

COMPARAÇÃO GEOMETALÚRGICA ENTRE O PRODUTO GRANULADO E PELOTAS DO AZUL¹

Geraldo Lúcio de Faria²

Nelson Jannotti Júnior³

Fernando Gabriel da Silva Araújo⁴

Resumo

Os produtos granulados de manganês ainda são a principal matéria-prima para a fabricação das ferroligas de manganês, entretanto como a produção de grande quantidade de finos decorrentes do processamento dos minérios é uma realidade na maioria das plantas de beneficiamento, uma alternativa a ser estudada é a confecção de pelotas. Este trabalho compara as principais características geometalúrgicas do Produto Granulado do Azul e de pelotas fabricadas, em escala piloto, a partir dos finos de seu beneficiamento. As características avaliadas foram: composição química, constituição mineralógica, degradação granulométrica a frio e a quente, decomposição térmica e pré-redução. Pôde-se observar que a fração de óxidos de manganês presentes nas pelotas são maiores do que a verificada no produto granulado, o que justifica o maior teor de manganês. Como as pelotas não possuem minerais hidratados como o produto granulado, os fenômenos de degradação granulométrica a frio e a quente são desprezíveis quando comparados aos verificados no granulado. Entretanto, as pelotas já se encontram em um estágio avançado de pré-redução se comparadas ao produto granulado, o que pode ser desfavorável ao perfil térmico do reator na zona granular. Conclui-se que as pelotas podem ser utilizadas como importante fonte de manganês favorável à permeabilidade da carga, porém há de se considerar possíveis decréscimos da temperatura da zona granular durante pré-redução.

Palavras-chave: Pelotas; Produto granulado; Mina do azul; Minério de manganês; Caracterização geometalúrgica.

COMPARISON BETWEEN GEOMETALLURGY OF AZUL LUMP ORE AND AZUL PELLETS

Abstract

Manganese lump ores are yet the main raw material for ferroalloy production. However the generation of big amount of ore fines during the lump ores processing is a real fact nowadays. The utilization of the fines as raw material for manganese pellet production is a technologic rout that has been studied as alternative for the fines application. This study compares the main geomettallurgic characteristics of Azul lump ore and of pellets made of Azul fines. Chemical composition, mineralogical constitution, cold and hot particle disintegration, heat decomposition and pre-reduction were the parameters evaluated. It was possible to observe that oxide content is higher in pellets then in lump ore, justifying the pellets highest Mn content. Pellets did not present hydrated minerals, so they did not present significant particle disintegration phenomenon. However it was possible to conclude that pellets are in an advanced pre-reduction stage when compared to the Azul lump ore. This characteristic may be bad for the electrical furnace heating profile in the granular zone. Finally, is possible to affirm that pellets are an important Mn source and are favorable for the good charge permeability, but if used as the major Mn source they may decrease the granular zone temperature during operation.

Key words: Pellets; Lump ore; Azul mine; Manganese ore; Geometallurgic characterization.

¹ *Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.*

² *Físico. Dr. Prof. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais (Demet), UFOP. Ouro Preto, MG, Brasil; geraldofaria@demet.em.ufop.br.*

³ *Engenheiro, Vale Manganês, Nova Lima, MG, Brasil; nelson.jannotti@vale.com.*

⁴ *Físico. Dr. Prof. Rede Temática em Engenharia de Materiais (Redemat), UFOP. Ouro Preto, MG, Brasil; fgabrielaraujo@uol.com.br.*

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de ferro-ligas de manganês do mundo. As ferro-ligas de manganês são majoritariamente produzidas em fornos elétricos de redução e são amplamente aplicadas como elementos de liga dos aços.⁽¹⁻³⁾

Os minérios granulados de manganês ainda são amplamente utilizados como matéria-prima para produção das ferro-ligas de manganês. As misturas destes minérios, provenientes de diversas minas ou mesmo de diferentes frentes de lavra de uma mesma mina, são, nas usinas de ferro ligas, usualmente definidas de acordo unicamente com as suas características químicas e granulométricas.⁽¹⁻⁴⁾

Um problema frequentemente encontrado na rotina de processamento mineral dos produtos granulados das minas é a geração acentuada de finos de minério ricos em manganês porém com granulometria inadequada para o processo de redução em forno elétrico. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo comparativo a respeito de parâmetros de qualidade de grande importância, e ainda muito pouco estudados, que são a pré-redução, a desintegração granulométrica a frio, a crepitação e a desintegração granulométrica durante aquecimento do Produto Granulado do Azul e de pelotas de minérios de manganês, fabricadas em escala piloto a partir dos finos do processamento do próprio Granulado do Azul.^(1,5)

A mina de Manganês do Azul é a maior produtora de minério de manganês da América Latina com produção anual de 2,5 Mtpa. O minério produzido visa principalmente à produção de ferro-ligas e, em menor proporção, a indústria química e de baterias.^(1,4)

Esta mina está localizada na porção centro-oeste da Província Mineral de Carajás, no interior da Floresta Nacional de Carajás, Município de Parauapebas, no sudeste do estado do Pará. O empreendimento situa-se a aproximadamente 37 km do Núcleo Urbano de Carajás e a 62 km do Município de Parauapebas. O minério explorado nesta mina é composto majoritariamente por óxidos.^(1,4)

O foco desta pesquisa está sobre o processamento metalúrgico do Produto Granulado de Urucum e das pelotas produzidas a partir dos seus finos na zona granular do forno elétrico de redução, que se caracteriza por ser uma região de grande importância no processo de fabricação das ligas. É nesta zona que as matérias-primas sólidas experimentam aumento de temperatura à medida que se deslocam em fluxo descendente. A temperatura da carga nesta zona varia, em média, de 500°C a 1.100°C. Nesta região a água, presente na forma de umidade, é evaporada e os óxidos de manganês iniciam sua redução motivada pelo fluxo ascendente de CO. Para que os processos envolvidos nesta zona sejam eficientes é importante que a permeabilidade ao fluxo gasoso seja elevada e homogênea ao longo da carga.^(1,6-8)

Segundo Berg e Olsen⁽⁶⁾ (2000) e Wang e Sundman⁽⁹⁾ além das condições de integridade física da carga é importante que a redução dos óxidos de maior valência sejam eficientes. Segundo os autores, as principais reações de redução dos óxidos de manganês podem ser descritas na seguinte sequência: Na faixa de temperatura entre 600°C e 700°C ocorre uma redução significativa da fase MnO₂ para Mn₂O₃ com uma perda de massa da ordem de 9,2%. Entre 900 e 1.000°C verifica-se uma significativa redução de Mn₂O₃ para Mn₃O₄ com uma perda de massa da ordem de 3,3%. Ao atingir temperaturas superiores a 1200°C, que variam em função da matéria-prima e do tipo de liga a ser produzida, a carga, exceção feita ao carbono, amolece e funde.^(1,8-11)

Por meio da comparação entre as características, químicas, mineralógicas e metalúrgicas, pretende-se avaliar a possibilidade de fabricação de pelotas de minério de manganês como possível rota de aproveitamento de finos gerados nos processos de beneficiamento do minério granulado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Uma tonelada do Produto Granulado do Azul foi homogeneizada, quarteada e amostras representativas de 100 kg tanto da amostra global quanto da faixa granulométrica compreendida entre 15,9 mm e 9,5 mm foram retiradas. Tanto a amostra global quanto a faixa granulométrica em questão foram submetidas a procedimentos de caracterização química, física e mineralógica. Uma fração da amostra com tamanho médio de partículas entre 15,9 mm e 9,5 mm foi destinada aos ensaios de caracterização metalúrgica.

Um lote de 100 kg de pelotas de minério de manganês (74% em peso com diâmetro médio entre 11 mm e 13 mm) confeccionadas em escala piloto a partir dos finos gerados no processamento do Produto Granulado do Azul também foi homogeneizado e quarteado. Amostras representativas foram destinadas aos procedimentos de caracterização química, física, mineralógica e metalúrgica.

As análises químicas quantitativas foram realizadas no Laboratório de Geoquímica/DEGEO/UFOP. 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 componentes por ICP – OES (Espectrômetro de Emissão Atômica por Plasma Indutivamente Acoplado) da marca SPECTRO/modelo Ciros CCD.

Foram determinados quantitativamente os constituintes minerais majoritários presentes nas amostras estudadas. Os resultados foram obtidos por meio da conjugação das técnicas de microscopia óptica, difratometria de raios-X, pelo método do pó total, de microsonda eletrônica acoplada a MEV, termogravimetria e balanços de massa. As propriedades físicas avaliadas foram as densidades (aparente e estrutural) assim como parâmetros de porosidade.

Uma vez caracterizadas as amostras, foram propostas metodologias de caracterização metalúrgica dos materiais foco deste trabalho. Os métodos experimentais permitiram comparar, além das características químicas, físicas e mineralógicas, os comportamentos de decomposição térmica ao ar, pré-redução e degradação granulométrica a frio e a quente.

A primeira metodologia experimental permitiu comparar os comportamentos de decomposição térmica e pré-redução dos materiais. Os estudos de decomposição térmica e de eficiência de pré-redução foram desenvolvidos por meio da submissão das amostras a um aquecimento, da temperatura ambiente até 1.000°C, a uma taxa constante de 25°C/min. O tempo de residência nesta temperatura foi de uma hora. Os ensaios foram realizados em um forno vertical resistivo AN3200, provido de uma termobalança. Para os ensaios de decomposição térmica a atmosfera utilizada foi o ar natural. Entretanto, para os ensaios de eficiência de pré-redução, durante o aquecimento fez-se uso de uma atmosfera constituída por 5NL/min de 100% de N₂ e durante a isoterma por diferentes vazões de 99,5% de CO e 0,5% de N₂ (2NI/min, 5NI/min e 15NI/min).

Por meio da análise química e da difratometria de raios-X dos produtos dos ensaios, assim como das perdas de massa observadas durante o aquecimento, determinou-se as temperaturas de início de decomposição das fases menos estáveis e a fração

de cada produto das decomposições e das reduções na estrutura final da amostra. É importante ressaltar que cada ensaio foi realizado em duplicata.

Para avaliar o comportamento mecânico dos materiais a frio, por meio da avaliação de suas resistências ao impacto e à abrasão, um índice quantitativo foi proposto. Este índice foi definido como: *Desintegração Granulométrica a Frio (DGF)*.⁽¹⁾ A amostra de minério foi, na faixa granulométrica compreendida entre 15,9 mm 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 produzidas 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. As pelotas foram submetidas à mesma metodologia, porém a faixa de tamanho médio de pelotas utilizada foi a compreendida entre 11 mm e 13 mm.

Buscando avaliar o comportamento mecânico 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. Um parâmetro foi proposto e definido como *Desintegração Granulométrica a Quente (DGQ)*.⁽¹⁾ A faixa granulométrica escolhida para a medida deste índice também foi a compreendida entre 15,9 mm e 6,3 mm para o Produto Granulado do Azul e entre 11 mm e 13 mm para as pelotas.

Para a determinação dos índices DGQ, duas alíquotas de 500 g de material foram individualmente introduzidas em uma retorta de 75 mm 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 (5NI/min). Atingida a temperatura de residência, o fluxo de N₂ foi interrompido e a atmosfera redutora em fluxo ascendente foi estabelecida (2NI/min, 5NI/min e 15NI/min de 99,5% de CO e 0,5% de N₂). 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 (5NI/min).

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±1rpm. 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 picnometria a água.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta as análises químicas das amostras global e da faixa granulométrica compreendida entre 15,9 mm e 9,5 mm do Produto Granulado do Azul (Referência - MG60). A mesma tabela ainda compara a composição química das pelotas fabricadas, em escala piloto, a partir do Produto Granulado do Azul.

Tabela 1. Comparativo entre as composições químicas do Produto Granulado do Azul e as Pelotas

Amostra	Mn %	Fe %	SiO ₂ %	P %	Al ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	TiO ₂ %
MG60 (Global)	47,68	3,59	3,16	0,097	5,22	0,120	0,180	0,240
MG60 (-15,9mm +9,5mm)	49,10	3,37	2,46	0,100	4,86	0,154	0,100	0,259
Pelotas (-13mm +11mm)	50,94	7,53	8,00	0,092	7,80	0,27	0,32	0,43

O Produto Granulado do Azul, assim como as pelotas, possui elevado teor de manganês, sendo as pelotas as mais ricas. O Produto Granulado do Azul apresenta uma relação Mn/Fe de 13,28 enquanto as pelotas de 6,8.

A Tabela 2 apresenta a constituição mineralógica do Produto Granulado do Azul e das pelotas. A constituição mineralógica deste Produto Granulado tem como principais portadores de Mn os óxidos criptomelana [KMn₈O₁₆] e pirolusita [MnO₂], e os hidróxidos todorokita [(Na, Ca, K)₂Mn₆O₁₂.3a4,5(H₂O)] e N-sutita [Mn(O,OH)₂]. O teor considerável de Al é justificado pela presença significativa de gibbsita [Al(OH)₃], e o de Fe pela presença de magnetita [Fe₃O₄].

Tabela 2. Constituição mineralógica do Produto Granulado do Azul (MG60)

Amostra	Constituintes (% em peso)						
	KMn ₈ O ₁₆ (Criptomelana)	(Na, Ca, K) ₂ Mn ₆ O ₁₂ .3a4,5(H ₂ O) (Todorokita)	Mn(O,OH) ₂ (N-Sutita)	Al(OH) ₃ (Gibbsita)	MnO ₂ (Pirolusita)	Fe ₃ O ₄ (Magnetita)	Outros
MG60 (Global)	33 – 23	33 – 23	16 – 10	13 – 10	4 – 2	7 – 5	8 – 7
MG60 (-15,9mm +9,5mm)	35 – 25	31 – 21	16 – 10	10 – 7	5 – 3	6 – 4	8 – 7

A constituição microestrutural das pelotas está apresentada na Tabela 3. Observa-se que a principal estrutura portadora de Mn é o óxido MnO, com estrutura cristalina correspondente à do mineral manganosita (MnO). Existe ainda uma pequena fração de Mn₃O₄ como portador de Mn, com estrutura cristalina correspondente à do mineral hausmannita (Mn₃O₄). O teor de Fe é justificado pela presença de magnetita na estrutura da pelota. Observa-se que as diferenças químicas verificadas entre as amostras é um reflexo das frações de cada constituinte nas amostras caracterizadas.

Tabela 3. Constituição microestrutural das pelotas fabricadas a partir dos finos do Produto Granulado do Azul

Amostra	Constituintes (% em peso)			
	MnO (Manganosita)	Mn ₃ O ₄ (Hausmannita)	Fe ₃ O ₄ (Magnetita)	Outros
Pelotas	64 – 60	5 – 3	12 – 9	25 – 20

A Tabela 4 apresenta um comparativo entre as densidades aparente, estrutural e as porosidades das amostras estudadas. Observa-se que as pelotas apresentam as maiores densidades estruturais e aparentes, o que está diretamente relacionado à fração do constituinte MnO. O Produto Granulado do Azul, por apresentar elevada fração de fases minerais hidratadas e porosas, possui a maior porosidade.

Tabela 4. Densidades estruturais, aparentes e porosidades do Produto Granulado do Azul (MG60) e das Pelotas

Amostras	MG60 (global)	MG60 (-15,9mm +9,5mm)	Pelotas
Densidade Aparente (g/cm ³)	3,55	3,20	3,82
Densidade Estrutural (g/cm ³)	3,98	3,71	4,17
Porosidade Total (%)	10,9	13,8	8,2
Porosidade Total (cm ³ /kg)	30,6	43,1	21,5

Por meio da metodologia descrita para a caracterização do comportamento de decomposição térmica dos materiais em estudo, foi possível determinar a variação de massa das amostras em função da temperatura, durante o aquecimento ao ar, da temperatura ambiente à 1.000°C. A Figura 1 apresenta um comparativo dos perfis de perda de massa durante o aquecimento e a Figura 2 apresenta um comparativo durante 1h de tratamento isotérmico a 1.000°C.

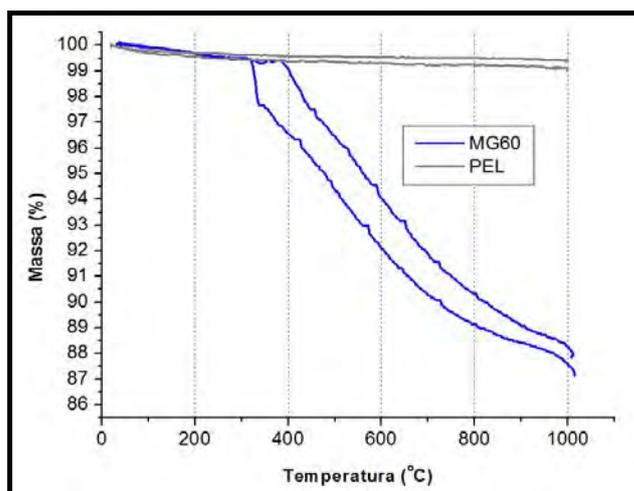


Figura 1. Variação de massa durante o aquecimento ao ar, até 1.000°C.

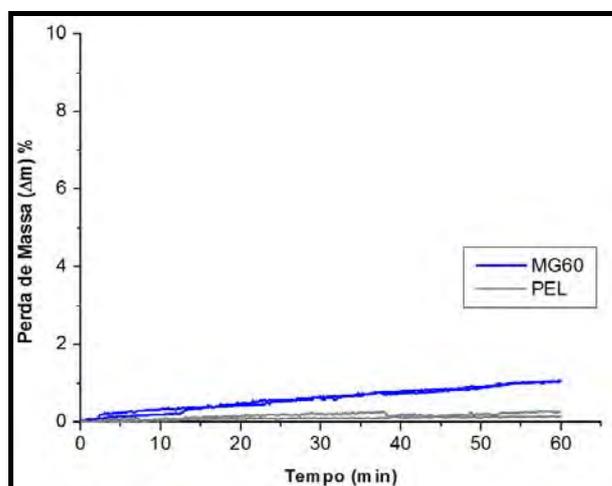


Figura 2. Perda de massa com o tempo durante isoterma de 1.000°C ao ar.

Pode-se observar que os perfis de variação de massa durante o aquecimento são completamente diferentes. Durante o aquecimento do Produto Granulado do Azul (MG60), até a temperatura de 1000°C, observou-se uma perda de massa média de 11,9%. Esta perda de massa está associada à decomposição da todorokita, da n-sutita, da gibbsita, minerais hidratados presentes em grande quantidade, e dos óxidos de manganês, criptomelana e pirolusita.

Durante o aquecimento das pelotas (PEL), não houve apreciável variação de massa, mas apenas um pequeno decréscimo que ocorre antes de 200°C, e certamente pode ser atribuído à eliminação de água de umidade presente no porta amostra. Este comportamento pode ser justificado pelo fato de as pelotas já terem sido submetidas a um processo de queima (sinterização) em temperaturas superiores a 1.100°C em seu processo de fabricação.

Buscando avaliar o comportamento de pré-redução, as amostras estudadas foram aquecidas até a temperatura de 1.000°C e então submetidas a diferentes vazões de gás redutor durante uma hora (99,5% de CO e 0,5% de N₂). As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente para o Produto Granulado do Azul (MG60) e para as pelotas (PEL), os perfis de perda de massa em função do tempo de tratamento isotérmico para as diferentes vazões estudadas.

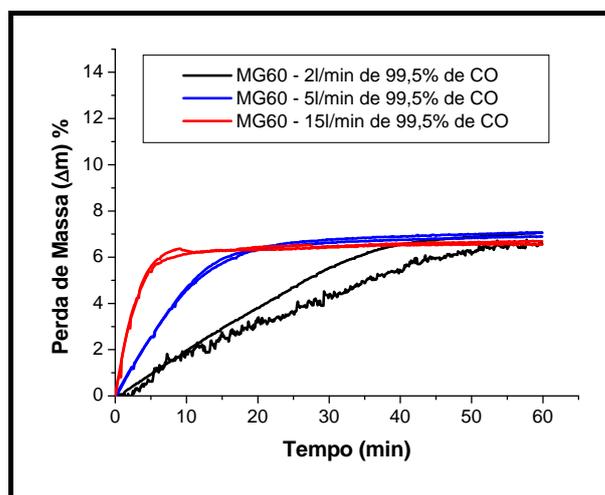


Figura 3. Comparativo entre as perdas de massa das amostras do Produto Granulado do Azul durante pré-redução a 1.000°C.

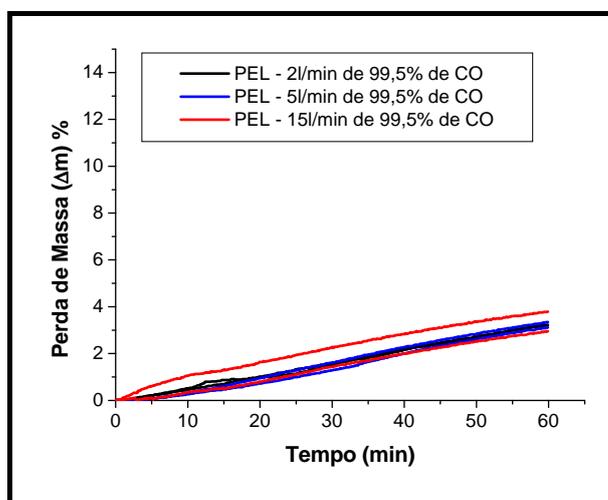


Figura 4. Comparativo entre as perdas de massa das amostras de pelotas durante pré-redução a 1.000°C.

Pode-se observar que a vazão do gás redutor influencia diretamente o comportamento de pré-redução do Produto Granulado do Azul. Quanto maior a vazão do gás, maior a velocidade de pré-redução. Nota-se também que para as três vazões testadas, as perdas de massa totais foram muito similares, dando indícios que todas as reações se processaram, porém com cinéticas distintas.

Pode-se observar ainda que a vazão do gás redutor não tem significativa influencia sobre o comportamento de pré-redução das pelotas estudadas. As pequenas diferenças entre os perfis de perda de massa durante a pré-redução podem ser associadas às diferentes proporções de cada fase em cada amostra.

Quanto à caracterização da degradação granulométrica dos materiais analisados, o primeiro ensaio foi proposto com objetivo de avaliar a degradação granulométrica a frio por meio do índice DGF proposto por Faria.⁽¹⁾ As Figuras 5 e 6 apresentam os perfis de geração de finos a temperatura ambiente do Produto Granulado do Azul e das pelotas respectivamente.

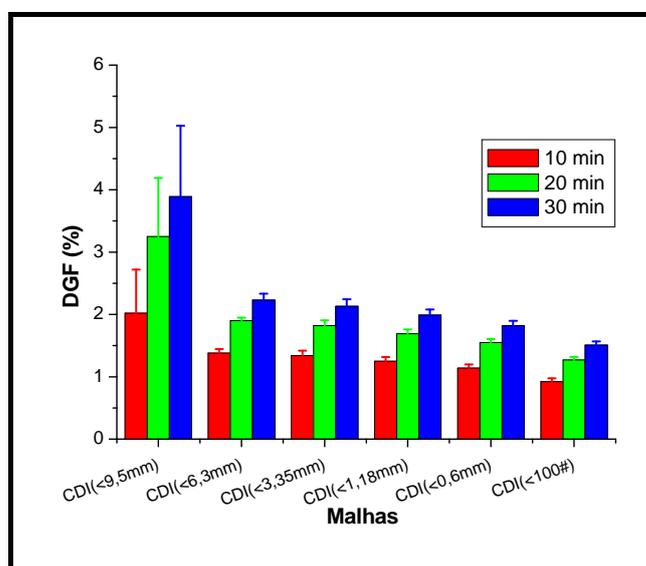


Figura 5. Índices de Desintegração Granulométrica a Frio (DGF) do Produto Granulado do Azul.

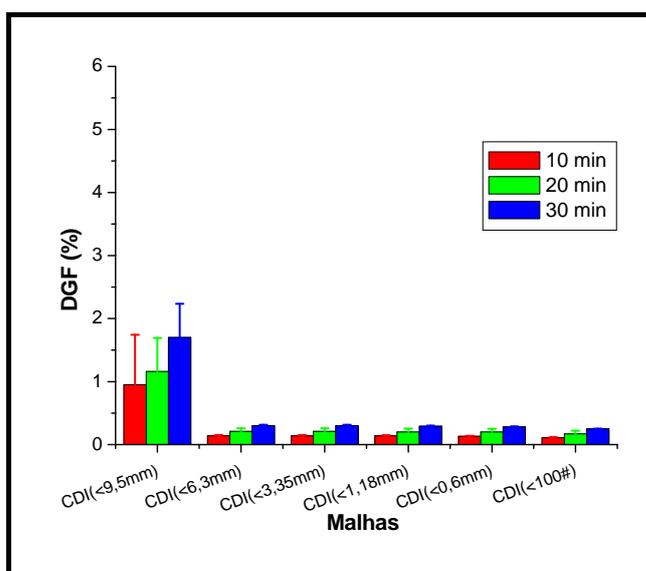


Figura 6. Índices de Desintegração Granulométrica a Frio (DGF) das pelotas.

Pode-se observar, para as condições de tamboramento estudadas, tanto o Produto Granulado do Azul quanto as pelotas possuem pouca susceptibilidade à geração de finos, sendo das pelotas o melhor comportamento. O Produto Granulado do Azul apresentou, após trinta minutos de tamboramento, 2,2% de material passante na malha de 6,3 mm, enquanto as pelotas apenas 0,3%.

As Figuras 7 e 8 apresentam um comparativo entre os índices DGF e os índices de desintegração granulométrica a quente (DGQ), também proposto por Faria,⁽¹⁾ para o Produto Granulado do Azul e para as pelotas respectivamente. Pode-se observar que as pelotas apresentam maior resistência à degradação granulométrica do que o Produto Granulado do Azul em todas as condições de ensaio.

Supõe-se que a remoção de oxigênio proveniente da pré-redução das amostras aumenta significativamente a porosidade das mesmas, justificando o aumento da geração de finos. Nas pelotas estes danos estruturais seriam menos severos, pois elas já se apresentavam em avançado estado de pré-redução após sua fabricação.

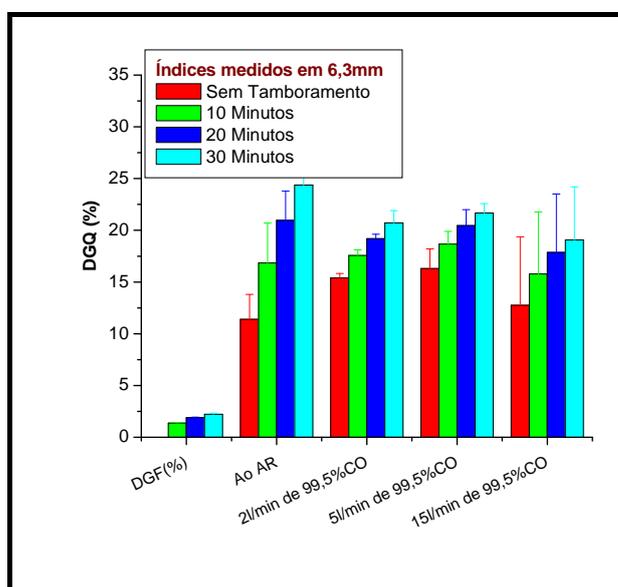


Figura 7. Comparativo entre os índices DGF e DGQ medidos na malha de 6,3mm para o Produto Granulado do Azul.

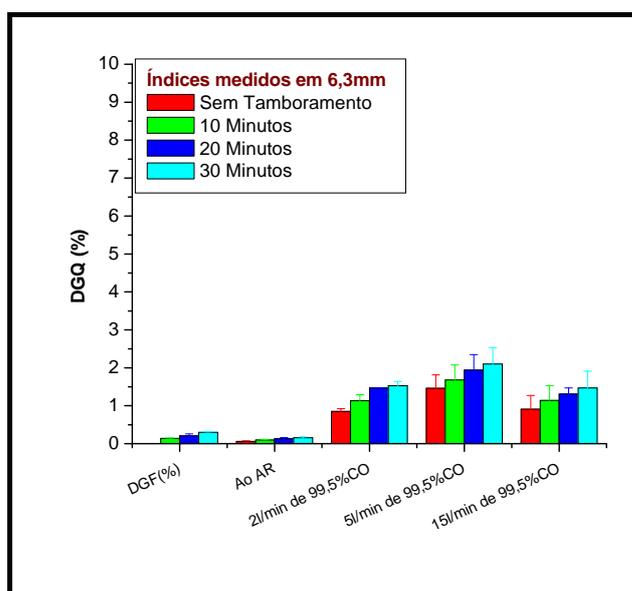


Figura 8. Comparativo entre os índices DGF e DGQ medidos na malha de 6,3mm para as pelotas.

4 CONCLUSÕES

O Produto Granulado do Azul apresenta elevado teor de Mn (47,68%) e uma alta relação Mn/Fe (13,28%). Estas características permitem maior liberdade na seleção e adição de cargas ferríferas no forno elétrico. Em função de seus teores de SiO₂ e de CaO, sua redução sem aditivos deverá gerar uma escória ácida, com fluidez e reatividade ligeiramente limitadas. As pelotas apresentaram o maior teor de Mn (50,94%), porém uma relação Mn/Fe inferior (6,8). Estas características associadas aos teores de Al₂O₃ e SiO₂ poderão ser responsáveis por uma relação metal/escória intermediária, com possível formação de uma escória ácida, que poderá ser formada em pontos mais baixos do forno elétrico de redução, com fluidez e reatividades limitadas.

O Produto Granulado do Azul é rico em minerais de manganês hidratados (todorokita e n-sutita). Há ocorrência significativa de óxidos de manganês (criptomelana e pirolusita) e de ferro (magnetita). Este minério apresenta, entre os outros, quantidade significativa de gibbsita que é um hidróxido de alumínio. O Produto Granulado do Azul pode ser tipologicamente classificado como hidratado oxidado microporoso. As pelotas estudadas são constituídas majoritariamente por óxidos. Os principais óxidos presentes são MnO e Fe₃O₄. Elas podem ser classificadas como oxidadas pré-reduzidas macroporosas.

No conteúdo da decomposição térmica ao ar, para o Produto Granulado do Azul, entre 350°C e 500°C tem-se a eliminação da água estrutural. A partir de 600°C tem início a decomposição dos óxidos de valência superior. Para as pelotas não há perdas de massa significativa, indicando que todas as fases presentes são termodinamicamente estáveis nas condições de estudo.

Durante a pré-redução, a perda de massa do Produto Granulado do Azul é maior do que a verificada para as pelotas. O Produto Granulado se mostra muito sensível à variação de vazão de gás redutor, enquanto as pelotas não. Como as reações de pré-redução dos óxidos de manganês são exotérmicas, pelo fato das pelotas já se encontrarem em avançado estágio de pré-redução, elas não contribuirão para a manutenção do perfil térmico do reator metalúrgico caso sejam aplicadas como única fonte de Mn no processo.

As pelotas e o minério estudado possuem boa resistência a desintegração granulométrica a frio, gerando pequenas quantidades de finos quando submetidos a esforços de impacto e abrasão.

Pode-se afirmar que as pelotas apresentam menor desintegração granulométrica durante pré-redução do que o Produto Granulado do Azul, pois como já estão em avançado estágio de pré-redução, apresentam, durante o ciclo térmico, apenas pequenas alterações microestruturais que contribuem para sua fragilização. Assim sendo as pelotas se apresentam como boa alternativa para melhorar as condições de permeabilidade da carga do forno ao fluxo gasoso.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Capes pelo suporte financeiro e a VALE Manganês por ceder gentilmente as amostras.

REFERÊNCIAS

- 1 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.
- 2 OLSEN, S. E; TANGSTAD, M; and LINDSTAD, T. *Production of Ferromanganese Alloys in the Submerged Arc Furnace*. Trondheim, Norway. 247p. 2007.
- 3 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.
- 4 FARIA, G. L; REIS, E. L; JANNOTTI, N; ARAUJO, F. G. S; *Caracterização Química, Física e Mineralógica do Produto Granulado de Manganês Proveniente da Mina do Azul*. Matéria (UFRJ). v. 17, p. 901-908, 2012.
- 5 YOSHIKOSHI, H; TAKEUCHI, O; MIYASHITA, T; KUWANA, T; KISHIKAWA, K. *Development of Composite Cold Pellet for Silico-manganese Production*. 105th ISIJ Meeting. Tokyo, 1983.
- 6 BERG, K. L. and OLSEN, S. E. Kinetics of Manganese Ore Reduction by Carbon Monoxide. Metall. Mater. Trans. B, Vol 31B. p477-490. 2000.
- 7 FARIA, G. L; JANNOTTI, N; ARAUJO, F. G. da S. *Decrepitation behavior of manganese lump ores*. International Journal of Mineral Processing. v. 102, p. 150-155, 2012.
- 8 FARIA, G. L; REIS, E. L; JANNOTTI N; ARAUJO, F. G. da S. *Estudo Quantitativo de Decomposição Térmica dos Principais Produtos Granulados de Minério de Manganês do Brasil*. Anais do 67^o Congresso Anual da ABM. Rio de Janeiro. 2012.
- 9 WANG, M. and SUNDMAN B. *Thermodynamic Assessment of the Mn-O System*. Metall. Trans. B. Vol 23B. p821-831. 1992.
- 10 FARIA, G. L; VIANNA, N. C. S; JANNOTTI N; VIEIRA C. B; ARAUJO, F. G. S. *Decrepitation of Brazilian Manganese Lump Ores*. The Twelfth International Ferroalloys Congress - INFACON XII. Helsink. 2010.
- 11 ZAKI, M. I; HASAN, M. A; PASUPULETY, L. e KUMARI, K. *Thermochemistry of manganese oxides in reactive gas atmospheres: Probing Redox Composition in the Decomposition Course $MnO_2 \rightarrow MnO$* . Thermochemica Acta 303. p171-181. 1997.