



DESENVOLVIMENTO DE PELotas DE MINÉRIO DE FERRO COM ALTA PERFORMANCE NOS ALTOS-FORNOS*

João Batista Conti de Souza¹
Nathane Pinheiro Scardine²
Thais Corradi Pergentino³

Resumo

A utilização de fundentes como fontes de CaO e MgO na carga de altos fornos é uma prática operacional bem conhecida e estabelecida pelos produtores de ferro primário na siderurgia mundial. As práticas podem ser encontradas nas literaturas através de trabalhos publicados onde são descritos e apresentados os respectivos benefícios obtidos. A muito que os produtores de ferro primário, pela rota alto-forno, tem se esforçado nos estudos e desenvolvimentos de cargas elaboradas alternativas através de acordos de cooperação técnica junto aos centros de pesquisas e universidades. Tais acordos visam a melhoria da performance dos aglomerados e dos reatores de redução. A dificuldade em produzir pelotas auto - fundentes, com garantia da manutenção das propriedades necessárias e que favoreçam o processo de produção de ferro primário via alto-forno, tem sido o desafio no que se refere à avaliação das diversas formas de amenizar os efeitos deletérios da adição de fundentes, contendo altos teores do composto MgO, nas etapas do processo produtivo de pelotização, garantindo assim uma composição química, as características físicas e metalúrgicas do produto final (pelota queimada). O plano de pesquisa visou o desenvolvimento de um "novo produto", pelotas de minérios de ferro auto - fundentes com alto teor de MgO com características superiores para suportar às solicitações impostas no próprio processo de sua produção, no manuseio e no atendimento às solicitações durante as etapas de redução e amolecimento e fusão nos altos fornos, quando comparadas ao uso em substituição as adições de fundentes ricos do referido composto.

Palavras-chave: Aglomeração; Pelotas auto - fundentes; MgO.

DEVELOPMENT OF IRON ORE PELLETS WITH HIGH PERFORMANCE IN BLAST FURNACES

Abstract

The use of fluxes as sources of CaO and MgO in charge of blast furnace is a well known and established operational practice by producers of primary iron in the steel world. Practices can be found in the literature through published papers which are described and presented their benefits obtained. Very producers of primary iron for the blast furnace route, has struggled in the studies and developments of alternatives prepared loads through technical cooperation arrangements with the research centers and universities. Such agreements aim at improving the performance of the pellets and reduction reactors. The difficulty in producing self fluxing pellets with warranty in the maintenance of the necessary properties and enhancing the process of production of primary iron via the blast furnace has been the challenge as regards the assessment of the various ways to mitigate the detrimental effects of the flux agents addition containing high levels of the compound MgO, on the steps of the production process of pelletizing, thus ensuring a chemical composition, physical and metallurgical characteristics of the final product (fired pellet). The research plan aimed at developing a "new product", iron ore self fluxing pellets with high MgO content with superior characteristics to withstand the stresses imposed on the process of production itself, in handling and responding to requests during reduction steps, and softening and melting in blast furnaces, compared to use in replacing the additions of rich fluxes agents of the referred compound.

Keywords: Agglomeration; Self fluxing pellets, MgO.

¹ Engenheiro Metalurgista e de materiais, Professor nos cursos superiores e mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES), Diretor Científico em P,D & IT, FACTO - Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia do IFES, Vitória, ES, Brasil.

² Estudante de Engenharia Sanitária e Ambiental do IFES, Campus Vitória, ES, Brasil.

³ Engenheira Metalurgista, ArcelorMittal Cariacica, ES, Brasil.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



1 INTRODUÇÃO

A dificuldade em produzir pelotas auto - fundentes com garantia da manutenção das propriedades que favoreçam o processo de produção de ferro primário via alto forno tem sido um desafio para os produtores e pesquisadores do ramo.

O estudo se fez necessário em função da grande procura pelos produtores de gusa por carga elaborada para a substituição dos convencionais e atuais métodos de adição do composto MgO através de fundentes com conteúdos variados desse composto.

1.1 Objetivos da Pesquisa

Procurar através do desenvolvimento, em escala piloto, de pelotas auto - fundentes com composição química adequada, com propriedades físicas e metalúrgicas requeridas durante a fabricação do ferro primário.

Avaliar as amostras através de ensaios em laboratórios simulando as condições reinantes na escala industrial.

Avaliar as formas de amenizar os efeitos detrimenais da adição de fundentes portadores MgO em teores mais elevados nas etapas do processo produtivo de pelotização em escala industrial.

1.2 Fundamentação Teórica - Revisão da literatura

Até o momento alguns estudos foram realizados internamente em empresas produtoras de pelotas de minério de ferro através de acordos de cooperação técnica com centros de pesquisas e universidades. Com clientes produtores de ferro primário, testes industriais (Trial Cargos) foram realizados visando atender ao promissor mercado consumidor. Por razões ainda não esclarecidas, os resultados obtidos nas pelotas produzidas em escala piloto e ensaiadas como simulação da escala industrial não foram satisfatórios. De acordo com Lu [1], há a suspeita de que existe uma limitação dos teores de MgO adicionados e que irão fazer parte da composição química e a influência do composto nas propriedades físicas e metalúrgicas dos aglomerados.

1.3 Os Efeitos do MgO na Produção de Aglomerados

Dentre os componentes químicos dos aglomerados o MgO é um dos que apresentam efeitos mais notáveis no comportamento durante a etapa de redução na produção de ferro primário. Nas pelotas, o magnésio pode se apresentar dissolvido nos grãos do minério de ferro (dissolução sólida) ou na fase escória. A magnetita e a hematita dissolvem o magnésio. No caso da magnetita a dissolução se faz pela substituição do ferro++ na estrutura cristalina das células por íons Mg++ de forma isomorfa. No caso da hematita, desde que seus cristais sejam de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, não há espaço suficiente para a entrada de grandes quantidades de Magnésio na estrutura cristalina e lá permanecer, uma vez que o MgO não entra na rede cristalina em substituição ao Fe+++ , Segundo Lu [1]. Desta forma a dissolução de Magnésio em magnetita é bem maior e mais fácil que na hematita. Essa dissolução depende da atividade do MgO na escória, da temperatura de queima e do tempo de permanência do material nesta temperatura. Para aumentar a dissolução, em especial na hematita, e sabendo que a temperatura de queima e a permanência nela não podem crescer indefinidamente, são utilizados a moagem muito fina do veículo de aporte, a

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



sua concentração na escória e o aumento da homogeneidade através da sua distribuição na massa a queimar. A prática é utilizada como meio para aumentar a atividade do MgO na escória. Como também o MgO é refratário na forma de óxido, as temperaturas e o tempo de queima para dissolução são bem maiores que para os demais óxidos. Por isso mesmo procura-se usar silicatos de Magnésio como portadores, pois estes exigem menos calor para dissolução [2]. Foi observado também que na temperatura normal de queima +/- 1300° C apenas 5% de MgO no grão será suficiente para estabilizar a estrutura magnetítica, e ainda a capacidade de fundir é maior na zona magnetítica que na hematítica. Tais fatos adquirem importância á medida que o uso de carvão nas pelotas se consolida, evidenciando a importância do conhecimento dos sistemas Fe₃O₄-MgO-SiO₂ e CaO-MgO-SiO₂, principalmente com relação as pelotas com alto teor de MgO. No sistema Fe₃O₄-Mg-SiO₂ o ponto de fusão de menor temperatura ocorre a 1365°C. Principalmente por problema de contato, nenhuma outra reação, além da formação de magnésio ferrita, ocorre. No sistema CaO-MgO-SiO₂ o menor ponto de fusão ocorre a 1320°C. Também neste caso o contato entre as partes é o maior inibidor das reações. Então, na pelota, as primeiras reações que ocorrem são entre CaO-Fe₂O₃ e MgO- Fe₂O₃, no estado sólido. Entretanto o primeiro líquido a aparecer ocorre como a cálcio ferrita. Como as cálcio ferritas não tem muita solubilidade para o MgO, este só passa a compor a escória, em maior volume, após a formação dos cálcio silicatos de ferro. Isto significa que o magnésio só vai compor a fase escória na porção final da zona de queima. Aumentando o tempo de queima, mais MgO entra na escória. Aumentando a finura do portador de MgO maiores contatos existirão e mais MgO dissolvido. Além de estabilizar a magnetita e a wustita, diminuindo as tensões durante a redução, o magnésio promove as ligações grão-grão, o que é benéfico ao controle na degradação e aumenta o ponto de fusão das escórias, influenciando sensivelmente a temperatura de amolecimento das pelotas. Este conhecimento é importante, principalmente nas pelotas com baixo volume de ganga e naquelas onde as temperaturas de redução e ou os redutores são muitos severos [1].

1.4 Pelotas Hematíticas Produzidas com Carvão

Quando se usa combustíveis sólidos (carvão), nos pontos onde existem pequenos grãos deste ocorre a redução dos grãos circunvizinhos de hematita para magnetita. À medida que a quantidade de pontos de carvão cresce, cresce também a redução da hematita. Se o carvão está finamente dividido, e bem distribuído na massa da pelota, será queimado totalmente (até 1000°C) durante o processo de secagem e pré queima, e a magnetita produzida irá reoxidar em hematita secundária romboédrica durante o período de queima. Quanto maior a quantidade de carvão a queimar maior a quantidade de magnetita a reoxidar. Se os grãos de carvão são muito grossos não queimarão totalmente até a pré queima, entrando na etapa de queima. Desta forma o tempo para a reoxidação da magnetita e da wustita (em alguns casos Fe⁰) fica insuficiente, aumentando a quantidade de Fe⁺⁺ no produto final.

A presença de magnetita nas pelotas queimadas reduz a sua resistência à compressão, durante a redução e após a redução, com conseqüente influência na redutibilidade, no amolecimento, na perda de pressão durante a redução sobcarga e na degradação.

O Uso do carvão em quantidades e condições ideais, melhora a queima minimizando as diferenças de temperatura entre o topo e o fundo da camada a queimar, tornando mais homogênea a qualidade das pelotas e conseqüentemente

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



melhorando os efeitos da queima na degradação. Este uso é muito importante para facilitar a produção de pelotas com MgO.

Os estudos deixaram uma lacuna sobre a partir de qual valor ou valores ocorre uma influência negativa / degradação das propriedades físicas e metalúrgicas das pelotas quando submetidas às condições nos ensaios que simulam os comportamentos dos aglomerados no interior do alto-forno.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção das pelotas foram obedecidas as seguintes etapas:

Etapa 1 - Preparação das matérias primas, insumos (fundentes, aditivos (aglomerantes e combustíveis sólidos)) através dos processos de cominuição em moinhos de bola e classificação por tamanho de partículas, medidos pela percentagem menor que 325 mesh em peneirador vibratório, superfície específica no Permeâmetro Fisher, e a caracterização química, em espectrômetro de Raios-X, dos componentes para formar as misturas a pelletizar;

Etapa 2 - Produção de pelotas cruas, em discos de pelotamento piloto, com as misturas experimentos com composições químicas definidas (basicidade binária e percentual de MgO pré estabelecido). Avaliação das propriedades físicas (resistência à compressão da pelota crua e a seco, e da resiliência (número de quedas)) para suportar os efeitos da etapa de transporte até o forno de queima e ainda resistir ao efeito da mudança brusca de temperatura (choque térmico) ao entrar no forno de queima de pelotas.

Para a produção das pelotas foi utilizada uma mistura, denominada como referência/padrão, sem a utilização de aditivo de MgO e misturas contendo fundentes como fontes de MgO. Esses com composições alternativas e exploratórias visando observar os comportamentos das pelotas durante as etapas do processo produtivo, na avaliação da qualidade das pelotas queimadas através dos ensaios físicos e metalúrgicos, simulando as condições reinantes no reator de redução.

Matriz de experimentos:

Para a elaboração da matriz de experimentos foram considerados como fundentes o calcário calcítico e os portadores de MgO (calcário dolomítico, olivinas e fino de mármore) com diferentes dosagens e como combustível sólido o carvão antracito. Os fundentes foram cominuidos para obtenção de superfícies específicas de 3000cm²/g para a Fase 1(experimentos de 1 a 4) e 8000 cm²/g para a Fase 2 (experimentos de 5 a 8).

Em ambas as fases o pellet feed e o carvão foram moídos para obter uma superfície específica da ordem de 1850 cm²/g e a cal hidratada produzida com superfície específica da ordem de 10.000 cm²/g.

Para todos os experimentos foram realizadas dosagens objetivando os teores de 0.15, 0.30, 0.60 e 1.0% de MgO nas pelotas produzidas.

2.1 Fase 1. Experimentos de 1 a 4. (Fundentes com SE = 3000 cm²/g)

- Experimento 1_(Referência/Padrão) : sem participação de aditivos com conteúdo de MgO.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + cal hidratada + carvão mineral;

- Experimento 2_: Correção de MgO com adição de calcário dolomítico.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + calcário dolomítico + cal hidratada + carvão mineral;

- Experimento 3: Correção de MgO com adição de olivina.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + olivina + cal hidratada + carvão mineral;

- Experimento 4: correção de MgO com adição de finos de mármore.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + resíduo de mármore + cal hidratada + carvão mineral;

2.2 Fase 2. Experimentos de 5 a 8. (Fundentes com SE = 8000 cm² /g)

- Experimento 5 (Referência/Padrão): sem participação de aditivos com conteúdo de MgO.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + cal hidratada + carvão mineral;

- Experimento 6: correção de MgO com adição de calcário dolomítico.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + calcário dolomítico + cal hidratada + carvão mineral;

- Experimento 7: correção de MgO com adição de olivina.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + olivina + cal hidratada + carvão mineral;

- Experimento 8: correção de MgO com adição de finos de mármore.

Mistura composta de minério de ferro (pellet feed moído) e calcário calcítico fino + resíduo de mármore + cal hidratada + carvão mineral;

Etapa 3 - Queima das pelotas, em PotGrate, utilizando ensaios de queima alternativos e exploratórios, visando adequação e condução das condições fixas de produtividade da grelha e variando o ciclo térmico (parâmetros de temperatura e pressão das zonas do forno).

A sequência nas etapas de queima seguiu a rota convencional de produção de pelotas utilizada para os fornos do tipo grelha móvel, podendo ser utilizado, como opção a rota alternativa do sistema Grate Kiln (forno rotativo) obedecendo as etapas do processo:

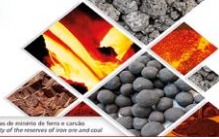
- Secagem Ascendente
- Secagem Descendente
- Pré-Queima
- Queima
- Pós-Queima
- Resfriamento

Etapa 4 – Caracterização química, física e metalúrgica das pelotas queimadas produzidas através dos equipamentos e os respectivos ensaios regidos pelas Normas ISO.

- Análise química – Fet (ISO 2597-1:1994), SiO₂ (ISO 2598 – 1:1992); Al₂O₃ (ISO 4688 – 1:1992, CaO (ISO 10203:1992), MgO (ISO 10204:1992 e Mn (ISO 9882 – 1:1991).
- Resistência á compressão das pelotas queimadas – Norma ISO 4700:1996;
- Degradação a baixas Temperaturas (RDI) (%<3,15mm) - Norma ISO 4692 – 2:1998;

Etapa 5 – Compilação, tratamento e avaliação dos resultados dos ensaios.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



3 RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos no estudo.

3.1. Análises Químicas dos Fundentes e da Cal Hidratada.

Tabela 1. Análises químicas dos fundentes, do aglomerante (cal hidratada) e superfícies específicas nas fases 1 e 2 do estudo.

Elementos	Calcario Cacítico	Calcario Dolomítico	Olivina	Finos de Mármore	Cal Hidratada
MgO	2,52	16,38	48,60	18,81	0,51
CaO	52,12	35,29	0,30	37,04	74,82
SiO ₂	3,16	2,79	41,76	2,84	0,98
Al ₂ O ₃	0,18	0,18	0,63	0,29	0,10
PPC	43,11	43,82	1,30	41,58	23,18
F1SE(cm ² /g)	3000	3000	3000	3000	10000
F2SE(cm ² /g)	8000	8000	8000	8000	10000

Obs – Para o estudo a matéria prima, os insumos/aditivos e o aglomerante foram os mesmo, sendo que para os fundentes na fase 1 (experimentos 1 a 4) a superfície específica foi de 3000 cm²/g e na fase 2 (experimentos 5 a 8) a superfície específica foi de 8000 cm²/g. Não foram observados valores nas análises químicas dos fundentes que merecessem discussão ou comentários. A superfície específica da cal hidratada foi da ordem de 10.000 cm²/g para as duas fases.

3.2 Análises Químicas das Pelotas Produzidas nos Experimentos.

As tabelas 2 e 3 apresentam os resultados das análises químicas das pelotas produzidas nos experimentos para teores de MgO variando de 0,05%(referência) a 1,00% com os diferentes tipos de fundentes utilizados.

Tabela 2. Análises químicas das pelotas produzidas nos experimentos objetivando 0,05%(referência), 0,15% e 0,30% de MgO, garantindo a basicidade binária B₂ = 1,20

Elemento	Teor de (MgO= 0,15%)				Teor de (MgO = 0,30%)			
	Referen.	CDolom	Olivina	F.Mármore	Referen.	CDolom	Olivina	F.Mármore
Fet	65,22	64,96	64,94	65,08	65,22	64,48	64,57	64,84
SiO ₂	2,76	2,85	2,92	2,85	2,76	2,87	3,04	2,86
Al ₂ O ₃	0,53	0,59	0,59	0,59	0,53	0,59	0,59	0,59
CaO	3,30	3,42	3,49	3,42	3,30	3,43	3,64	3,44
MgO	0,05	0,15	0,15	0,15	0,05	0,30	0,30	0,30
P	0,023	0,024	0,024	0,024	0,023	0,024	0,024	0,024
Mn	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
B ₂	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



Tabela 3. Análises químicas das pelotas produzidas nos experimentos objetivando 0,05%(referência), 0, 60% e 1,00% de MgO, garantindo a basicidade binária $B_2 = 1,20$

Elemento	Teor de (MgO= 0,60%)				Teor de (MgO = 1,00%)			
	Referen.	CDolom	Olivina	F.Mármore	Referen.	CDolom	Olivina	F.Mármore
Fet	65,22	64,48	64,02	64,57	65,22	64,23	63,25	64,24
SiO ₂	2,76	2,90	3,27	2,89	2,76	2,94	3,58	2,93
Al ₂ O ₃	0,53	0,59	0,59	0,59	0,53	0,59	0,59	0,60
CaO	3,30	3,48	3,91	3,48	3,30	3,53	4,30	3,52
MgO	0,05	0,60	0,60	0,60	0,05	1,00	1,00	1,00
P	0,023	0,023	0,24	0,25	0,023	0,023	0,024	0,024
Mn	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
B ₂	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20

3.3 Caracterizações Físicas e Metalúrgicas das Pelotas Produzidas.

As tabelas 4,5,6 e 7 apresentam os resultados dos ensaios físicos e testes metalúrgicos realizados nas pelotas produzidas nas fase 1(F1) experimentos 1 a 4 (SE = 3000 cm²/g) e fase 2(F2) experimentos 5 a 8 (SE = 8000 cm²/g) para os diferentes teores de MgO.

Tabela 4. Ensaios físicos e testes metalúrgicos das pelotas produzidas nos experimentos objetivando 0,15% de MgO, garantindo a basicidade binária $B_2 = 1,20$

Parâmetro	Exp1 F1	Exp2 F1	Exp3 F1	Exp4 F1	Exp5 F2	Exp6 F2	Exp.7 F2	Exp8 F2
	Ref	CDolom	Olivina	F. Márm	Ref	CDolom	Olivina	F.Márm
RCdaN/pel	364	354	348	355	382	368	370	365
RC. Desv	112	97	100	104	119	110	116	113
RDI Média	2,9	3,4	3,2	3,6	2,6	3,0	2,7	3,0
RDI Desv.	0,32	0,30	0,28	0,30	0,35	0,32	0,37	0,28

Tabela 5. Ensaios físicos e testes metalúrgicos das pelotas produzidas nos experimentos objetivando 0,30% de MgO, garantindo a basicidade binária $B_2 = 1,20$

Parâmetro	Exp1 F1	Exp2 F1	Exp3 F1	Exp4 F1	Exp5 F2	Exp6 F2	Exp.7 F2	Exp8 F2
	Ref	CDolom	Olivina	F. Márm	Ref	CDolom	Olivina	F.Márm
RC. Média	360	310	320	349	374	360	369	352
RC. Desv	105	87	95	103	115	108	109	100
RDI Média	3,1	3,8	3,6	3,6	2,7	2,7	2,6	2,8
RDI Desv.	0,27	0,34	0,30	0,24	0,28	0,31	0,32	0,26

Tabela 6. Ensaios físicos e testes metalúrgicos das pelotas produzidas nos experimentos objetivando 0,60% de MgO, garantindo a basicidade binária $B_2 = 1,20$

Parâmetro	Exp1 F1	Exp2 F1	Exp3 F1	Exp4 F1	Exp5 F2	Exp6 F2	Exp.7 F2	Exp8 F2
	Ref	CDolom	Olivina	F. Márm	Ref	CDolom	Olivina	F.Márm
RC. Média	340	300	305	295	355	368	375	372
RC. Desv	104	109	112	94	105	108	110	89
RDI Média	3,9	4,4	4,3	4,2	3,5	3,6	3,3	3,4
RDI Desv.	0,30	0,42	0,36	0,32	0,28	0,30	0,35	0,32

Tabela 7. Ensaios físicos e testes metalúrgicos das pelotas produzidas nos experimentos objetivando 1,0% de MgO, garantindo a basicidade binária $B_2 = 1,20$

Parâmetro	Exp1 F1	Exp2 F1	Exp3 F1	Exp4 F1	Exp5 F2	Exp6 F2	Exp.7 F2	Exp8 F2
	Ref	CDolom	Olivina	F. Márm	Ref	CDolom	Olivina	F.Márm
RC. Média	312	285	290	278	328	306	327	313
RC. Desv	116	91	101	98	112	118	123	104
RDI Média	4,3	4,8	4,6	4,5	4,0	4,6	4,2	4,4
RDI Desv.	0,28	0,35	0,38	0,32	0,34	0,30	0,33	0,26

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



As figuras 1 e 2 apresentam os resultados da resistência á compressão das pelotas queimadas produzidas na fase 1(experimentos 1 a 4 - SE=3000cm²/g) e na fase 2(experimentos 5 a 8 - SE=8000cm²/g) respectivamente, para os diferentes tipos e teores de MgO.

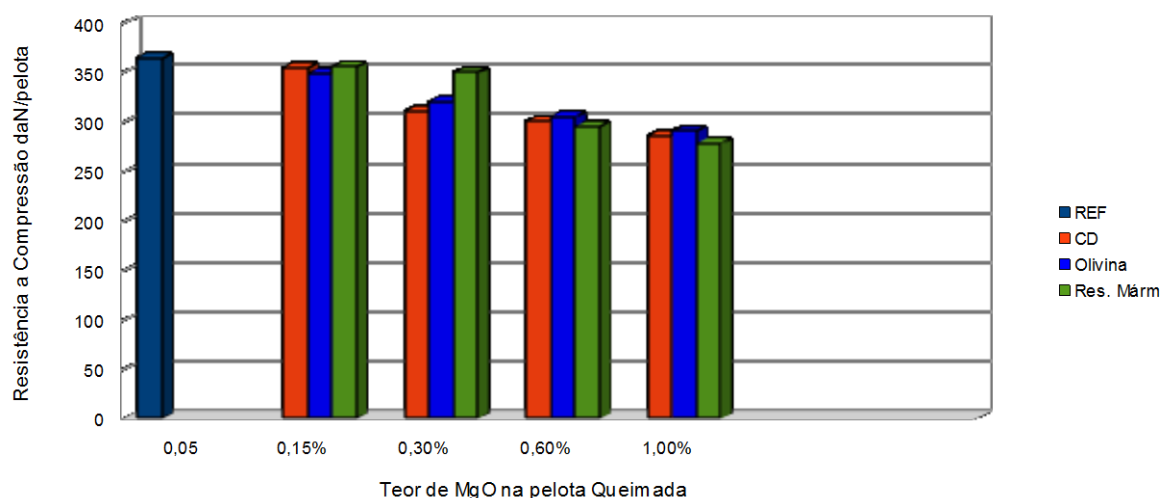


Figura 1 – Quadro comparativo da resistência a compressão das pelotas queimas para diferentes teores de MgO com SE = 3000 cm²/g

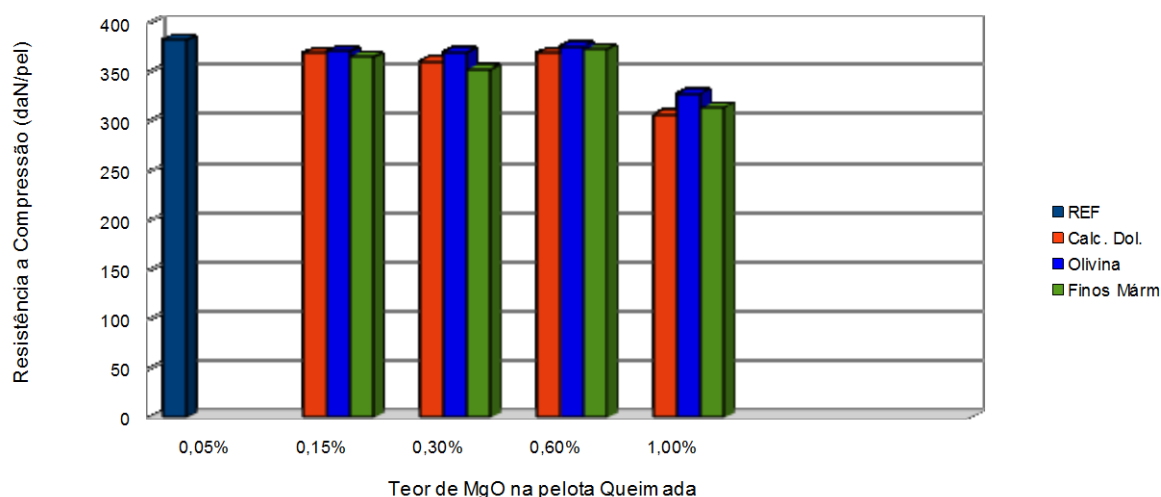


Figura 2 – Quadro comparativo da resistência a compressão das pelotas queimas para diferentes teores de MgO com SE = 8000 cm²/g

As figuras 3 e 4 apresentam os resultados da degradação sob redução á baixa temperatura (RDI) das pelotas queimadas produzidas na fase 1(experimentos 1 a 4 SE=3000cm²/g) e na fase 2(experimentos 5 a 8) SE=8000cm²/g) respectivamente, para os diferentes tipos e teores de MgO.

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

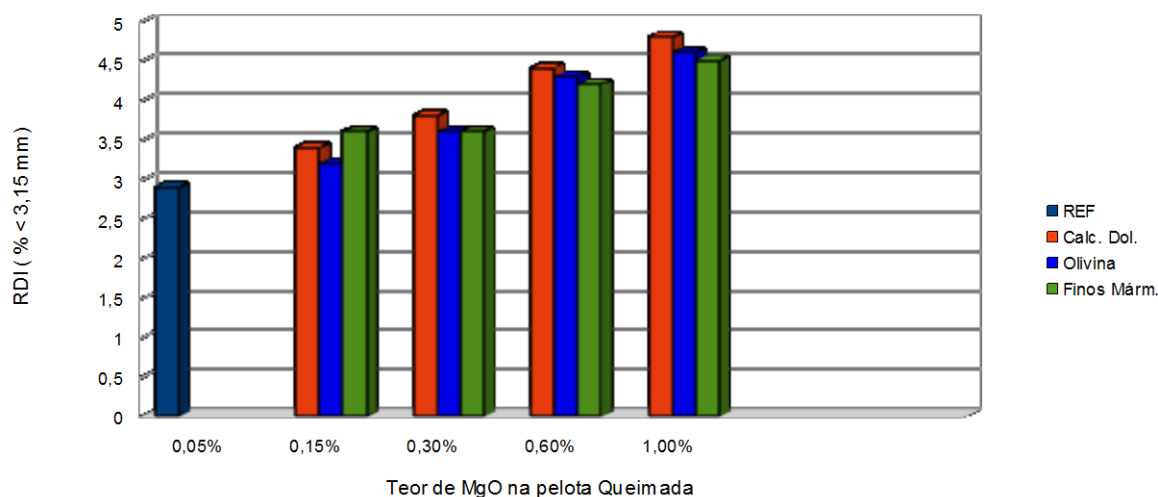


Figura 3 – Quadro comparativo da Degradação a baixa temperatura – RDI das pelotas queimas para diferentes teores de MgO com SE = 3000 cm²/g

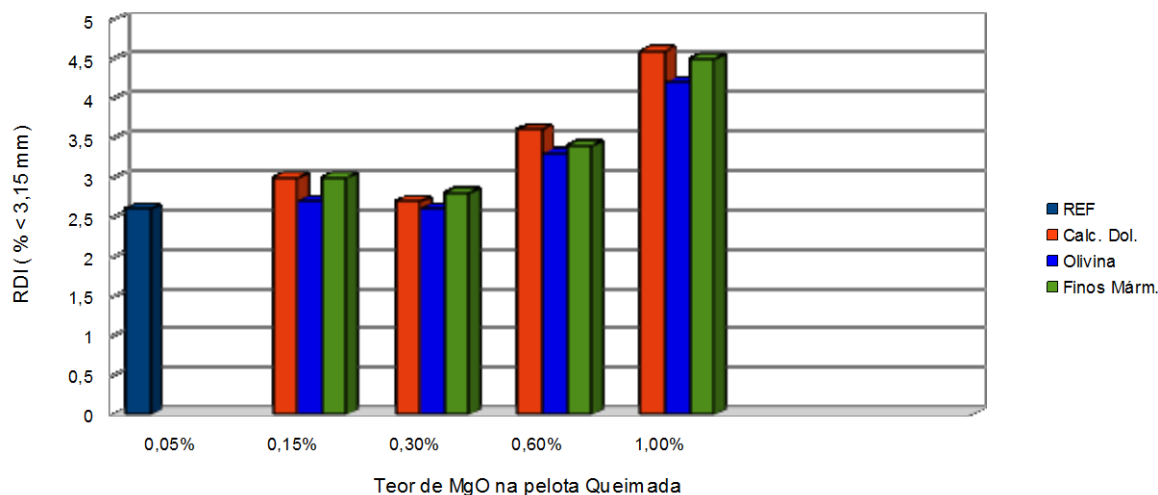


Figura 4 – Quadro comparativo da Degradação a baixa temperatura – RDI das pelotas queimas para diferentes teores de MgO com SE = 8000 cm²/g

4 COMENTÁRIOS / DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As análises químicas das pelotas queimadas mostraram uma variação dos teores de SiO₂ de 2,76 a 3,58%, acompanhada dos teores de CaO de 3,30 a 4,30% para as produções com o material referência (0,05% MgO) e olivina (1% MgO), respectivamente. Isso garantiu a manutenção da basicidade binária de 1,20;

Os resultados de resistência á compressão mostraram uma elevação e a degradação sob redução á baixa temperatura (RDI) apresentou uma melhora com o uso de fundentes portadores de MgO com superfície específica mais alta (8000cm²/g) e com o aumento da temperatura na zona de queima e/ou o aumento do tempo de residência das pelotas nas condições reinantes naquela zona;

A utilização de combustível sólido (carvão), finamente dividido e bem distribuído na mistura da pelota, favoreceu o processo de redução dos grãos circunvizinhos de hematita em magnetita. O mesmo foi observado por Lu [1] em seus estudos, o que

* Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.



comprova que o uso de carvão fino e fundamental para a transformação da hematita em magnetita;

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nos experimentos e nas análises pode-se concluir que:

O estudo mostrou que o grau de finura dos fundentes, portadores ou não de MgO, tem importância fundamental no processo de produção de pelotas. Quanto mais finas as partículas maior é o processo de difusão e a formação dos compostos ferritos cálcio e magnésio;

Com o aumento da adição de fundentes portadores de MgO houve a necessidade de alterar o ciclo térmico do forno para um aumento da temperatura e do tempo de permanência das pelotas em temperaturas reinantes na zona que queima;

Atenção especial deve ser dada a utilização de finos de mármore que apresentaram resultados bem próximos aos obtidos com o calcário dolomítico. Por ser considerado um resíduo do processo de corte do mármore, os finos precisam de destinação e tem sido disponibilizado para uso na agricultura, na construção civil e poderão ser utilizado na produção de aglomerados;

O estudo mostrou que a olivina apesar de possuir de teor mais elevado de MgO, e necessitar de menor dosagem, tem o inconveniente do teor elevado de sílica o que proporcionou a utilização de mais cal hidratada para garantir o valor meta de basicidade binária de 1,20. Sendo o fundente indicado para produção de aglomerados com minérios de menor teor de sílica;

Existe a viabilidade técnica de produzir pelotas com qualidade, em atendimento aos parâmetros de especificação praticados comercialmente, com os diferentes de tipos e dosagens dos fundentes portadores de MgO. Cabe uma avaliação da viabilidade econômica em função dos preços dos mesmos, da disponibilidade e da logística a ser adotada.

REFERÊNCIAS

- 1 Lu WK. The improvement of pellet physical and metallurgical properties through the addition of magnesia silicates. Conferência na Mc master University. October, 1981.
- 2 Lu WK, et al. The quality of iron ore pellets. Palestra na AIME; 1981.

* *Contribuição técnica ao 44^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15^o Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2^o Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 15 a 18 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.*