

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO PRODUTO GRANULADO DE MORRO DA MINA¹

Geraldo Lúcio de Faria²

Nelson Jannotti Júnior³

Fernando Gabriel da Silva Araújo⁴

Resumo

O Produto Granulado de Morro da Mina é um minério de manganês tipicamente silicatado carbonatado que apresenta grande potencial econômico para as empresas de ferro ligas instaladas em Minas Gerais. Entretanto o baixo teor de manganês, associado ao pouco conhecimento a respeito de suas propriedades metalúrgicas dificultam a sua aplicação em larga escala. Este trabalho, pioneiramente, propôs um estudo a respeito de um importante parâmetro metalúrgico deste minério, que é a degradação granulométrica das partículas a frio e a quente. Uma tonelada do material foi recebida, homogeneizada e quarteada. Amostras representativas foram caracterizadas com auxílio de técnicas como ICP-AES, DRX, MEV-EDS, BET e MO. Foram propostos três parâmetros para a caracterização da degradação: índice de desintegração granulométrica a frio (DGF), o índice de crepitação (IC) e o índice de desintegração granulométrica a quente (DGQ). Por meio deles foi possível observar que o Produto Granulado de Morro da Mina não apresenta significativa degradação granulométrica por crepitação, entretanto apresenta uma intensa degradação após ser submetido a ciclos térmicos de calcinação e de pré-redução, não existindo significativas diferenças entre os dois. Pôde-se observar que existe acentuada geração de ultrafinos (<100#), sendo a decomposição térmica dos carbonatos de manganês, e o conseqüente aumento da porosidade os principais fatores responsáveis pela desintegração do minério.

Palavras-chave: Minério de manganês; Caracterização tecnológica; Decomposição térmica; Crepitação; Degradação granulométrica; Finos.

STUDY OF PARTICLE DISINTEGRATION OF MORRO DA MINA LUMP ORE

Abstract

Morro da Mina lump ore is a manganese ore typically silicated carbonated wich presents a great economical potential for its applying into the ferroalloys factories placed at Minas Gerais. However, its low manganese content associated to the lack of knowledge about its metallurgical properties complicates its employment in large scale. This pioneer work proposed a study about an important metallurgical parameter, wich is the ore particle size disintegration, at room temperature and under heating cycles. One ton of ore was received, homogenized and quartered. Representative samples were characterized by ICP-AES, XRD, SEM-EDS, BET and OM. Aiming to characterize the ore particle disintegration, three indexes were proposed: Cold Disintegration Index (CDI), Decrepiation Index (IC) and Heating Disintegration Index (HDI). Using these indexes it was possible to observe that the Morro da Mina lump ore do not presents significant particle disintegration by decrepitation phenomena, however it presents intense particle disintegration after its submission to the tested heating cycles. Morro da Mina ore had a high ultrafine (<100#) generation under calcination and pre-reduction in temperatures above 700°C. The manganese carbonates heat decomposition and the porosity increasing were the main factors responsible by the ore disintegration.

Keywords: Manganese ore; Technologic characterization; Heat decomposition; Decrepiation; Particle disintegration; Fines.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² M., Sc., Dr., Depto. de Engenharia Metalúrgica (DEMET), UFOP, MG; geraldofaria@yahoo.com.br.

³ Engenheiro, Vale Manganês; nelson.jannotti@vale.com.

⁴ M.Sc., Dr., Rede Temática em Engenharia de Materiais (Redemat), UFOP; fgabrielaraujo@uol.com.br.

1 INTRODUÇÃO

Os minérios granulados de manganês, provenientes de diferentes minas ao redor do mundo, são amplamente aplicados como matéria para a fabricação de ferro-ligas de manganês. Nas plantas de redução, as misturas confeccionadas são atualmente definidas somente por meio do restrito conhecimento das características químicas e granulométricas dos minérios. A falta de conhecimento a respeito da mineralogia e das propriedades metalúrgicas deles tem se tornado um problema comum na operação dos fornos metalúrgicos de redução.⁽¹⁻³⁾

O forno elétrico de redução é o reator metalúrgico mais empregado na produção das ferro-ligas de manganês no mundo, e a zona de pré-redução, onde as matérias-primas sólidas são aquecidas pelas trocas de calor com os gases quentes em fluxo ascendente, é uma das áreas mais importantes dele. No topo do forno, a umidade e a água estrutural são evaporadas e parte dos óxidos de manganês é pré-reduzida pelos gases ascendentes das zonas de alta temperatura. Para que a água seja adequadamente evaporada e os óxidos pré-reduzidos, a permeabilidade da carga de minérios precisa ser elevada.^(3,4)

Neste contexto, a degradação ou desintegração granulométrica dos minérios é um importante parâmetro metalúrgico que ainda não foi adequadamente estudado para minérios granulados de manganês. A fragmentação das partículas de minério durante o aquecimento pode produzir acentuada quantidade de finos e diminuir a permeabilidade da carga. O fluxo dos gases quentes pode ser prejudicado e se tornar heterogêneo. Em um dos piores casos pode haver formação de canais localizados e preferenciais através dos quais os gases irão fluir pela zona de pré-redução. Neste caso o fluxo gasoso não irá aquecer a carga eficientemente e os óxidos de manganês de maior valência não irão ser adequadamente pré-reduzidos. Esta configuração será responsável por um gás de topo com elevada temperatura e elevado teor de CO. Portanto, o uso de misturas de minérios com elevada susceptibilidade a geração de finos pode causar menor eficiência nas trocas térmicas e na resistividade elétrica da carga, levando a prejuízos à operação dos reatores.⁽¹⁻⁶⁾

Na literatura técnico-científica, apenas três trabalhos sobre a desintegração granulométrica de minérios de manganês foram encontrados. Yoshikoshi et al.⁽⁷⁾ e Tangstad et al.⁽⁴⁾ estudaram a geração de finos por tamboramento para diferentes minérios australianos e africanos pré-reduzidos. Os autores concluíram que os minérios mais porosos foram os que apresentaram menor resistência mecânica, porém eles não correlacionaram as suas observações com as mineralogias dos minérios. Faria et al.⁽⁶⁾ estudaram o comportamento de crepitação de três minérios brasileiros e de um sul-africano. O autor mostrou que o minério silico-carbonatado não apresentou intensidade significativa do fenômeno, entretanto os minérios oxidados se apresentaram com elevada susceptibilidade à crepitação. Ainda segundo Faria et al.,⁽⁶⁾ a eliminação de água (estrutural ou de umidade) e a decomposição térmica de alguns óxidos de manganês parecem ser os fatores que mais contribuem para a causa do fenômeno.^(1,2,4,5,7,8)

Uma mina de grande importância econômica para o estado de Minas Gerais é a de Morro da Mina, que fica localizada na cidade de Conselheiro Lafaiete. As rochas desta mina pertencem ao grupo do Rio das Velhas, identificado como vulcano-sedimentar.^(9,10) Os principais produtos de Morro da Mina são os silicatos e os carbonatos que têm como principais constituintes os minerais rhodochrosita ($MnCO_3$), e espessartite ($Mn_3Al_2(SiO_4)_3$).⁽⁸⁻¹⁰⁾

Visando a importância estratégica e logística da localização de Morro da Mina, associada à falta de conhecimento a respeito das características de desintegração granulométrica do produto granulado desta mina, este trabalho pioneiro propôs uma metodologia experimental que permitiu caracterizar este parâmetro metalúrgico a frio e a quente, em atmosfera oxidante e redutora. Estas informações combinadas a um bom planejamento industrial podem ser de grande importância para a definição de critérios técnicos que possam guiar a seleção de misturas de minérios, buscando melhorar o controle e a funcionalidade do processo.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização Química e Mineralógica

Uma tonelada do Produto Granulado de Morro da Mina (GMM) foi homogeneizada e quarteada até a obtenção de 500 kg. Para cada um dos minérios, esta massa foi homogeneizada, quarteada e peneirada até obtenção de duas amostras nas faixas granulométricas compreendidas entre 15,9 mm e 9,5 mm; e 19 mm e 6,3 mm. Estas faixas selecionadas foram representativamente preparadas e enviadas para os procedimentos de caracterização.

Foram determinados os teores de Mn, Fe, CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ e P. Os teores de Mn e SiO₂ foram determinados por via úmida (titulometria) e os demais por ICP – OES (Espectrômetro de emissão por Plasma Indutivamente Acoplado).

Para identificação das principais fases minerais, foi utilizado um difratômetro de raios-X com varredura de 1,2°/min. Os difratogramas foram obtidos em um equipamento da marca Rigaku, modelo Geigerflex com tubo de raios-X de cobre. Por meio do emprego das técnicas de microscopia óptica e de termogravimetria, metodologia desenvolvida por Faria,⁽³⁾ foi possível obter uma caracterização mineralógica quantitativa para cada uma das faixas granulométricas estudadas.

2.2 Desintegração Granulométrica

Com o objetivo de estudar o comportamento de degradação granulométrica do Produto Granulado de Morro da Mina (GMM), este trabalho se propôs a criar uma nova metodologia aplicável a minérios de manganês. Esta proposição consistiu na utilização de três índices quantitativos que possibilitaram caracterizar e entender melhor os principais mecanismos de geração dos finos.

O primeiro índice sugerido foi aquele que permitiu avaliar o comportamento mecânico dos materiais a frio, por meio da avaliação de suas resistências ao choque e à abrasão. Este índice foi definido como o parâmetro *Desintegração Granulométrica a Frio (DGF)*. A amostra de minério foi, na faixa granulométrica compreendida entre 15mm e 9,5mm, submetida a uma secagem e seguidamente tamborada (durante 30 minutos em três sequências de 10 minutos) em um tambor rotativo AN4696TR normatizado pelas ISO9246-1 e ISO9246-2. As porcentagens em massa de material geradas abaixo das malhas de 9,5 mm, 6,3 mm, 3,3 mm, 5 mm, 1,18 mm, 0,6 mm e 100# da série *Tyler* forneceram os índices DGF.

Dois outros parâmetros foram aqui definidos para avaliação da resistência mecânica dos materiais a quente. O primeiro índice avaliou a geração de finos devido à submissão dos materiais a um aquecimento muito rápido, buscando simular o que acontece no ato de carregamento do reator metalúrgico. Este índice foi sugerido como o tradicional Índice de Crepitação (IC). A faixa granulométrica selecionada

para a mensuração deste índice foi a compreendida entre 19mm e 6,3mm. Os ensaios foram realizados em um forno tipo mufla da Fornos Lavoisier, modelo 402D. As amostras foram introduzidas na mufla pré-aquecida a 700°C, onde permaneceram durante um intervalo de tempo de 30 minutos. As amostras foram resfriadas ao ar e submetidas a um peneiramento. A partir da média entre dez testes realizados, foram determinados quatro índices de crepitação. Foram eles I_{-6,3}, I_{-3,35}, I_{-1,18} e I_{-0,5}, que dizem respeito às porcentagens em massa de material abaixo de 6,3 mm; 3,35 mm; 1,18 mm e 0,5 mm respectivamente. Duas condições extras foram analisadas, uma com a amostra úmida, sem passar por procedimentos de secagem, para verificar a influência da umidade, e outra em uma atmosfera levemente redutora, constituída por um fluxo ascendente de 1,5l/min de 6% de H₂, 38% de CO₂ e 56% de CO, atmosfera semelhante a do topo do forno elétrico de redução.

O segundo índice foi proposto para avaliar o comportamento do material à medida que ele se desloca em fluxo descendente no reator metalúrgico, em contracorrente com um gás já rico em CO, experimentando aumento de temperatura. Este parâmetro foi definido como *Desintegração Granulométrica a Quente (DGQ)*. A faixa granulométrica escolhida para a medida deste índice foi a compreendida entre 15,9 mm e 6,3 mm.

Para a determinação dos índices DGQ, duas alíquotas de 500 g de minério foram individualmente introduzidas em uma retorta de 75mm de diâmetro e aquecidas em um forno resistivo vertical (normatizados pela ISO para ensaios de RDI e de redutibilidade de minérios de ferro), da temperatura ambiente até 1.000°C, a uma taxa constante de 25°C/min, em atmosfera composta por 100% de N₂ em fluxo ascendente (5 NI/min). Atingida a temperatura de residência, o fluxo de N₂ foi interrompido e a atmosfera redutora em fluxo ascendente foi estabelecida. O tempo de residência nesta temperatura foi de uma hora. Ao término do tempo de residência o fluxo de gás redutor foi interrompido e a amostra foi resfriada no interior do forno sob fluxo ascendente de N₂(5 NI/min).

Este trabalho propôs que fossem avaliadas três condições diferentes de atmosfera redutora, onde se buscou avaliar a influência da vazão. Foi utilizado um gás composto por, 99,5% de CO e 0,5% de N₂, para o qual foram avaliadas as vazões de 2 l/min, 5 l/min e 15 l/min. Uma condição extra foi proposta para se entender melhor os mecanismos de degradação, esta condição consistiu em substituir a atmosfera redutora por ar natural.

Após o resfriamento, as amostras foram submetidas a uma classificação granulométrica nas malhas de 9,5 mm, 6,3 mm, 3,35 mm, 1,18 mm, 0,6 mm e 100# para obtenção dos índices de desintegração granulométrica durante aquecimento em atmosfera redutora sem tamboramento. Uma vez obtidos estes índices, as amostras foram recompostas e tamboradas em um tambor rotativo modelo AN4696TR com frequência de rotação de 30±1 rpm. O tamboramento foi interrompido aos 10 minutos, 20 minutos e 30 minutos de ensaio para determinação de índices de desintegração.

Os produtos dos ensaios de crepitação e de desintegração granulométrica a quente foram caracterizados por meio de microscopia óptica de luz refletida e por adaptações da picnometria a água.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização Química e Mineralógica

A Tabela 1 apresenta a análise química das faixas granulométricas selecionadas do Produto Granulado de Morro da Mina.

Tabela 1. Análise química das faixas granulométricas compreendidas entre 19 mm e 6,3mm, e 15,9mm e 9,5mm do Produto Granulado de Morro da Mina (GMM)

Amostra	Mn %	Fe %	SiO ₂ %	P %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	TiO ₂ %
GMM (-19mm +6,3mm)	24,48	2,89	23,02	0,076	5,42	2,865	2,226	0,268
GMM (-15,9mm +9,5mm)	32,1	3,32	21,00	0,093	7,34	4,880	1,680	0,127

As faixas granulométricas selecionadas do Produto Granulado de Morro da Mina possuem teores de manganês relativamente baixos, sendo a faixa entre 15,9mm e 9,5mm a mais rica. Observa-se ainda que as basicidades binárias, calculadas por meio da razão CaO/SiO₂ estão entre 0,1 e 0,2.

A Tabela 3 apresenta a constituição mineralógica do Produto Granulado de Morro da Mina. A constituição mineralógica do Produto Granulado de Morro da Mina tem como principais portadores de Mn o carbonato rodocrosita [MnCO₃] e os silicatos espessartita [Mn₃Al₂(SiO₄)₃] e tefroíta [Mn₂SiO₄]. A presença majoritária da rodocrosita justifica o baixo teor de Mn, assim como os silicatos, associados à ocorrência de quartzo, justificam o elevado teor de SiO₂.

Tabela 2. Composição mineralógica das faixas granulométricas compreendidas entre 19 mm e 6,3 mm, e 15,9 mm e 9,5 mm do Produto Granulado de Morro da Mina (GMM)

Amostra	Constituintes (% em peso)					
	MnCO ₃ (Rodocrosita)	Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃ (Espessartita)	Mn ₂ SiO ₄ (Tefroíta)	(Fe, Mg) ₂ Si ₂ O ₆ (Ferrosilita)	SiO ₂ (Quartzo)	Outros
GMM (-19 mm +6,3 mm)	31 – 26	31 – 24	13 – 6	13 – 10	3 – 1	15 – 13
GMM (-15,9 mm +9,5 mm)	35 – 30	30 – 23	17 – 10	10 – 7	5 – 2	17 – 15

3.2 Desintegração Granulométrica

Os índices DGF assim como seus desvios padrões estão apresentados na Figura 1. Pode-se observar que para as condições de tamboramento estudadas, o Produto Granulado de Morro da Mina possui pouca susceptibilidade à geração de finos a frio, apresentando, após trinta minutos de tamboramento, apenas 0,7% de material passante na malha de 6,3 mm.

A Figura 2 apresenta os índices de crepitação determinados nas três condições propostas. Pôde-se observar que o Produto Granulado de Morro da Mina também apresenta baixa susceptibilidade à crepitação nas três condições estudadas, sendo a geração de finos em atmosfera ligeiramente redutora a mais acentuada.

Segundo os estudos de Faria, desenvolvidos entre 2008 e 2011,^(1,5) os minérios oxidados, ao contrário do minério estudado neste trabalho, apresentam elevados índices de crepitação. Segundo o autor, os principais fatores responsáveis pelo fenômeno seriam a eliminação de água estrutural e a decomposição térmica de alguns óxidos de manganês a partir de temperaturas da ordem de 600°C.

Pode-se observar que o Produto Granulado de Morro da Mina é majoritariamente constituído por carbonatos e silicatos de manganês que são termodinamicamente estáveis a 700°C, temperatura na qual foram realizados os ensaios de crepitação. Esta observação associada à pequena quantidade de minerais hidratados neste minério permite supor que durante o rápido aquecimento a estrutura das partículas se mantém pouco alterada, justificando assim a baixa geração de finos durante o ensaio.

Os resultados obtidos para os índices DGF e IC indicam que o minério estudado apresenta baixa susceptibilidade à geração de finos durante procedimentos de transporte e carregamento no topo do reator metalúrgico.

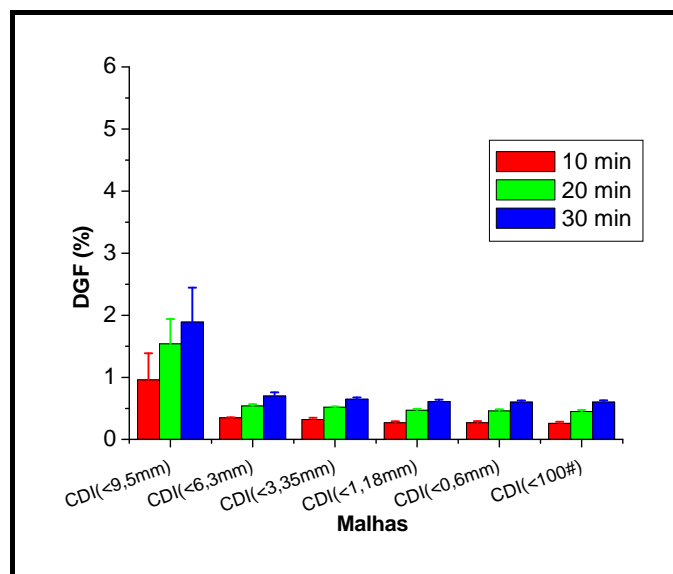


Figura 1. Índices de Desintegração Granulométrica a Frio (DGF) do Produto Granulado de Morro da Mina.

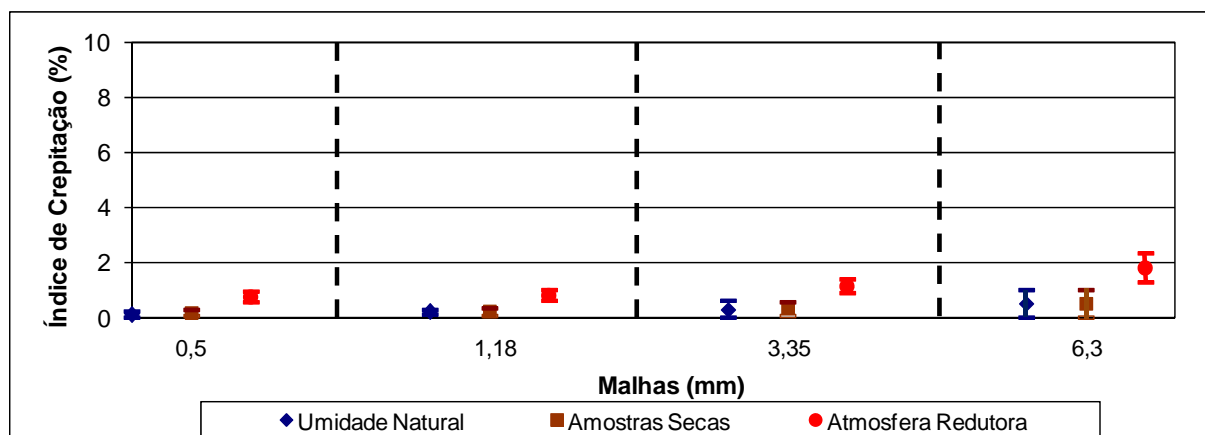


Figura 2. Índices de crepitação medidos para as amostras do Produto Granulado de Morro da Mina úmidas, secas e em atmosfera levemente redutora.

As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, as curvas de aquecimento e as isotermas de 1.000°C. As Figuras 5 e 6 apresentam, respectivamente, comparativos entre os índice DGF e DGQ medidos nas malhas de 6,3mm e 0,6mm para estas amostras.

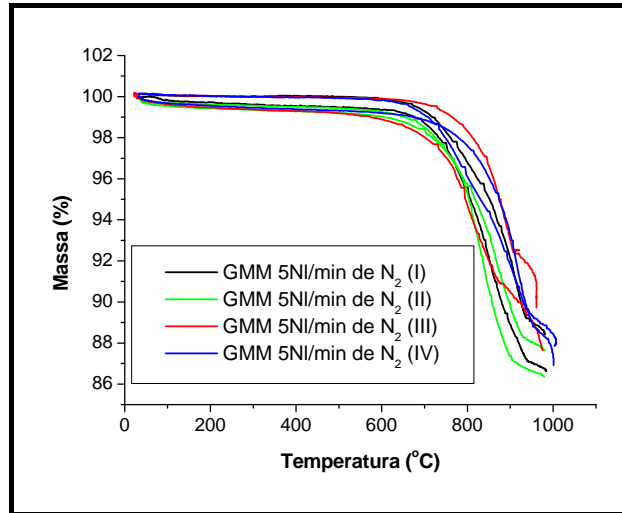


Figura 3. Curvas de aquecimento em atmosfera inerte.

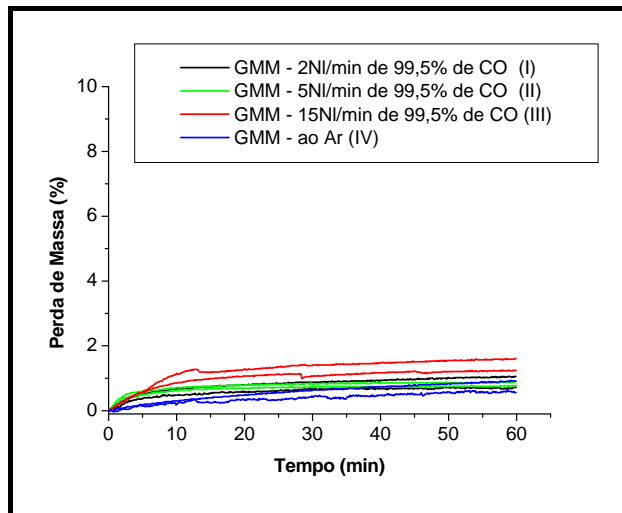


Figura 4. Perdas de massa nas isotermas de 1.000°C.

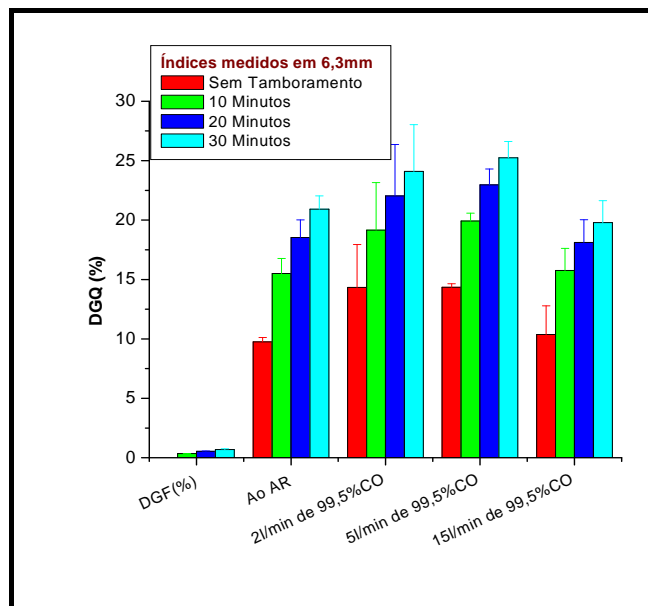


Figura 5. Comparativo entre índices DGF e DGQ medidos na malha de 6,3 mm.

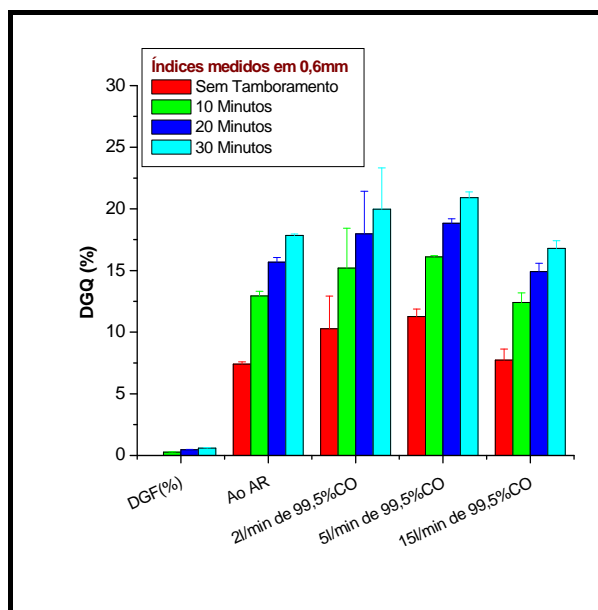


Figura 6. Comparativo entre índices DGF e DGQ medidos na malha de 0,6 mm.

Pôde-se observar que, durante o aquecimento, entre 300°C e 600°C houve uma perda de massa muito pequena, que pôde ser associada à eliminação de água estrutural presente em alguns anfibólios. Nas proximidades de 700°C verificou-se o início da decomposição térmica da rodocrosita, carbonato de manganês presente em quantidades muito significativas. A perda de massa da ordem de 12% indica que durante o aquecimento, toda a rodocrosita foi decomposta em MnO, eliminando CO₂ para a atmosfera. Em função de esta reação acontecer mesmo ao ar, não foram observadas diferenças significativas em relação aos testes realizados em atmosfera redutora.

Pôde se observar ainda que o Produto Granulado de Morro da Mina apresentou elevada susceptibilidade à geração de finos durante decomposição térmica. Notou-se que com apenas a submissão das amostras ao aquecimento até 1.000°C, ao ar, 10% do material, em média, se torna passante na malha de 6,3 mm e 7% do em 0,6 mm. Após 30 minutos de tamboramento, em média, 24% do material se tornam passantes em 6,3 mm, e 16% em 0,6 mm, indicando baixa resistência à abrasão.

A desintegração granulométrica do Produto Granulado de Morro da Mina durante aquecimento em atmosfera oxidante (ao ar) pode estar associada à efetiva decomposição térmica da rodocrosita que deixa a superfície das partículas muito irregulares e porosas. Alguns pequenos cristais de espessartita, inicialmente agregados à rodocrosita, perderiam seu ancoramento, sendo assim, liberados na forma de partículas muito pequenas. O aumento progressivo dos índices DGQ à medida que se aumentam os tempos de tamboramentos estão associados à presença dos pequenos cristais de espessartita, silicato de elevada dureza, que durante o tamboramento, atua como abrasivo.

A remoção de CO₂, proveniente da decomposição da rodocrosita, contribui para a fragilização das partículas, pois ao ser removido, ele aumenta a porosidade total do material, diminuindo consideravelmente sua resistência mecânica. A Figura 7 compara as porosidades totais das amostras de recebimento e daquelas submetidas aos ciclos térmicos. Como levantado na hipótese, realmente a submissão das amostras aos ciclos térmicos aumenta significativamente a porosidade das mesmas, justificando a diminuição da resistência mecânica do minério.

A Figura 8 é um conjunto de micrografias que compara partículas de recebimento com aquelas submetidas aos ciclos térmicos. Observa-se nitidamente que as granadas caracterizadas por se apresentarem como cristais de aspecto arredondado, permanecem estáveis na estrutura do minério após a redução, porém a massa de carbonato que inicialmente preenche majoritariamente os espaços entre as granadas, diminui, deixando espaços vazios, que caracterizam a porosidade, e que, portanto, aumentam a susceptibilidade do minério à desintegração granulométrica durante aquecimento.

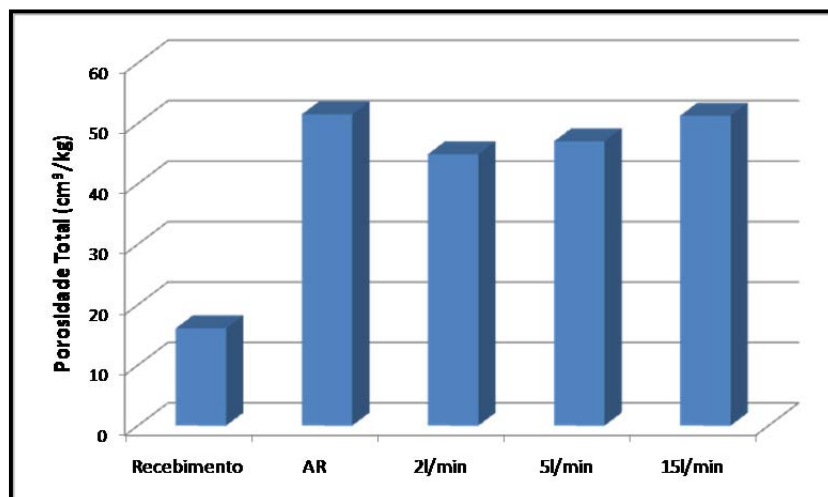


Figura 7. Comparativo entre as porosidades totais da amostra de recebimento e das submetidas aos ciclos térmicos (GMM).

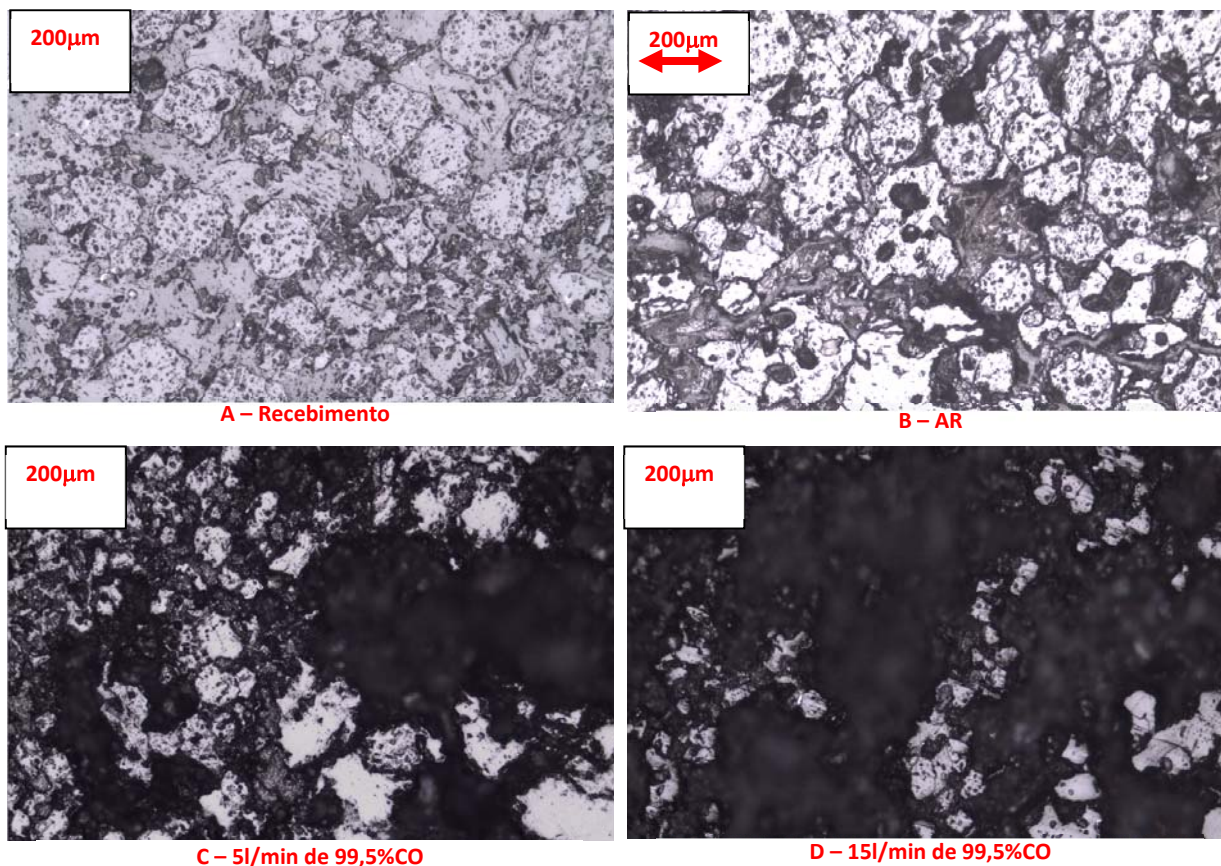


Figura 8. Comparativo entre as porosidades das microestruturas do Produto Granulado de Morro da Mina de recebimento e submetido aos ciclos térmicos ao ar, com 5 l/min e 15 l/min de 99,5% de CO.

4 CONCLUSÕES

- O Produto Granulado de Morro da Mina apresenta um teor de Mn considerado baixo, porém uma relação Mn/Fe considerada intermediária. Estas características associadas aos elevados teores de SiO₂, Al₂O₃ e CaO poderão ser responsáveis por uma baixa relação metal/escória, que poderá produzir uma escória com um comportamento ligeiramente básico, aumentando a sua reatividade e a sua fluidez;
- o Produto Granulado de Morro da Mina é majoritariamente constituído por silicatos (espessartita e tefroíta) e por um carbonato de manganês (rodocrosita), podendo ser tipologicamente classificado como silicatado carbonatado;
- os índices propostos neste trabalho (DGF – Desintegração Granulométrica a Frio, IC – Índice de Crepitação e DGQ – Desintegração Granulométrica a Quente) se mostraram eficientes para a caracterização quantitativa da degradação granulométrica do minério estudado;
- o Produto Granulado de Morro da Mina possui baixa susceptibilidade a desintegração granulométrica a frio (DGF) e à crepitação (IC). A umidade natural e a atmosfera levemente redutora, para o minério em questão, não se mostraram fatores influentes na crepitação;
- o Produto Granulado de Morro da Mina, apesar de não apresentar significativa crepitação, gerou elevada quantidade de finos quando termicamente decomposto e pré-reduzido a 1.000°C, não existindo significativas diferenças entre os resultados obtidos ao ar e com as vazões de 2Nl/min, 5Nl/min e 15Nl/min de 99,5% de CO; e
- a decomposição da rodocrosita se apresenta como principal fator responsável pela desintegração granulométrica deste minério. Destaca-se ainda que de todo material passante em 6,3mm, aproximadamente 75% também é passante em 0,6mm. Esta observação indica que o Granulado de Morro da Mina gera grande quantidade de ultrafinos, apresentando assim, baixa resistência à abrasão durante decomposição térmica e redução.

Agradecimentos

Os Autores agradecem às agências brasileiras FAPEMIG e CAPES, assim como a Vale Manganês por ter cedido, gentilmente, as amostras.

REFERÊNCIAS

- 1 FARIA, G. L. *Estudo da Intensidade de Crepitação de Minérios Granulados de Manganês do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto – REDEMAT. Ouro Preto, Brasil, 125p. 2008.
- 2 FARIA, G. L. *Estudo Geometalúrgico de Granulados e Pelota de Minério de Manganês*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto – REDEMAT. Ouro Preto, Brasil, 302p. 2011.
- 3 OLSEN, S. E; TANGSTAD, M; and LINDSTAD, T. *Production of Ferromanganese Alloys in the Submerged Arc Furnace*. Trondheim, Norway. 247p. 2007.
- 4 TANGSTAD, M; CALVERT, P; BRUN, H; LINDSETH, A. G. *Use of Comilog Ore in Ferromanganese Production*. INFACON 10, Cape Town, South Africa. p213-222. 2004.

- 5 FARIA, G. L; VIANNA, N. C. S; JANNOTTI JR., N; Vieira C. B; ARAUJO, F. G. S. *Decrepitation of Brazilian Manganese Lump Ores*. The Twelfth International Ferroalloys Congress - INFACON XII, 2010, Helsinki.
- 6 FARIA, G. L; REIS, E. L; JANNOTTI JR., N; ARAÚJO, F. G. S. *Decomposição Térmica e Degradação Granulométrica da Tipologia de Minério de Manganês Urucum Standard*. 66^o Congresso Anual ABM, 2011, São Paulo.
- 7 YOSHIKOSHI, H; TAKEUCHI, O; MIYASHITA, T; KUWANA, T; KISHIKAWA, K. *Development of Composite Cold Pellet for Silico-manganese Production*. 105th ISIJ Meeting. Tokyo, 1983.
- 8 FARIA, G. L; JANNOTTI JR., N; Araújo, F. G. da Silva. *Decrepitation behavior of manganese lump ores*. International Journal of Mineral Processing (Print), 2011. [DOI information: 10.1016/j.minpro.2011.10.004].
- 9 VIANA, N. C. S. *Mineralogia, Calcinação e Nova Classificação Tipológica De Minérios de Manganês Sílico-Carbonatados*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto – REDEMAT. Ouro Preto, Brasil, 99p, 2009.
- 10 WALDE, D. H. G; GIERTH, E; LEONARDOS, O. H. *Stratigraphy and Mineralogy of the Manganese Ores of Urucum, MatoGrosso*. Brazil. Band 70, Heft3. p.1077-1085. 1981.