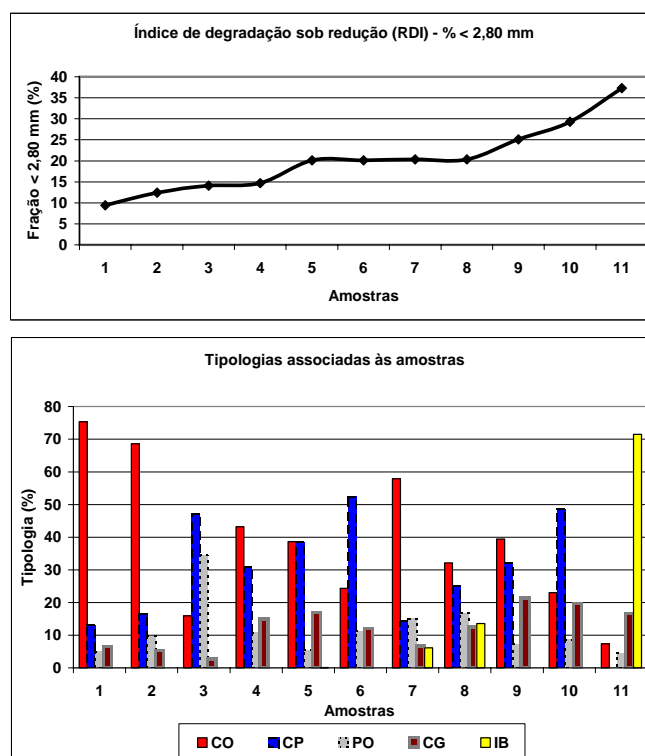


Figura 5 Na parte superior estão os índices de RDI (desintegração à baixa temperatura) em ordem crescente e os percentuais das tipologias correspondentes na parte inferior.

Os valores mais elevados de RDI estão associados diretamente à redução dos fragmentos compactos e compactos porosos e elevação das tipologias associadas à canga, minérios itabiríticos e fragmentos porosos. Nas amostras 8, 9 e 10, os

fragmentos das tipologias compactas e compactas porosas são significativos, mas os percentuais de canga e itabiritos também são relativamente elevados (Figura 5).

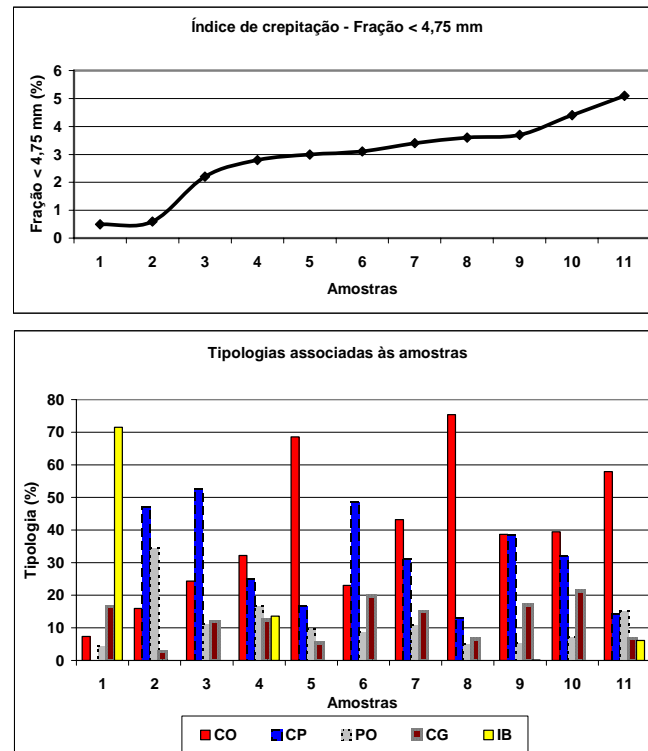


Figura 6 Na parte superior constam os índices de crepitação na fração < 4,75 mm e na parte inferior estão representadas as tipologias correspondentes.

Os índices de crepitação na fração < 4,75 mm são mais elevados nas amostras com percentuais mais altos de minérios compactos e compactos porosos. Os minérios itabiríticos, associados à canga e porosos, reduzem os índices de crepitação (Figura 6). O comportamento dos índices de crepitação na fração < 6,30 mm é similar aos índices na fração < 4,75 mm, sendo as amostras com percentuais mais elevados de fragmentos compactos e compactos porosos, apresentando índices mais altos (Figura 7).

Quanto maior o percentual de tipologias compactas e compactas porosas, os índices de tamboramento são mais elevados. Nas amostras 2, 3 e 4, os percentuais de canga são relativamente elevados. Os itabiritos reduzem os índices de tamboramento (Figura 8).

Em termos de distribuição tipológica, a curva dos índices de abrasão é praticamente oposta aos índices de tamboramento, pois os índices são menores com o aumento dos fragmentos compactos e compactos porosos (Figura 9). Os minérios com percentuais mais elevados de canga e itabiritos, elevam os índices de abrasão, pela baixa resistência mecânica.

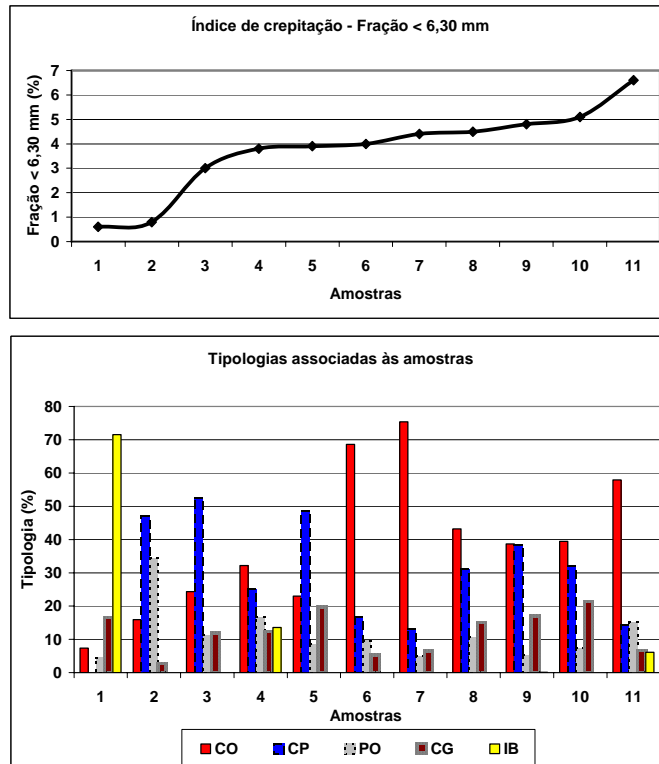


Figura 7 Na parte superior da figura constam os índices de crepitação na fração < 6,30 mm e na parte inferior estão representadas as tipologias correspondentes.

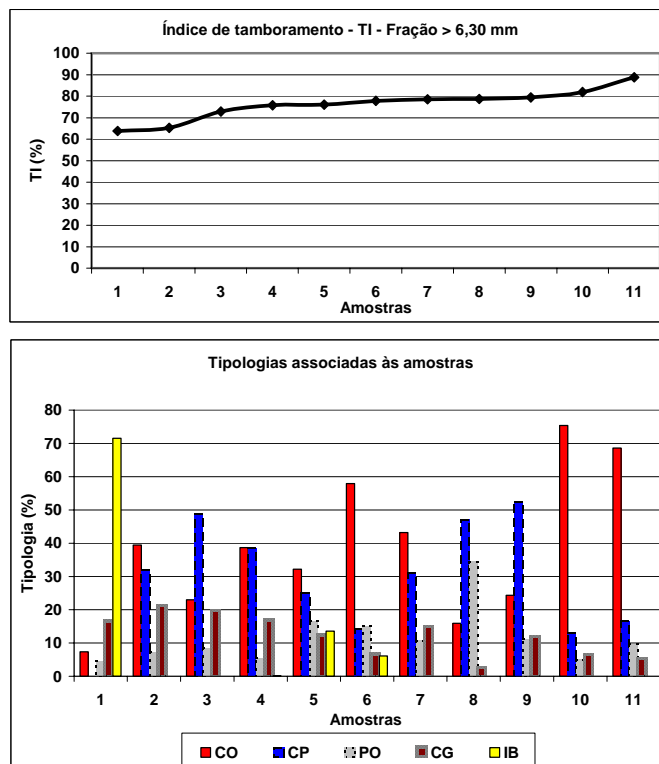


Figura 8 Na parte superior da figura estão os índices de tamboramento (TI) e na parte inferior, as tipologias correspondentes nas amostras.

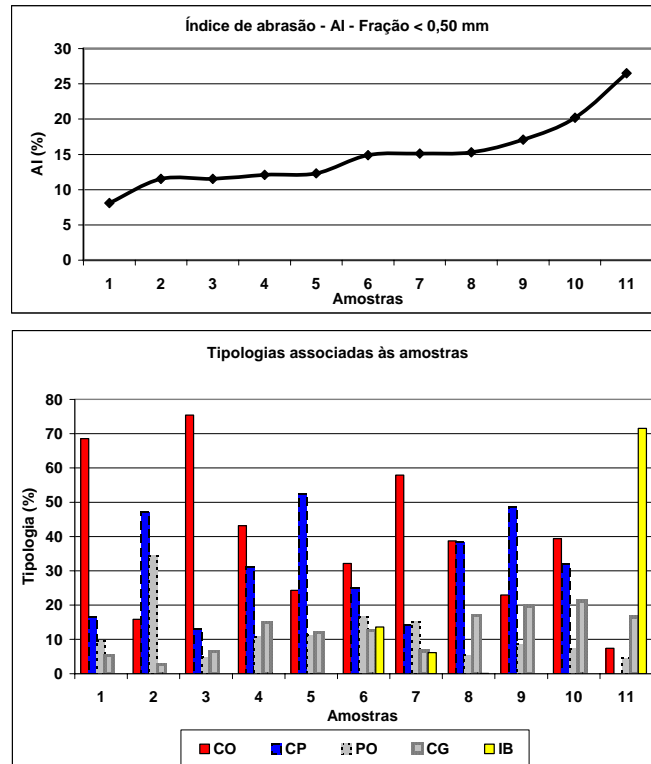


Figura 9 Na parte superior da figura estão os índices de abrasão (AI) e na parte inferior, as tipologias correspondentes nas amostras.

4 CONCLUSÕES

- O grau de metalização aumenta com o acréscimo de fragmentos compactos e compactos porosos. Os finos gerados aumentam com a redução de fragmentos compactos e compactos porosos.
- A liberação de enxofre é maior nos minérios associados à canga; nas amostras com predomínio de fragmentos compactos e compactos porosos, a liberação de enxofre foi menor.
- As variáveis redutibilidade e RDI são maiores nas amostras com percentuais menores de fragmentos compactos e compactos porosos. Os itabiritos e canga contribuem para os valores mais altos.
- Os índices de crepitação são diretamente proporcionais ao aumento dos fragmentos compactos e compactos porosos. Os minérios itabiríticos, canga e fragmentos porosos, reduzem os índices.
- Os índices de tamboramento são mais elevados nos minérios onde predominam os fragmentos compactos e compactos porosos e os índices de abrasão são mais elevados nos minérios onde predominam os fragmentos itabiríticos, associados à canga e porosos.
- A indústria metalúrgica que utiliza produtos granulados na redução direta e nos altos-fornos pode obter uma previsibilidade maior do comportamento metalúrgico do produto, associando ao conhecimento tipológico prévio.

Exemplos: 1) predomínio de minérios compactos e compactos porosos: valor elevado do grau de metalização, baixo percentual de finos gerados, redutibilidade e RDI médios a baixos, crepitações médias a altas, altos índices de tamboramento e baixos índices de abrasão; **2) produtos com percentuais médios de canga,**

itabiritos e fragmentos porosos: grau de metalização mais baixos, médio a alto percentual de finos gerados, redutibilidade e RDI mais elevados, crepitações mais baixas, baixos índices de tamboramento e índices de abrasão mais elevados.

Agradecimentos

Agradeço à **Companhia Vale do Rio Doce (CVRD)**, **Sistema Sul (DIFL)**, o apoio fornecido na execução do trabalho e à **ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais**, pela oportunidade de apresentação e divulgação.

REFERÊNCIAS

- 1 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 11257:1998 (E). Iron Ores – Determination of disintegration and metallization of feedstock for direct reduction by gas reforming processes. Genève, Switzerland. 1998 – 07 – 01. 12 p.
- 2 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO N 170 E:1996. Iron Ores – Determination of sulphur released under reduction by hydrogen. Genève, Switzerland. 1996 – 05 – 23. 06 p.
- 3 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 7215:1995 (E). Iron Ores – Determination of relative reducibility. Genève, Switzerland. 1995 – 11 – 15. 11 p.
- 4 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 4696-2:1998 (E). Iron Ores – Static test for low-temperature reduction-disintegration. Genève, Switzerland. 1998 – 08 – 01. 13 p.
- 5 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 8371:1994 (E). Iron Ores – Determination of decrepitation index. Genève, Switzerland. 1994 – 11 – 15. 05 p.
- 6 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO, Genève, Switzerland. ISO 3271:1995 (E). Iron Ores – Determination of tumble strength. Genève, Switzerland. 1995 – 11 – 01. 08 p.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. NBR ISO 3082; Minérios de ferro – Procedimentos de amostragem e preparação de amostras. Rio de Janeiro. 29-09-2003. 56 p.