

ESTUDOS MINERALÓGICOS PARA CONHECER A LOCALIZAÇÃO DO FÓSFORO EM PELOTA ALTO-FORNO DE MINÉRIO DE FERRO⁽¹⁾

Maria Aparecida Corrêa de Araujo⁽²⁾
Paulo Roberto Gomes Brandão⁽³⁾

RESUMO

Buscou-se conhecer a mineralogia e a microestrutura de um tipo de pelota produzida pela Samarco Mineração S.A., a partir de um concentrado de minério mais fosforoso da mina de Alegria, Mariana, MG, e identificar as fases portadoras do fósforo, bem como seus teores, neste semi-elaborado.

As análises por microscopia óptica (auxiliadas por análises químicas e por difração de raios-X) permitiram identificar as seguintes fases mineralógicas: hematita primária (majoritária); magnetita secundária; silicatos de cálcio amorfos e alguns grãos de sílica livre. Os principais tipos de ligações observados entre os grãos de hematita foram a ligação direta ou coalescência (hematita-hematita), ou através de filmes e bolsas de silicatos. A seguir, foi estudada a localização preferencial do P, com um microanalisador de raios-X EDS acoplado a um MEV. O fósforo foi localizado exclusivamente na fases silicatada amorfa, em teor máximo de 1,80% de P; além disto, concluiu-se que a sua concentração é insignificante nas fases portadoras de ferro: hematita e magnetita.

- (1) Trabalho a ser apresentado no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização, Ouro Preto, MG, 14 a 17 de outubro de 1996.
(2) Engenheira de Minas, M.Sc., Assistente Técnico, Samarco Mineração S.A.
(3) Ph.D., Professor Titular, Departamento de Engenharia de Minas, UFMG

INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de uso de minério de ferro e seus produtos na fabricação de bens de consumo mostra a importância deste seguimento, para a economia nacional e mundial. Desta forma, as empresas buscam cada vez mais o aprimoramento dos seus produtos para se manterem atuantes no mercado.

Dentre os limitantes de produção/comercialização dos minérios de ferro, o fósforo, apresenta-se como um elemento que tem sido bastante pesquisado em função dos efeitos deletérios da sua presença nos aços. Várias pesquisas são desenvolvidas em busca de técnicas que viabilizem a redução do teor desse elemento nos concentrados e semi-elaborados de ferro. Os resultados apontam tendências positivas na utilização de processos hidrometalúrgicos, mas ainda existem muitas questões a serem investigadas. [1,2,3]

Um dos principais pontos que têm sido discutidos, é a forma de ocorrência/associação do fósforo nos minérios de ferro. A sua associação com os minerais portadores de ferro, e preferencialmente com os hidróxidos de ferro (goethitas/limonitas), é a hipótese mais provável, principalmente quando são consideradas as jazidas do Quadrilátero Ferrífero. [1,2,3,4]

Neste trabalho, é tratada de maneira qualitativa a caracterização microestrutural de um tipo de pelota de alto-forno, produzida pela Samarco Mineração S.A., e as principais correlações existentes entre o fósforo e as fases formadoras deste semi-elaborado. As pelotas foram produzidas a partir de um minério mais fosforoso da mina de Alegria, Mariana, M.G., dentro de uma pesquisa realizada para redução do teor em fósforo através de processos hidrometalúrgicos. A caracterização mineralógica foi desenvolvida de uma forma que facilitou a compreensão dos resultados obtidos e das associações mineralógicas observadas. As informações da localização preferencial do fósforo em determinadas fases da pelota de alto-forno pesquisada mostram-se relevantes para os estudos de caracterização do fósforo nos minérios de ferro que têm sido desenvolvidos.

2 METODOLOGIA

A amostra de pelotas alto-forno (PAF) estudada foi produzida na Unidade de Ponta Ubu da Samarco Mineração e embora tivesse sido produzida especificamente para os estudos de desfosforização, os procedimentos padrões de produção industrial foram seguidos.

As alíquotas utilizadas para as análises químicas / difração de raios-X e confecção de seções polidas foram criteriosamente coletadas e preparadas para evitar a possibilidade de obtenção de resultados duvidosos.

O trabalho de caracterização foi conduzido numa seqüência que permitiu a interação dos resultados à medida que iam sendo obtidos. As técnicas instrumentais escolhidas foram:

- Análise química quantitativa;
- Difração de raios-X;
- Microscopia óptica;
- Microscopia eletrônica de varredura com sistema de microanálise (espectrômetro de raios-X) por dispersão de energia (EDS) acoplado.

O primeiro passo do trabalho de caracterização foi a definição dos objetivos pretendidos com cada técnica utilizada, que podem ser resumidos da seguinte forma:

- *Análise química quantitativa*: alto potencial para identificação do fósforo aliado ao conhecimento geral da amostra;
- *Difratometria de raios-X (DRX)*: identificar as principais fases cristalinas, em caráter qualitativo;
- *Microscopia óptica*: identificar as principais fases e suas associações e descrever os aspectos microestruturais;
- *MEV-EDS*: principal técnica para a identificação do fósforo, além das análises microquímicas das fases presentes.

As análises químicas foram realizadas em espectroscopia óptica de emissão por plasma de acoplamento indutivo (ICP), sendo que o fósforo sempre foi dosado em duplicata e, em algumas amostras, verificado por via úmida (fotocolorimetria).

As secções foram polidas com água e querosene, para verificação do efeito da água de polimento na microestrutura da pelota.

Análises para determinação do grau de porosidade das amostras não foram realizadas, logo as considerações apresentadas são de caráter qualitativo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Química Quantitativa e Difração de Raios-X

A tabela I apresenta os resultados médios das análises químicas da amostra de pelotas pesquisada.

Tabela I - Resultados de Análise Química - Pelota tipo Alto-Forno

Amostra	Teores Médios (% em peso)						
	FeT	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	Basic. binária
PAF	65.92	2.47	0.608	2.30	0.055	0.051	0.93

FeT → Ferro total

Basicidade binária → relação entre teor de CaO e SiO₂: CaO/SiO₂

As seguintes considerações são feitas, com base nos dados da tabela I [3]:

- O teor de ferro total da pelota é elevado. A verificação da presença de FeO não foi feita em função do fechamento da análise química ter sido satisfatório, além de que, numa análise expedita com ímã de mão, a pelota demonstrou ser fracamente magnética. Logo, o principal mineral portador de ferro é a *hematita*;
- Os teores de cálcio, sílica, alumínio e magnésio estão dentro dos valores normais de pelotas produzidas pela Samarco;
- O fósforo encontrado é relativamente alto, como era o objetivo da produção desta amostra de pelotas, o que veio facilitar a sua detecção com a outra ferramenta instrumental, de grande potencial para identificação desse elemento, que é a microsonda eletrônica;
- A basicidade binária (0.93) encontra-se dentro da faixa (0.90 a 0.95) que indica pelotas com altas qualidades metalúrgicas [5];
- A homogeneidade química desta amostra foi comprovada com as análises em triplicata, que apresentaram resultados praticamente idênticos.

Os resultados obtidos na análise química serviram de base para o início da pesquisa com a difratometria de raios-X, que se mostrou mais uma vez um método ágil e de fácil utilização na identificação de fases cristalinas. Os minerais pesquisados foram os seguintes:

- Hematita Fe_2O_3 (padrão 13-534 do ICDD) [6];
- Magnetita Fe_3O_4 (padrão 19-269 do ICDD);
- Cálcio-Ferrita - tipo CF_2 ou CaFe_4O_7 (padrão 12-145 do ICDD);
- Silicatos de cálcio/fósforo variados.

A *hematita* foi identificada como mineral dominante, o que confirmou ser ela o principal portador de ferro. Basicamente todos os picos diagnósticos, principalmente os de maiores intensidades (100% e 80%), foram observados.

A *magnetita* foi também detectada, mesmo que alguns dos seus picos encontravam-se superpostos com os da hematita; como seus valores são bastante próximos, ocorreu uma maior dificuldade na identificação segura deste mineral (por ex., $\text{Mag}_{100} - 2.53\text{Å}$ com o da $\text{Hem}_{50} - 2.53\text{Å}$).

As *cálcio-ferritas* não foram identificadas em nenhum dos difratogramas, o que não descarta a sua eventual presença, porém em caráter bastante minoritário.

Os *silicatos de cálcio/fósforo*, que são os principais formadores da “escória”, também não foram identificados, em função da baixa ou nenhuma cristalinidade destes constituintes.

Os objetivos propostos para esta fase da caracterização foram atingidos, como era previsto, de forma satisfatória.

Análise Microestrutural

a) Microscopia Óptica (MO)

As investigações ópticas foram realizadas com um microscópio óptico de luz refletida - modelo ORTHOPLAN da Leitz (Leica) e foram fundamentais para o conhecimento microestrutural das pelotas, como um todo, bem como das notáveis associações mineralógicas e das ligações entre os grãos. É importante salientar que estes estudos serviram também de base para a determinação das principais fases portadoras de fósforo, via MEV/EDS.

No decorrer das observações, foram constatadas algumas alterações nas fases silicatadas que poderiam ser provenientes do contato com a água de polimento; sendo assim, decidiu-se confeccionar algumas seções polidas com querosene para confirmação desta idéia inicial [3].

As características microestruturais e físicas das pelotas dependem basicamente dos seguintes fatores [7]:

1. tipo de minério (características físicas e químicas);
2. aditivos (tipo e quantidade);
3. etapas formadoras do processo de queima ou endurecimento das pelotas (tempo e temperatura de queima);
4. processo de resfriamento (tempo e temperatura).

De uma maneira geral, a microestrutura das pelotas é bastante homogênea com um alto grau de porosidade. A microestrutura básica das pelotas é marcada pela presença dominante dos minerais portadores de ferro (*hematita*) e da fase “escória”, formada essencialmente por silicatos; além disso, diferentes tipos de poros foram observados. As principais características das pelotas observadas estão descritas a seguir.

A *hematita* é o mineral dominante (como constatado nas técnicas anteriores), formando a maior parte da microestrutura (figuras 1 e 2). Os grãos apresentaram-se arredondados, equiaxiais, geralmente anédricos, (sem alongamento e forma geométrica definida), localmente subédricos (figura 3), com textura fina. O tamanho dos grãos foi bastante variável, numa faixa de 10 a 50 μm (tamanho médio de 20 μm).

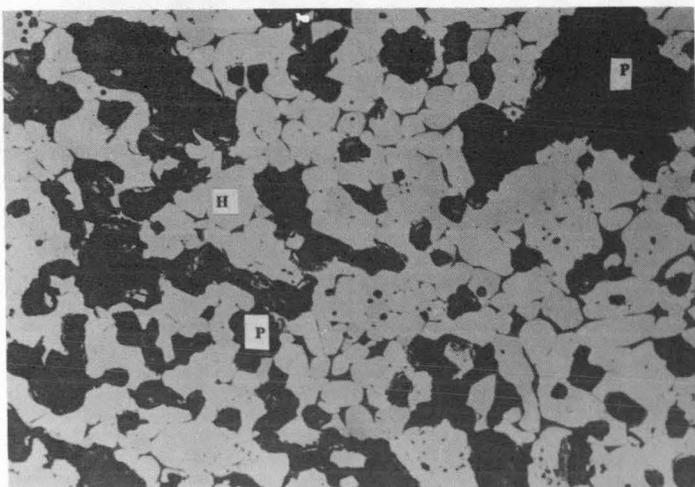
Os tipos de ligações observados entre os cristais de hematita foram basicamente: ligação direta ou coalescência (hematita-hematita) ou através de filmes de silicatos. A figura 2, de maior aumento, facilita a verificação dos tipos de ligações e confirma a predominância da ligação direta.

A *magnetita* foi identificada em proporção bem inferior à da hematita, e preferencialmente em pequenas regiões no núcleo das pelotas; estas observações confirmam os dados obtidos com a análise química e difratométrica. Ocorre em cristais subédricos a euédricos, com tamanhos ligeiramente maiores do que os da hematita (tamanho médio de 30 μm) e localmente podem estar intercrescidos com este mineral. A sua presença pode ser considerada como uma heterogeneidade localizada da microestrutura, originada por condições mais redutoras no interior das pelotas, durante a queima.

A principal forma de ocorrência da “*escória*” foi como uma fase silicatada contínua, e localizada intersticialmente à fase mais abundante (hematita), tanto como bolsas ou em películas fazendo a ligação de grãos vizinhos de hematita. Mais raramente ocorria também como inclusões nos grãos de hematita. A formação básica dessa fase é um silicato de cálcio, variando sua constituição em função dos teores dos outros elementos formadores (alumínio, ferro, magnésio e fósforo). Esta fase foi considerada a de maior interesse para os estudos da localização preferencial do fósforo (figura 3). Ocasionalmente, foram detectadas partículas de sílica não reagidas, envolvidas pela hematita porosa e fina.

As constatações obtidas na difratometria de raios-X sobre a ausência das cálcio-ferritas foram comprovadas nas análises microscópicas, pois as mesmas mostraram-se ausentes ou extremamente raras.

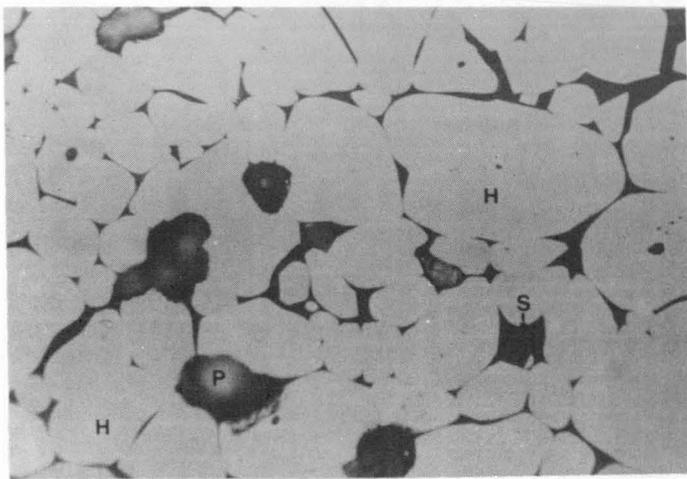
- efeito da água de polimento foi observado na fase silicatada e suas subdivisões e, foi em sua função, que foram preparadas as secções com querosene. Este fenômeno foi denominado de hidratação de uma das fases. Quando as secções polidas com querosene foram analisadas, inicialmente, notou-se uma fase silicatada mais contínua que se subdividia após um rápido ataque (1 a 3 minutos) da secção, com água destilada, seguida de análise imediata no microscópio. Entretanto, esta subdivisão em duas fases, hidratável e não hidratável, foi notada apenas em micro-regiões, certamente mais ricas em cálcio e sempre intimamente associadas. Portanto, a fase silicática altamente predominante é não hidratável, em relação ao teste de ataque pela água destilada. Ambas fases são amorfas ou de muita baixa cristalinidade. Esta conclusão provém do fato de que os silicatos não foram detectados pela DRX, apesar do seu teor estar certamente acima do limite de detecção desta técnica (de 2 a 5 %).



20 μm

Figura 1 Microscopia óptica de luz refletida. Microestrutura típica da pelota.

Legenda: H - hematita; S - fase silicatada não hidratável; P - poro



50 μm

Figura 2 Microscopia óptica de luz refletida. Detalhe, com grãos de hematita coalescidos.

Legenda: H - hematita; S - fase silicatada não hidratável; P - poro.

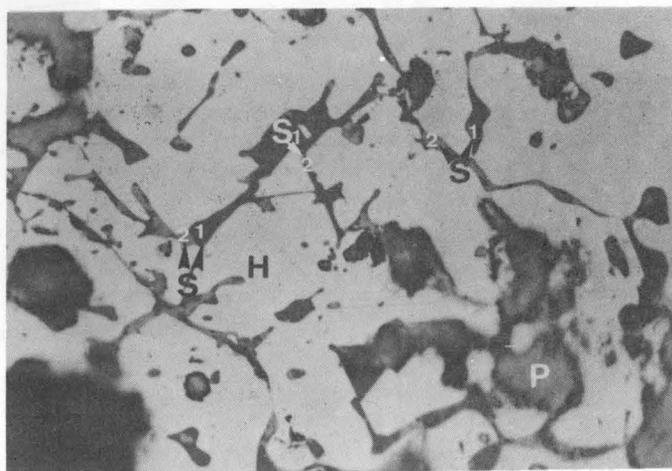


Figura 3 Microscopia óptica de luz refletida. Detalhe da subdivisão das fases hidratáveis.

Legenda: H - hematita; S₁ - fase silicatada não hidratável; S₂ - fase silicatada hidratável.

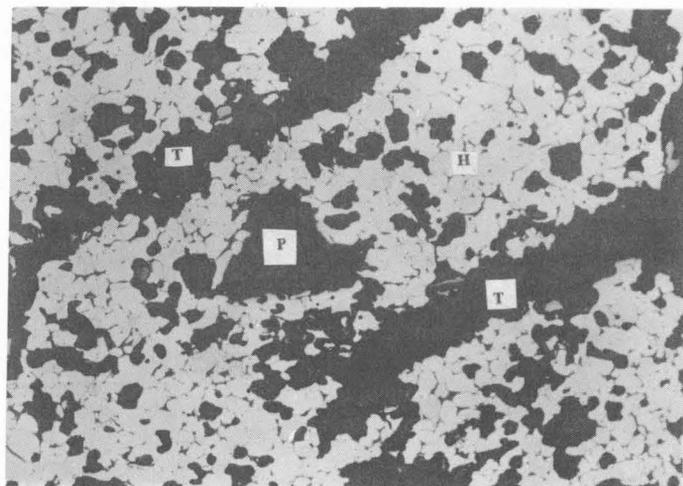


Figura 4 Microscopia óptica de luz refletida. Presença de trincas paralelas.

Legenda: H - hematita; P - poro; T - trinca.

A porosidade das amostras de pelotas pode ser considerada como relativamente alta. Embora não se tenha feito nenhuma determinação quantitativa, a observação sob o microscópio óptico permite uma avaliação confiável dos poros e de sua distribuição. Os poros encontram-se distribuídos pela microestrutura em tamanhos e formas variados (0.1 a 50 μ m, dimensões individuais), chegando a formar uma rede de porosidade. Os processos de conformação e contração das pelotas são os geradores dos poros. Assim, os menores e que formam associações não alongadas (figura 1) são gerados pela compactação natural das partículas e pela saída de voláteis na secagem e queima da pelota. Já os poros altamente alongados, de dimensões muito maiores (figura 4), e com orientações concêntricas ou radiais, constituindo verdadeiras trincas, são formados a partir do próprio processo de pelotização, e pelas contrações durante a secagem e a queima.

Os estudos de microscopia óptica atingiram seus objetivos iniciais de identificar as principais fases formadoras da microestrutura e suas associações mineralógicas, sem que a fase portadora de fósforo fosse detectada, como era previsto. Como esperava-se que este elemento estivesse associado às fases silicatadas, estas áreas foram marcadas e observadas com MEV/EDS.

b) Microscopia Eletrônica de Varredura com Microanalisador EDS Acoplado (MEV/EDS)

As pesquisas efetuadas por MEV/EDS foram feitas no microscópio eletrônico de varredura, marca JEOL, com espectrômetro de raios-X dispersivo em energia, tipo EEDS2, marca ORTEC, e tiveram como enfoque principal verificar a distribuição do fósforo por todos os minerais/fases formadores da microestrutura da pelota. Os teores apresentados podem ser considerados como semi-quantitativos e os elementos químicos estão reportados como óxidos, com exceção do fósforo, por tradição dos estudos siderúrgicos.

As considerações obtidas nas outras etapas do estudo foram confirmadas. A fase dominante da microestrutura é a portadora de ferro, a *hematita*. A *figura 5* apresenta uma região típica da pelota, com cristais de hematita coalescidos e em alguns pontos envolvidos por filmes de silicato. O fósforo foi detectado somente nas fases silicatadas associadas aos grãos óxido de ferro, com teor médio de 1% de P. O maior teor deste elemento foi detectado na região 2 da *figura 6* (1,8% de P), em uma das películas de silicato (também mais rica em cálcio, silício e alumínio), que circundam os grãos de óxidos de ferro. Esta fotomicrografia também apresenta uma região típica da pelota, com cristais de hematita levemente angulosos envolvidos pelas fases silicatadas. O fósforo, praticamente, não foi encontrado nos óxidos de ferro e, quando detectado, muitas vezes foi considerado não significativo, por seu teor estar aquém do limite de detecção do espectrômetro (consideram-se como significativos os valores acima de 0,5% para o fósforo).

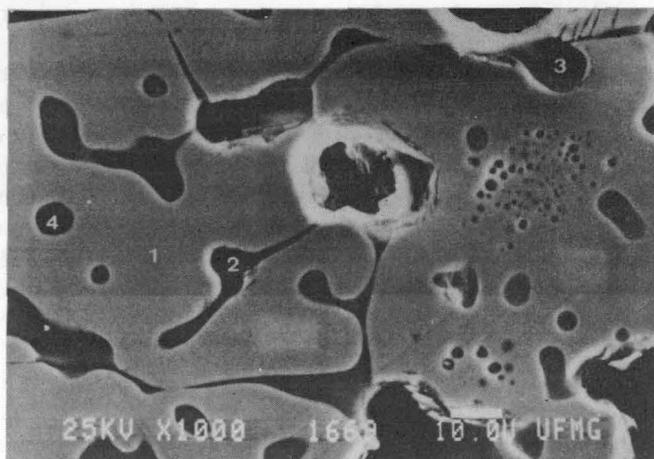


Figura 5 Região típica da pelota: grãos de hematita coalescidos e envolvidos por bolsas de silicato. Presença preferencial do fósforo nas fases silicatadas, em comparação com os óxidos de ferro.

Região / Fase	Análise Química Semi-Quantitativa (%)					
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	P	CaO/SiO ₂
1 - Hematita	0.68	0.0	0.23	98.73	0.0	---
2 - Silicato	3.40	34.65	39.68	19.58	1.17	1.15
3 - Silicato	3.54	36.21	40.92	16.37	1.10	1.13
4 - Silicato ferrif.	1.55	22.82	35.63	37.83	0.78	1.56

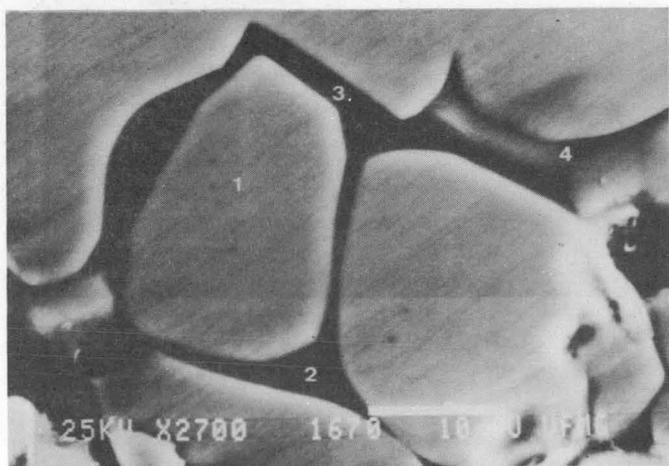


Figura 6 MEV-EDS. Região típica da pelota: grãos de hematita angulosos, ligeiramente coalescidos e ligados por bolsas de silicato. Presença de fósforo nas fases silicatadas.

Região / Fase	Análise Química Semi-Quantitativa (%)					
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	P	CaO/SiO ₂
1 - Hematita	0.00	0.20	0.00	99.50	0.20	---
2 - Silicato	2.20	34.40	43.30	16.70	1.76	1.26
3 - Silicato ferrif.	1.10	20.80	30.0	45.9	1.1	1.44
4 - Silicato ferrif.	2.70	28.0	29.20	37.50	1.30	1.05

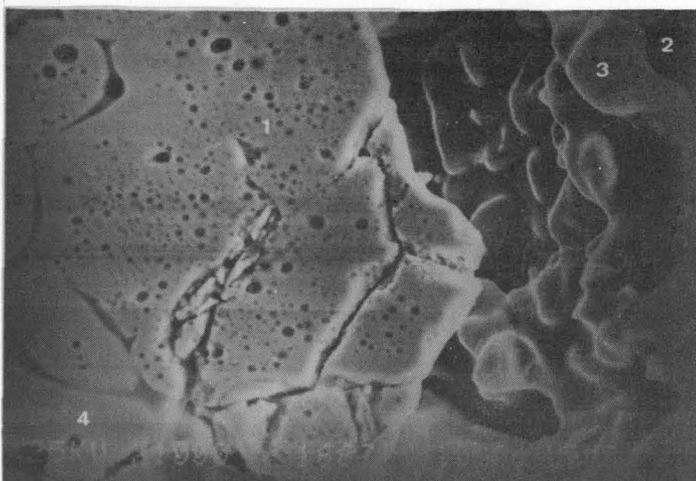


Figura 7 MEV-EDS. Região da topografia natural (interior de poro), parte direita, e região polida, à esquerda. Nesta, notam-se grãos de hematita porosa bastante coalescidos e presença de filmes de silicato. Presença do fósforo somente na fase silicatada.

Região / Fase	Análise Química Semi-Quantitativa (%)					
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	P	CaO/SiO ₂
1 - Hemat. porosa	0.98	0.00	0.39	97.80	0.27	---
2 - Silicato	2.75	34.20	0.40	43.00	15.80	0.40
3 - Hematita	0.60	0.00	0.00	98.83	0.00	----
4 - Hematita	0.44	0.00	0.65	98.30	0.00	----

A *figura 7*, em função da existência de um poro, permite observar a topografia natural da hematita e também a sua presença na forma de uma massa porosa coalescida, com filmes de silicato envolvendo localmente os grãos de óxidos de ferro. O teor em fósforo foi pesquisado também junto aos óxidos de ferro, mas, mais uma vez, foi considerado como nulo, sendo significativo apenas no silicato (1,5% na região 2).

Considerações finais

As expectativas sobre a localização preferencial do fósforo junto às fases silicatadas foram confirmadas. A sua ocorrência principal foi nos silicatos, sem nenhuma concentração preferencial pela fase hidratável ou não hidratável, sendo que esta subdivisão de fases ocorre apenas em micro-regiões da microestrutura. A explicação para estas constatações é baseada na migração do fósforo durante as etapas de queima dos aglomerados (tanto pelotas como sinteres) [3]. A distribuição/ocorrência preferencial do fósforo nos minérios de ferro da região de Alegria é junto aos minerais hidratados de ferro: goethitas e limonitas, e mesmo assim com um caráter errático [2,8]. A sua presença nos óxidos de ferro (hematita, magnetita, martita) é muito menos significativa. Durante o processo de queima (endurecimento) dos aglomerados, as partículas hidratadas portadoras de ferro e fósforo reagem, devido às altas temperaturas empregadas (acima de 1000°C), e liberam a maior parte do fósforo para a fase silicatada fundida, devido à maior afinidade química (os aditivos utilizados no processo são também uma fonte deste elemento).

CONCLUSÕES

A pelota apresenta-se com teor significativo de ferro e fósforo, respectivamente, 66 % e 0,051 % e com basicidade binária de 0,93 %, com grande homogeneidade das fases minerais e com porosidade relativamente alta, do ponto de vista qualitativo.

A hematita é o principal mineral portador de ferro e distribui-se de forma homogênea pela microestrutura. Ocorre, preferencialmente, em grãos arredondados, mostrando uma textura fina. A ceramização dos grãos de hematita dá-se tanto por coalescência, como por ligações pela fase silicatada. O outro mineral de ferro identificado foi a magnetita, minoritária, que ocorre apenas em baixas concentrações na parte central da pelota. As cálcio-ferritas estavam ausentes, ou bem raras.

As fases acessórias, impropriamente denominadas de escória, mostraram-se bem homogêneas e compostas por silicatos de cálcio amorfos. Em algumas regiões, foi possível identificar a presença de uma fase hidratável (tonalidade mais clara), e esta constatação foi feita apenas nas seções polidas com água. A fase silicatada ocorria geralmente como películas e bolsas entre os grãos da hematita.

As análises químicas obtidas com MEV/EDS confirmaram a associação preferencial do fósforo com as fases silicatadas (1,8% de P, como teor máximo), sem preferência pelas fases hidratáveis e não hidratáveis. É também importante, a constatação da ocorrência insignificante do fósforo junto às fases portadoras de ferro.

A identificação preferencial do fósforo junto às fases silicatadas da pelota mostra-se importante, no contexto dos processos de redução/remoção do teor em fósforo. Ressalte-se que, ao longo de todo o processo de fabricação do aço, desde a etapa inicial (mina), onde o fósforo está presente nos minerais hidratados de ferro (goethitas), até na etapa final (ligas metálicas), é apenas nos semi-elaborados que o fósforo não se encontra associado às fases portadoras de ferro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FONSECA, D. C. **Estudo Mineralógico do “Pellet Feed Fines” Visando a Redução do Teor em Fósforo**, Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, UFMG, 1992, 123p.
- [2] RABELO, P.J.B. **Estudos de Caracterização e Redução do Teor em Fósforo do Minério de Ferro da Mina de Alegria, Mariana, MG**, Belo Horizonte: Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia, UFMG, 1994, 305 p.
- [3] ARAUJO, M.A.C.; BRANDÃO, P.R.G. **A Localização Mineralógica do Fósforo em Sínteres e Pelotas de Minério de Ferro**, In: Anais do XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Vol.I, Processamento Mineral, Eds.: Dutra, A.J.B., Luz, A.B., Torem, M.L., Rio de Janeiro, RJ, set. (1995), p.3-16.
- [4] COELHO, E. M.; ARAUJO, A. C.; SILVA, J. M. **Estudo do Fósforo no Minério de Ferro da Mina de Alegria - 1^o Relatório de Progresso**, Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1988, 253 p.
- [5] BAGNALL, E. J. **Influence of Feed Material Properties on Sinter for Blast Furnaces**, In: Proceedings of the 2nd, International Symposium on Agglomeration, AIME, Atlanta, 1977, Cap. 32, p.587-603
- [6] ICDD - International Center of Diffraction Data, Data Book, 1st. Ed, Philadelphia, 1974.
- [7] MEYER, K., **Pelletizing on Iron Ore**, Ed. Springer Verlag, New York, 1980.

[8] SOUZA JR., M., **Caracterização Mineralógica e Tecnológica do Minério de Ferro Itabirítico Anfibolítico da Mina de Alegria, Mariana, M.G.**, Belo Horizonte UFMG, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Escola de Engenharia da UFMG, 1994, 208 p.

ABSTRACT

The mineralogy and the microstructure of an iron ore pellet sample was studied, aiming to detect the phosphorus-bearing phases and its content. This particular pellet production was made by Samarco Mineracao S.A., from an ore concentrate having higher than normal P content, from the Alegria Mine, Mariana, MG, Brazil.

The optical microscopy research (supported by chemical and X-ray diffraction analyses) identified the following mineral phases: primary hematite, secondary magnetite, amorphous calcium silicates and some grains of free silica. The hematite grains were connected mainly by direct bonding (hematite-hematite) or by silicate films and pockets. The preferential placement of phosphorus was investigated by a scanning electron microscope, with an attached energy-dispersive X-ray microanalyser (SEM/EDS). Phosphorus was found only in the calcium silicate phase, with 1.8% P as maximum content; in addition, it was found that phosphorus concentration in the iron-bearing minerals --hematite and magnetite-- was negligible.

Palavras-chave: pelota de minério de ferro, fósforo, mineralogia