

# INFLUÊNCIA DA DOSAGEM DE CARVÃO NA QUALIDADE DAS PELOTAS QUEIMADAS<sup>1</sup>

Maurício Cota Fonseca<sup>2</sup>  
Heidy Oliveira Ferreira<sup>3</sup>  
Maurício Marcos Otaviano<sup>4</sup>  
Vinícius Perin<sup>5</sup>

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo determinar a dosagem ideal de carbono em pelotas de minério de ferro, visando incrementar o aporte térmico na etapa de queima sem que haja prejuízos nas propriedades físicas e metalúrgicas das pelotas queimadas. O processo de queima das pelotas de minério de ferro requer a utilização de óleo combustível para alcançar a temperatura necessária para promover as reações de escórias e óxidos de ferro, e carvão mineral (antracito) moído à mistura a ser aglomerada, garantindo melhor aproveitamento térmico no interior das pelotas. Este trabalho avaliou as fases formadas em decorrência da quantidade de carbono adicionado e como tais compostos afetam, física e metalurgicamente, o produto final da queima. A partir dos resultados obtidos estabeleceu-se uma faixa de dosagem de carbono que maximize a utilização deste insumo sem comprometimento da qualidade do produto Samarco.

**Palavras-chave:** Aglomeração; Minério de ferro; Carvão; Qualidade.

## COAL DOSAGE INFLUENCE ON FIRED PELLETS QUALITY

### Abstract

This current study aims to determine the optimal dosage of carbon in iron ore pellets, to increase the heat input in the stage of firing without any loss in physical and metallurgical properties of fired pellets. The iron ore pellets firing process requires the use of fuel oil to reach the necessary temperature to promote the reaction of slag and iron oxides, and the use of coal (anthracite) in the mixture to be agglomerated, ensuring better heating inside the pellets. This study evaluated the phases formed due to the amount of carbon added, and how such compounds affect physical and metallurgical qualities of the final product. From the results obtained it was established a range of carbon dosage that maximize the use of this input without affect the quality of the product Samarco.

**Key words:** Agglomeration; Iron ore; Coal; Quality.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalurgista, Engenheiro de Processo Sênior da Samarco Mineração S/A, Unidade de Ponta Ubu, ES.

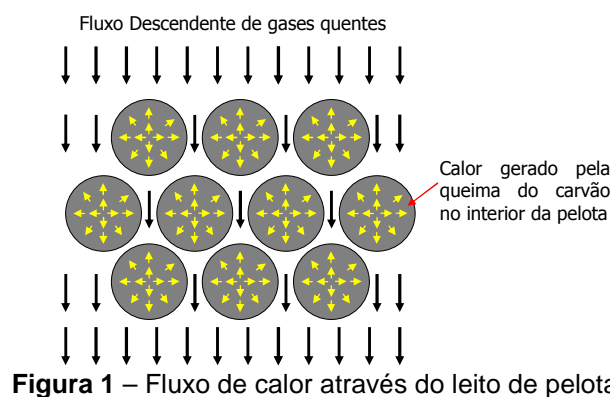
<sup>3</sup> Técnico Metalurgista, Técnico de Processo da Gerência de Engenharia de Processo e Automação da Samarco Mineração S/A, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Especialista Técnico de Produto Sênior da Samarco Mineração S/A, Unidade de Ponta Ubu, ES.

<sup>5</sup> Técnico Metalurgista, Técnico de Processo da Gerência de Engenharia de Processo e Automação da Samarco Mineração S/A, Unidade de Ponta Ubu, ES.

# 1 INTRODUÇÃO

No processo de pelletização, uma das etapas mais importantes do processo é o endurecimento das pelotas de minério de ferro. Especificamente na etapa de queima as pelotas passam por um fluxo gasoso com elevados níveis de temperatura (da ordem de 1.340°C). Para atingir estes níveis de temperatura são utilizados dois combustíveis: o óleo combustível e o carvão mineral (antracito). O calor gerado pela combustão do óleo na zona de queima aumenta a temperatura do gás aquecido, resultado do resfriamento das pelotas, que será transferido ao leito. As partículas finas de carvão, distribuídas no interior das pelotas, ao atingirem a temperatura de reação entram em combustão, gerando calor do interior para fora das pelotas, como pode ser visto na Figura 1.



Parte do calor envolvido no processo de queima é utilizado nas reações químicas entre os constituintes contidos no minério, no calcário e na bentonita, que propiciam o endurecimento das pelotas através da sinterização das partículas de minério de ferro e das reações de escorificação envolvendo componentes de ganga ácida e básica, as quais conferem às pelotas alta resistência mecânica e características metalúrgicas apropriadas para serem transportadas do pátio de estocagem da Samarco até os clientes. As ligações que se estabelecem entre as partículas são diretamente influenciadas pela temperatura, permanência da carga na temperatura máxima e natureza da atmosfera do forno.

A Samarco nos últimos anos priorizou o aumento da dosagem de carvão, em consequência o teor de carbono na mistura, por dois motivos:

- substituir o óleo combustível por um energético mais barato; e
- aumentar a temperatura principalmente na camada inferior do leito de pelotas. A queima do óleo é realizada na parte superior do leito e um aumento da temperatura nesta região poderia levar a fusão da parte superior, impermeabilizando o leito. A adição do carvão na mistura favorece a diminuição do gradiente de temperatura entre as pelotas situadas em diferentes partes do leito.

Um dos principais limitantes para o aumento do carvão na mistura a ser aglomerada é a queda da resistência à compressão das pelotas queimadas, o que levou a uma regra prática: “a dosagem de carvão é uma função da resistência à compressão das pelotas queimadas”. Ou seja, se os resultados de resistência à compressão estiverem acima da meta, aumenta-se a dosagem de carvão. Entretanto, surgiu uma preocupação sobre o efeito deste aumento de carvão na qualidade metalúrgica das pelotas, fato antes não estudado. Este trabalho avaliou as

fases formadas em decorrência da dosagem de carvão, e conseqüentemente da quantidade de carbono adicionado, e como estes compostos afetam a qualidade metalúrgica das pelotas.

## 2 METODOLOGIA

Para a realização dos testes em *pot grate*, utilizou-se duas amostras de *pellet feed* coletadas na linha de produção. A primeira amostra é composta por um *pellet feed* de baixa sílica para a realização dos estudos em pelotas de redução direta, e a segunda amostra é composta por um *pellet feed* com sílica normal, para a realização dos estudos em pelotas para alto-forno.

Também foram coletadas na planta industrial amostras de calcário, carvão, aglomerante orgânico e bentonita, as quais foram utilizadas em todas as etapas do estudo.

As misturas preparadas objetivaram a composição química padrão para ambos os tipos de pelotas estudados. Utilizou-se aglomerante orgânico nas pelotas de redução direta e bentonita nas pelotas de alto-forno.

Foram preparadas 6 misturas, modificando-se apenas o teor de carbono em relação ao teor padrão utilizado.

*Dosagem Padrão*    + 7,5%    +15,0%    +22,5%    +30,0%    +37,5%

Na etapa de queima foi utilizado o perfil térmico de queima da usina de pelotização 01, com um ritmo de produção de 7 milhões de toneladas por ano. O único parâmetro modificado em todas as queimas foi a dosagem de carvão na mistura.

Nas pelotas produzidas foram realizadas análises químicas, físicas e microscópicas (testes comuns nos dois tipos de pelota).

As análises químicas foram realizadas para todos os tipos de pelotas produzidas, bem como na análise dos insumos utilizados.

Para entendimento dos fenômenos que ocorrem na estrutura da pelota realizou-se análises macroscópicas e microscópicas (microscopia óptica e análise em MEV com utilização de EDS (realizadas na UFMG) para os diversos tipos de pelotas produzidas).

Os dois testes físicos realizados foram o índice de tamboramento (norma ISO 3271<sup>(2)</sup>) e a medição da resistência á compressão (norma ISO 4700<sup>(3)</sup>).

As análises metalúrgicas das pelotas são diferenciadas, de acordo com o tipo de produto. Para pelotas de redução direta utilizou-se a norma da ISO 11257<sup>(4)</sup> / ISO 11258<sup>(5)</sup> para avaliação do grau de metalização e a degradação das pelotas de minério de ferro durante o processo de redução.

Para pelotas alto-forno utilizou-se a norma ISO/DIS 13930<sup>(6)</sup> - Degradação Dinâmica a Baixa Temperatura (LTD), que simula a região superior dos altos fornos, onde a atmosfera tem baixo potencial reductor e a temperatura é baixa, se a desintegração for acentuada o reator terá a permeabilidade reduzida, comprometendo a produtividade. A amostra neste teste é submetida a ações de tamboramento, choque térmico e redução em atmosferas de baixo potencial reductor. Durante a redução, ocorre aumento do volume das pelotas devido à transformação da hematita (estrutura hexagonal compacta HC) em magnetita (estrutura cúbica de face centrada CFC), acompanhada de uma geração de finos, que afetarão a permeabilidade da carga e o escoamento gasoso.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra a análise do carvão mineral utilizado neste estudo.

**Tabela 1** – Caracterização do carvão mineral utilizado nos testes

Cfixo	Cinzas	M.Voláteis			S	PCI	
70,0%	18,2%	11,8%			1,3%	6300 kcal/kg	
Cinzas	FeT	FeO	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	3,0%	4,3%	4,7%	37,1%	11,3%	23,9%	

Na Tabela 2 estão caracterizados os dois tipos de concentrados utilizados.

**Tabela 2** – Caracterização das amostras de pellet feed utilizadas nos testes

Caracterização do Pellet Feed		
	Sílica Normal	Sílica Baixa
FeT	66.89%	67.36%
SiO <sub>2</sub>	1.37%	1.10%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37%	0.34%
PPC	2.31%	2.14%
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	2080	2006
% - 325#	89.0%	87.4%

A Tabela 3 mostra as análises químicas realizadas para os dois tipos de pelotas produzidas com diferentes dosagens de carvão, e conseqüentemente diferentes teores de carbono na mistura. Em ambos os casos, nota-se uma tendência do aumento do teor de FeO com o aumento da dosagem de carvão. O aumento do teor de FeO com o aumento da dosagem de carvão foi observado até uma dosagem 22,5% acima do padrão. Este fato era esperado devido ao excesso de energia fornecida à pelota durante a queima, o que favorece a formação de magnetita. A partir desta dosagem, acredita-se que ocorrem duas reações concorrentes: redução da hematita versus oxidação da magnetita (termodinamicamente favorável, mas cineticamente lenta). É possível que a liberação de calor proveniente da queima do carvão já não seja mais suficiente para “favorecer” a redução de hematita frente à oxidação da magnetita, para dosagens superiores a 22,5% em relação ao padrão.

**Tabela 3** – Análise química das pelotas queimadas produzidas em *pot grate*

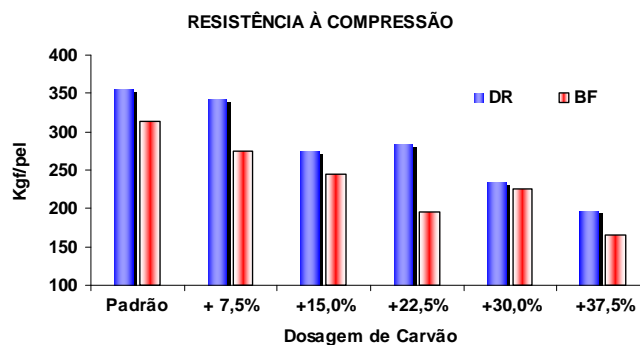
Pelota	DR						BF					
	Padrão	+ 7,5%	+15,0%	+22,5%	+30,0%	+37,5%	Padrão	+ 7,5%	+15,0%	+22,5%	+30,0%	+37,5%
FeT	67.98%	67.99%	68.08%	68.06%	67.98%	68.08%	67.51%	67.62%	67.47%	67.60%	67.53%	67.67%
FeO	0.51%	0.92%	1.88%	2.11%	1.58%	2.06%	1.06%	1.45%	1.60%	2.20%	1.76%	2.15%
SiO <sub>2</sub>	1.25%	1.28%	1.25%	1.29%	1.29%	1.27%	1.83%	1.81%	1.93%	1.85%	1.88%	1.78%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.41%	0.42%	0.42%	0.42%	0.44%	0.44%	0.50%	0.49%	0.53%	0.50%	0.52%	0.51%
CaO	0.82%	0.81%	0.82%	0.84%	0.86%	0.80%	0.87%	0.79%	0.83%	0.81%	0.84%	0.79%

A experiência da Samarco nos mostra que um aumento da dosagem de carvão na mistura a ser sinterizada no forno de pelotização afeta a qualidade física

das pelotas queimadas (resistência à compressão e tamboramento), independente do tipo de produto. Três fatores principais colaboram para esta redução:

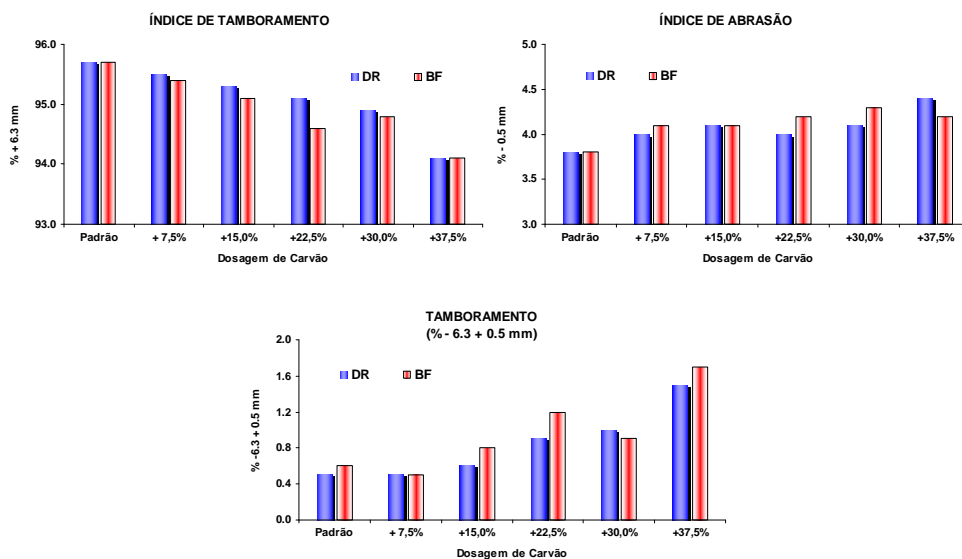
- as partículas de carvão presentes na mistura são consumidas pela queima, deixando poros na estrutura, reduzindo assim a resistência da mesma à compressão;
- o excesso de energia térmica favorece a formação de magnetita, e devido à mudança de estrutura cristalina, ocorre a formação de trincas; e
- o excesso de energia favorece o crescimento das partículas de minério, e a estrutura final fica susceptível a elevadas tensões internas, enfraquecendo a mesma.

A resistência à compressão reduz com o aumento da dosagem de carvão para ambos os tipos de pelota, como mostrado no gráfico da Figura 2.



**Figura 2:** Evolução da resistência à compressão com o aumento da dosagem de carvão.

O teste de tamboramento é realizado para simular a geração de finos de abrasão durante o transporte e manuseio do produto até o reator do cliente. Os gráficos da Figura 3 ilustram o comportamento do índice de tamboramento (% + 6,3 mm), do índice de abrasão (% - 0,5 mm) e da geração de pedaços (% - 6,3 + 0,5 mm) durante o teste de tamboramento para os dois tipos de pelotas e para as diversas dosagens de carvão utilizadas.

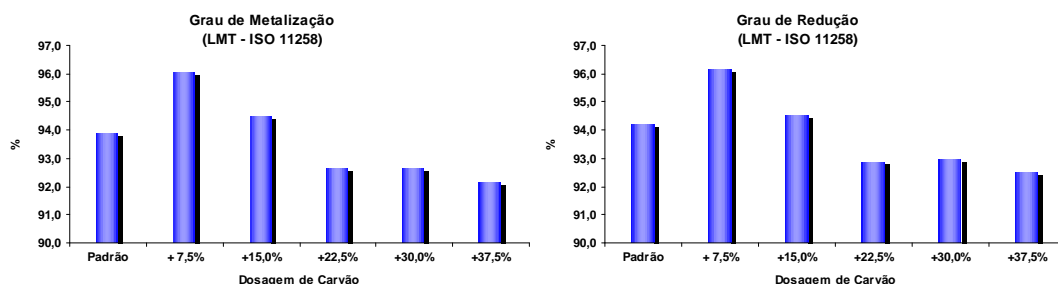


**Figura 3:** Evolução do índice de tamboramento, da abrasão e da geração de pedaços com o aumento da dosagem de carvão.

O aumento da dosagem de carvão leva a uma redução do índice de tamboramento das pelotas queimadas, entretanto o aumento do índice de abrasão não foi proporcional à redução do índice de tamboramento em função da geração de pedaços, evidenciando que o aumento da dosagem de carvão deixou as pelotas mais frágeis quanto ao manuseio. Em outras palavras, as pelotas quebraram durante o teste gerando pedaços menores, que podem representar um problema de permeabilidade e conseqüentemente produtividade no reator do cliente.

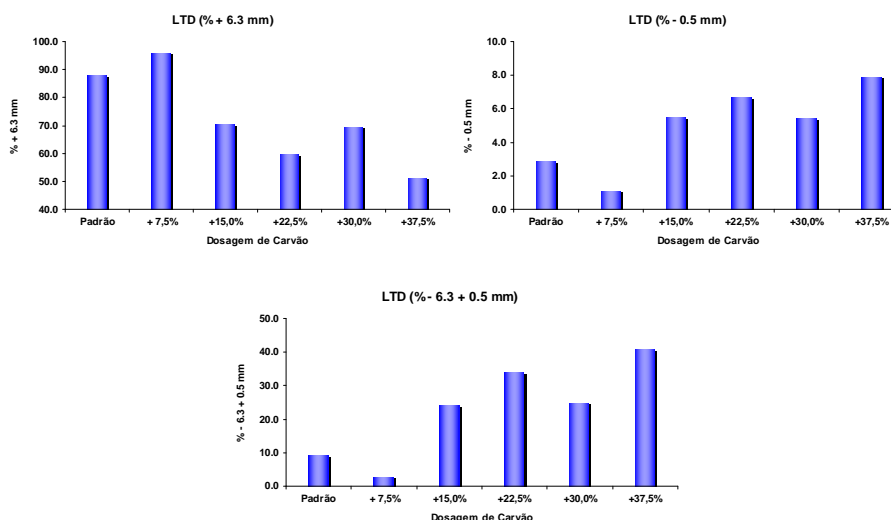
Inicialmente acreditava-se que o aumento da dosagem de carvão levaria a uma microestrutura porosa, o que favoreceria a redução do material no reator do cliente. Para esclarecer esta dúvida foram realizados testes para avaliar a qualidade metalúrgica das pelotas de redução direta (DR) e de alto-forno (BF), para as dosagens de carvão aplicadas.

Para as pelotas de redução direta avaliou-se o grau de metalização e o grau de redução das pelotas (ISO 11258<sup>(5)</sup>). Os gráficos da figura 4 mostram a evolução destas propriedades com o aumento do carvão. O aumento da dosagem de carvão padrão em 7,5% levou a um aumento do grau de metalização e do grau de redução das pelotas. Entretanto, para maiores dosagens de carvão, ao contrário do que se imaginava, ocorreu uma redução do grau de metalização e do grau de redução das pelotas de redução direta.



**Figura 4:** Evolução do grau de metalização e do grau de redução o aumento da dosagem de carvão.

Para pelotas alto-forno avaliou-se o índice de LTD (ISO/DIS 13930<sup>(6)</sup>) das pelotas. Os gráficos da Figura 5 ilustram o comportamento desta variável em função do aumento da dosagem de carvão nas pelotas.



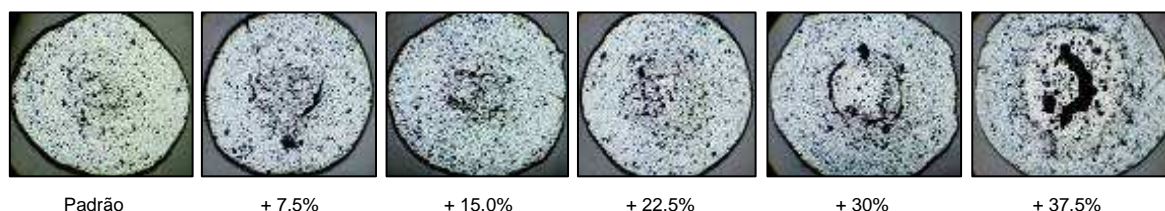
**Figura 5:** Evolução do LTD com o aumento da dosagem de carvão.

Com o aumento do percentual de carvão na mistura ocorreu uma maior degradação das pelotas durante a redução. Após a redução o percentual de pelotas com granulometria acima de 6,3 mm reduziu. O índice de LTD reduziu em função do aumento das pelotas entre 6,3 mm e 0,5 mm (geração excessiva de pedaços durante a redução).

Uma maior degradação das pelotas durante a redução, evidenciada neste trabalho pelo índice de LTD, compromete a operação do alto-forno. Os finos gerados afetarão a permeabilidade do reator, afetando principalmente o *coke rate*. As pelotas deveriam ser reduzidas pelo gás redutor (redução indireta), e quando isto não ocorre, as mesmas são reduzidas diretamente pelo carbono, aumentando o consumo de coque no alto forno.

Para entendimento dos fenômenos que ocorrem na estrutura da pelota com o aumento da dosagem de carvão e como tais modificações estruturais afetam a qualidade física e metalúrgica das pelotas, foram realizadas análises macroscópicas e microscópicas das pelotas (Samarco), esta segunda associada a uma análise de imagem utilizando o programa Leica Q-win, nas quais foram observadas nas pelotas uma quantidade relevante de magnetita e a estrutura das pelotas denotava regiões que aparentemente passaram por uma fusão seguida de uma solidificação. Para a confirmação desta fusão no interior das pelotas foi necessário utilizar outras técnicas de análise, como a difração de raios-X e a análise da estrutura em MEV com utilização de EDS (UFMG).

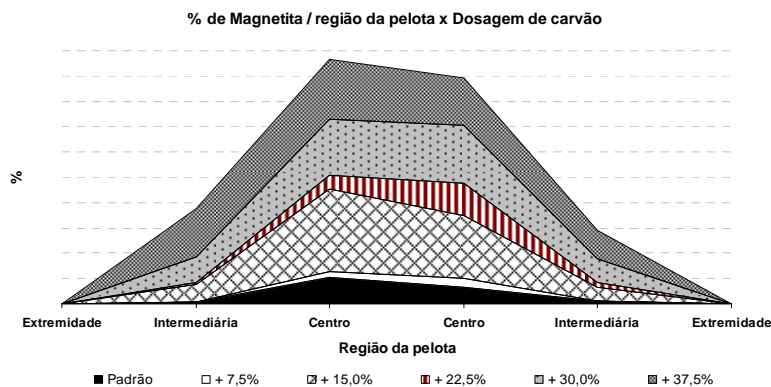
Na Figura 6 são apresentadas as fotos das pelotas DR produzidas para as diversas dosagens de carvão (carbono na mistura), analisadas com o auxílio de um microscópio estereoscópico, com um aumento de 15x. Percebe-se que para a amostra com a dosagem padrão de carvão, a porosidade está mais distribuída ao longo do diâmetro da pelota, entretanto no centro a porosidade é maior. A medida que aumenta-se a dosagem, ocorre a formação de um espaço vazio na região central das pelotas. Nesta região percebe-se visualmente que ocorreu uma fusão do material.



**Figura 6** – Imagens em lupa (15x) das pelotas produzidas com diversas dosagens de carvão.

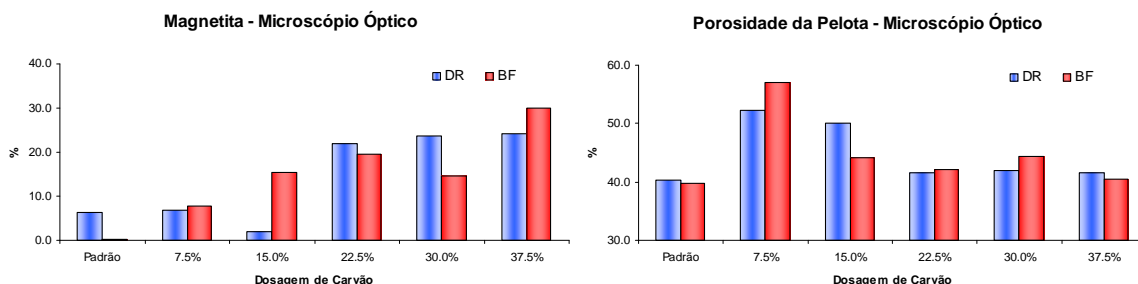
Durante a etapa de endurecimento das pelotas de minério de ferro, o calor é transferido da superfície para o centro, e a transferência de calor na superfície ocorre mais rapidamente do que no centro da pelota. Existe portanto um gradiente de temperatura entre o centro e a superfície da pelota. A reação no núcleo da pelota é mais lenta, tanto no aquecimento quanto no resfriamento das pelotas e a presença de carvão na pelota favorece o aumento de temperatura na região central das pelotas e conseqüentemente a reação, porém um excesso de dosagem pode levar a uma fusão nesta região. A avaliação microscópica da pelota mostra que as pelotas produzidas com maiores dosagens de carvão, apresentam magnetita na parte intermediária das pelotas e não somente no centro. O desenho da Figura 7 deixa evidente esta afirmação.





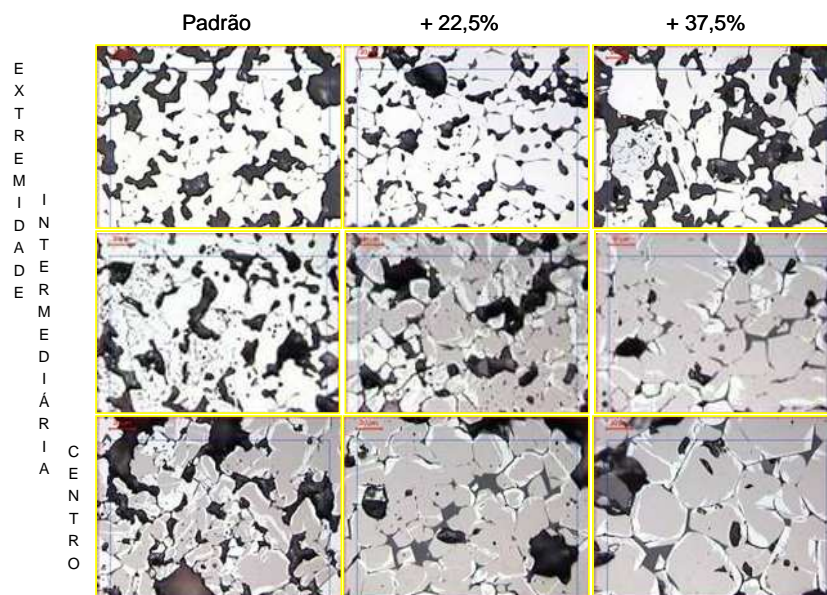
**Figura 7** – Ocorrência de magnetita nas pelotas DR em função da dosagem de carvão.

Quanto à porosidade, a mesma análise mostrou que ocorreu um aumento da porosidade das pelotas (DR e BF) para uma dosagem até 15% acima da dosagem padrão. A partir desta dosagem ocorreu uma redução da porosidade, como mostrado no gráfico da Figura 8.



**Figura 8** – Formação de magnetita e evolução da porosidade com a dosagem de carvão.

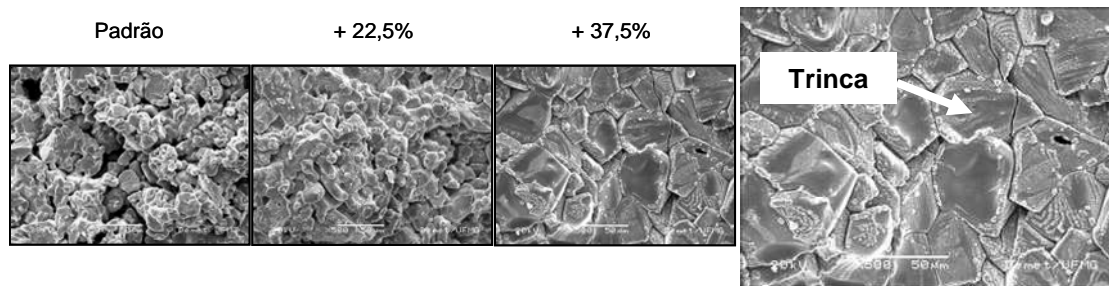
Nas imagens da Figura 9 (microscopia óptica) nota-se que em função do aumento da energia térmica com o aumento da dosagem de carvão, as partículas aumentaram de tamanho e a formação de magnetita se intensificou em regiões distantes do centro da pelota. Outro fato é que a porosidade reduziu (análise microscópica).



**Figura 9** – Evolução da microestrutura das pelotas DR com a dosagem de carvão.

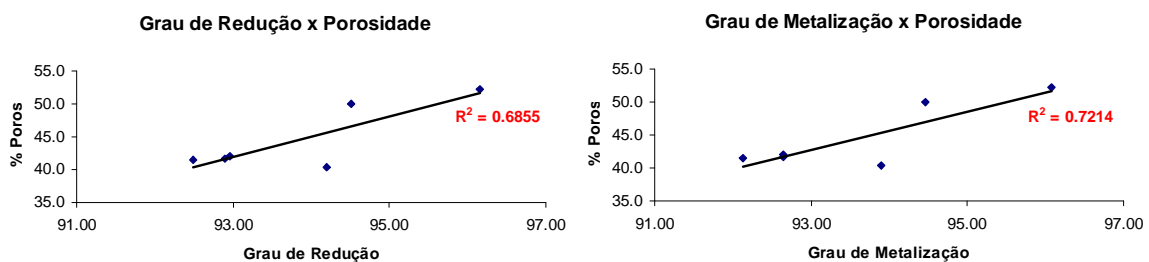


A Figura 10 mostra a análise em MEV da microestrutura no centro das pelotas para 3 dosagens diferentes de carvão. O maior crescimento das partículas pode levar à formação de trincas em função das elevadas tensões internas.



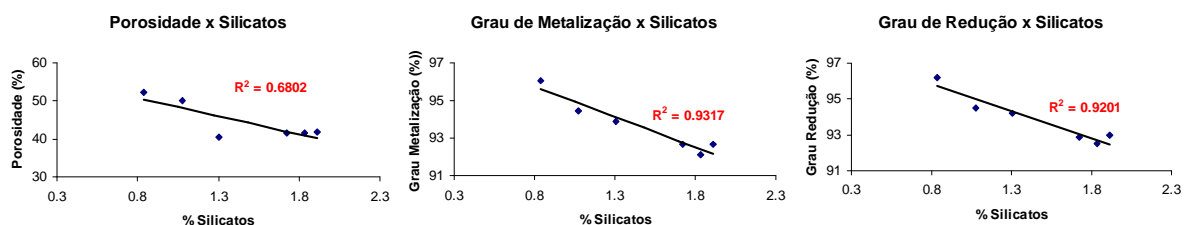
**Figura 10** – Análise em MEV da região central das pelotas DR produzidas com diversas dosagens de carvão - Aumento 500x.

Utilizando a análise das microestruturas correlacionou-se a porosidade medida em microscópio óptico com o grau de redução e com o grau de metalização, mostradas na Figura 11. O aumento da dosagem de carvão, leva a uma redução da porosidade que é explicada pelo aumento da reação entre as partículas. Desta forma, o aumento excessivo de carvão leva a uma redução do grau de metalização e do grau de redução das pelotas DR.



**Figura 11** – Correlação entre o grau de redução e o grau de metalização com a porosidade (medida em microscópio óptico) da pelota.

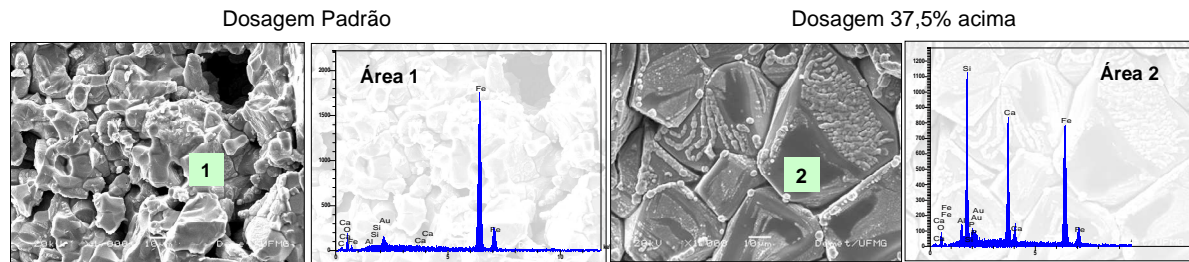
À medida que a temperatura aumenta, a sinterização evolui e ocorre uma maior formação de escória com a ocorrência de fase líquida, a qual preenche os poros e/ou os canais de interligação entre eles, reduzindo assim a porosidade da pelota. Estas fases líquidas podem ser associadas à formação de silicatos. O gráfico da Figura 12 mostra a correlação entre o % de silicatos nas pelotas e o grau de redução e o grau de metalização.



**Figura 12** – Relação entre a porosidade, o grau de metalização e o grau de redução das pelotas com a quantidade de silicatos formados.

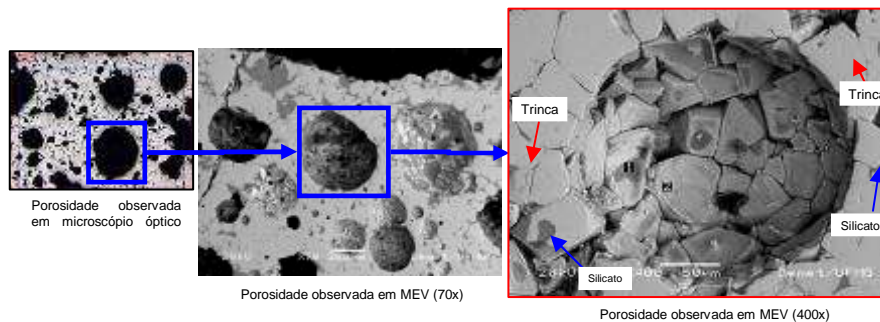
A análise química qualitativa realizada pelo MEV sugere a formação de um composto próximo à Fayalita (Figura 13). Na amostra com a dosagem padrão

identificou-se predominantemente a presença de Fe (área 1), e na amostra com a dosagem 37,5% acima da padrão (área 2), apareceu um composto com Fe, Si e Ca.



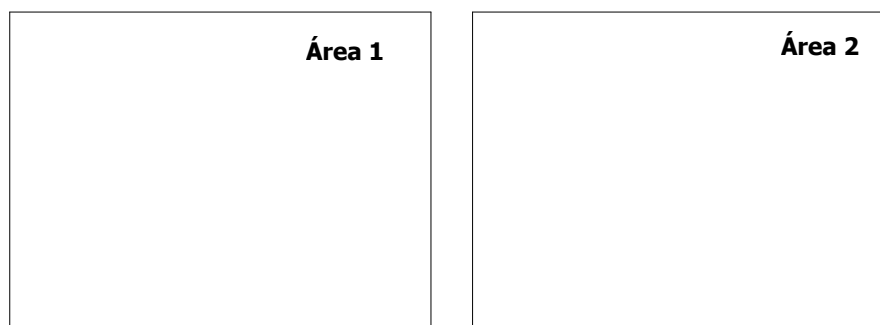
**Figura 13** – Análise em MEV e os espectros das regiões (EDS).

Normalmente é analisada a microestrutura das partículas de minério, e neste trabalho foi investigado o interior dos poros. A Figura 14 mostra o interior de um poro. Com o aumento de 400x verificou-se um poro arredondado no centro da amostra, com os grãos bem juntos. Observam-se micro trincas dentro dos grãos e presença de silicatos ao redor dos mesmos.



**Figura 14** – Imagem em MEV do interior de um poro da microestrutura para dosagem + 37,5%.

No interior do poro foram analisados dois pontos da microestrutura nos quais existiam duas fases diferentes (região 1 e 2), que foram analisadas via EDS e o resultado é mostrado na Figura 15.



**Figura 15** – Análise em EDS de 2 regiões distintas do poro.

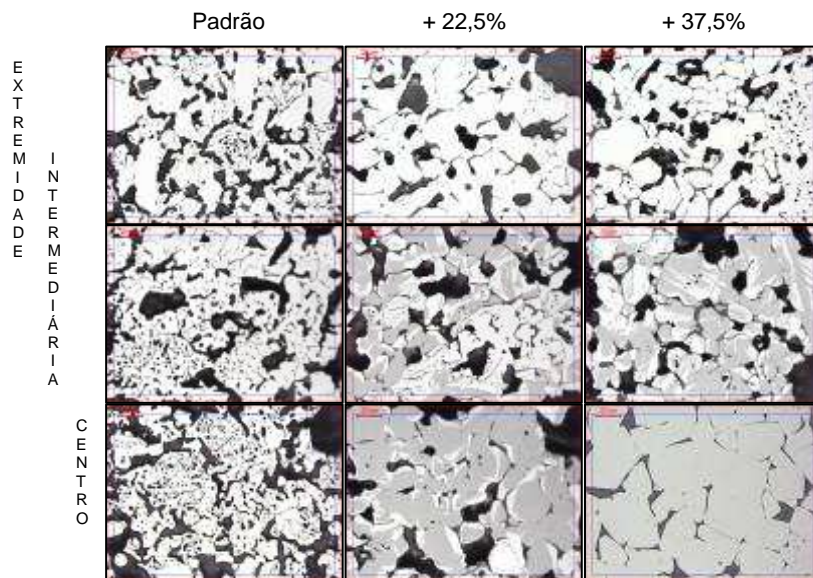
A área 1 chama a atenção por ter um silicato dentro da partícula de minério, e não entre as partículas. A energia fornecida foi elevada a ponto de favorecer a reação do silicato com o óxido de ferro, formando uma terceira fase. Esta fase é composta principalmente por Sílica, Cálcio e Ferro, distinguindo-se, portanto das escórias normalmente encontradas nas pelotas e descritas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Principais compostos encontrados nas pelotas de minério de ferro<sup>(7)</sup>

$\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	Ferrito de Cálcio
$\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{MgO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	Ferrito de magnésio
$2\text{MgO} + \text{SiO}_2 = 2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$	Silicato de Magnésio
$2\text{CaO} + \text{SiO}_2 = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	Silicato de Cálcio
$3\text{SiO}_2 + 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 2\text{CO} = 3(2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2) + \text{CO}_2$	Fayalita

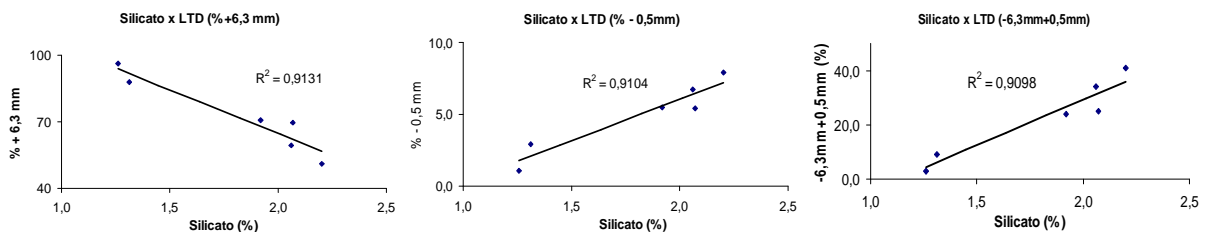
A formação de compostos de difícil redução,<sup>(8)</sup> como a fayalita ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ) por exemplo, que além de bloquear os poros afetando a difusão gasosa e cobrir a superfície dos óxidos de ferro dificultando a sua redução, também diminui a atividade química da wustita, exigindo o aumento do potencial redutor necessário para a redução de “FeO” para Fe.

Para as pelotas de alto-forno temos as imagens da Figura 16 (microscopia óptica). Da mesma forma que ocorreu com as pelotas DR nota-se que em função do aumento da energia térmica com o aumento da dosagem de carvão, as partículas aumentaram de tamanho e a formação de magnetita se intensificou em regiões distantes do centro da pelota.



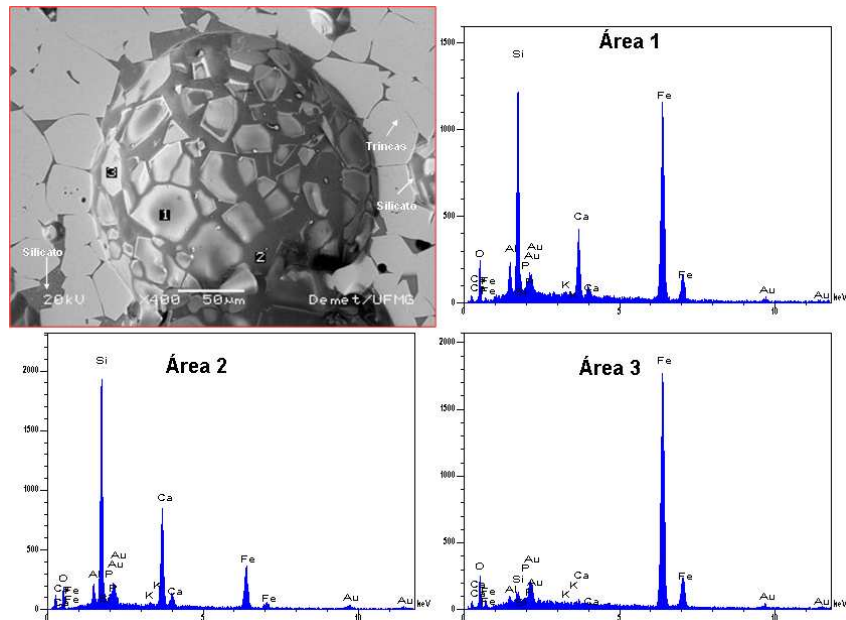
**Figura 16** – Evolução da microestrutura das pelotas BF com a dosagem de carvão.

Para as pelotas de alto-forno, correlacionando a análise da microestrutura com a qualidade metalúrgica, podemos observar nos gráficos da Figura 17 que a formação dos silicatos é influenciada pela dosagem do carvão, pois quanto maior a quantidade de energia fornecida ao sistema, maior é a formação de escória.



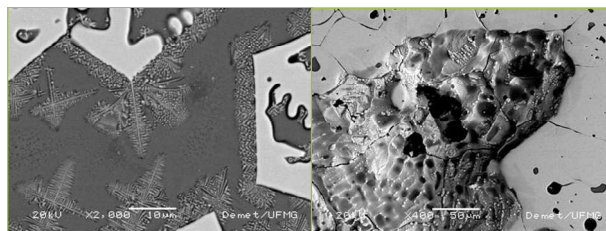
**Figura 17** – Correlação entre a formação de silicatos e o índice de LTD.

Da mesma forma que foi feito para pelotas DR, foram analisados os poros formados nas pelotas BF. A Figura mostra um poro arredondado, do centro da amostra. Observam-se micro-trincas dentro dos grãos e presença de silicatos ao redor dos mesmos. O poro parece estar completamente fechado, sem espaço entre as partículas. No interior do poro há uma outra fase 1 que foi analisada via EDS e o resultado é mostrado a seguir, na Figura 18.



**Figura 18** – MEV de um poro da pelota BF e análise em EDS de 3 regiões distintas do mesmo.

Na microscopia óptica identificou-se uma estrutura muito similar a dendritas quando utilizadas elevadas dosagens de carvão, que saem do grão de hematita em direção à fase escória. No MEV foi possível observar estas estruturas em aumentos maiores e comprovar que realmente se tratavam de dendritas. Estas dendritas comprovam que ocorreu fusão nesta região da pelota, seguida de uma solidificação. Na Figura 19 temos a imagem das dendritas identificadas e a imagem de um poro dentro da pelota. Provavelmente tratava-se de um carvão que se queimou e deixou o vazio em seu lugar.



**Figura 19** – Imagens em MEV das dendritas na pelota BF e da superfície do poro na pelota BF.

#### 4 CONCLUSÕES

- Os testes em laboratório mostraram que para ambos os tipos de pelotas testados uma dosagem de carvão acima de 22,5% do padrão compromete a qualidade física e metalúrgica das pelotas. Para as pelotas DR ocorreu uma diminuição do grau de metalização e da redutibilidade e para as pelotas BF

ocorreu uma redução do LTD, com aumento de degradação durante a redução.

- Ao contrário do que se pensava o aumento da dosagem de carvão não aumenta a porosidade das pelotas, mas sim fornece energia suficiente para que ocorra uma fusão no interior das pelotas, evidenciada neste trabalho pela identificação de dendritas na estrutura das pelotas.
- O aumento da dosagem de carvão em excesso favorece o crescimento dos grãos de minério, aumentando as tensões internas e favorecendo a formação de trincas, que contribuirão para a degradação do produto durante o manuseio e o processo de redução.

## Agradecimento

Agradeço a todos que participaram deste trabalho em todos os momentos de sua elaboração, em especial aos empregados da Gerência de Engenharia de Processo e Automação da Samarco Mineração, em Ponta ubu.

## REFERÊNCIAS

- 1 ARAÚJO, D. R. *Influência das Condições de Queima na Liberação de Enxofre durante Redução de Pelotas de Minério de Ferro*. 1997. 257 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – UFMG, 1997.
- 2 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 3271**: Iron ore pellets for blast furnace and direct reduction feedstocks — Determination of the crushing strength, Third edition, London, September 2007.
- 3 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **BS ISO 4700:2007**: Iron ores - Determination of tumble strength, Third edition, London, November 1995.
- 4 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 11257**: Iron ores — Determination of disintegration and metallization of feedstock for direct reduction by gas reforming processes, First edition, London, July 1998.
- 5 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 11258**: Iron ores — Determination of reducibility and metallization of feedstock for direct reduction by gas reforming processes, First edition, London, August 1999.
- 6 INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, **ISO 13930**: Iron ores — Dynamic test for low-temperature reduction-disintegration, First edition, London, August 1998.
- 7 MEYER, K. *Pelletizing of Iron Ore*. 1ª Edição Düsseldorf, Alemanha : Springer-Verlag Berlin, 1980.
- 8 **Fundamentos Físico-químicos da Auto-redução** – PUC – RIO – Certificação Digital Nº 0025043/CA. Disponível em: <[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/5000046562\\_02\\_cap\\_04.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/5000046562_02_cap_04.pdf)>.