

# INFLUÊNCIA DA MINERALOGIA NO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO<sup>1</sup>

Catia Casagrande<sup>2</sup>  
Maria Beatriz Vieira<sup>3</sup>  
Simonny Guachalla<sup>4</sup>  
Washington Mafra<sup>5</sup>

## Resumo

A pelletização é o processo de aglomeração a quente utilizado para transformar os minérios de ferro finos e/ou ultrafinos na carga metálica adequada aos reatores siderúrgicos. Conhecer a influência das características do minério de ferro nas diversas operações unitárias como moagem, filtragem, pelotamento e queima é de suma importância no processo de pelletização. Quatro misturas de minério de ferro, normalmente utilizadas nas produções de pelotas de alto forno e redução direta, foram submetidas às operações unitárias em escala piloto. E caracterizadas através de análises químicas, físicas e mineralógicas. Essas misturas ainda foram avaliadas no processo de moagem, filtragem, pelotamento e queima. Os ensaios de índice de moabilidade, leaf test e compressão de pelota crua foram realizados, além dos ensaios físicos e metalúrgicos das pelotas queimadas. Os resultados mostraram o efeito das operações unitárias na microestrutura das misturas de minérios de ferro. Além disso, após a moagem, foi constatado que as partículas de hematitas tabulares são transformadas em hematitas granulares. Além de ocorrer uma tendência na liberação de grãos policristalinos, tornando-os monocristalinos, o que pode impactar nos processos seguintes.

**Palavras-chave:** Minério de ferro; Pelotização; Mineralogia; Operações unitárias.

## INFLUENCE OF MINERALOGY IN THE PELLETIZING PROCESS OF IRON ORE

### Abstract

Pelletizing is the process of hot agglomeration used to transform the fines and/or ultrafines iron ores in metal load suitable for steel furnaces and pig iron. The knowledge of the influence of characteristics of iron ore in various unit operations such as grinding, filtering, pelletizing and burning is very important in the pelletizing process. Four mixes of iron ore with different mineralogical characteristics were subject to unit operations on pilot scale. These mixes commonly used in pellet production of blast furnace and direct reduction were characterized by chemical, physical and mineralogical analyses. The mixes were evaluated in the process of grinding, filtering, pelletizing and burning. Testing of grindability index, leaf test and compressive strength of green pellet were performed, in addition to the physical and metallurgical tests of pellet. The results also showed the effect of unit operations on mixes microstructure of iron ores. After grinding, it has been found that the tabular hematites particles are transformed into granular hematitas. In addition there is a tendency in the release of polycrystalline grains, resulting monocrystalline, what can impact in the subsequent process steps.

**Key words:** Iron ores; Pelletizing; Mineralogy; Unit operations.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 1 a 4 de setembro de 2014, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheira Geóloga, Vale, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheira Química, Vale, Brasil.

<sup>4</sup> Geóloga, Vale, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalúrgico, Vale, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de ferro-gusa, sinter e pelotas, com qualidades químicas, físicas, mecânicas e metalúrgicas elevadas estão relacionadas com a qualidade intrínseca dos minérios de ferro, considerando os processos envolvidos com elevada produtividade, baixo consumo de energia, entre outros fatores.

A matéria-prima utilizada nas pelotizações provém do *split* das jazidas de minério de ferro cujo tamanho é inferior a 6mm e também dos finos gerados na lavra, no processamento de concentração, na classificação, no manuseio e no transporte do minério.

O negócio pelotização tem um papel importante no desempenho da Vale, sendo essencial para viabilizar economicamente uma parte da produção mineral que, por ser constituída de partículas muito finas, é inadequada para ser plenamente consumida nas siderúrgicas.

Segundo Rosière e Chemale<sup>(1)</sup> e Takehara<sup>(2)</sup> os minérios de ferro itabirítico e de alto teor do Quadrilátero Ferrífero podem ser agrupados em três grandes grupos:

- Hematitas: formação ferrífera composta predominantemente por hematita e subordinadamente por magnetita e goethita, com estrutura maciça, bandada ou foliada;
- Itabiritos enriquecidos: formação ferrífera bandada, metamórfica, constituída essencialmente por quartzo e hematita e subordinadamente por goethita, magnetita e carbonatos; e
- Coberturas detriticas (cangas e rolados): formações superficiais constituídas por blocos de hematita e itabiritos, soltos ou cimentados por goethita.

Os minérios hematíticos brasileiros apresentam estruturas internas muito variadas, devido às diferentes condições de metamorfismo, tectonismo e intemperismo a que foram submetidos, ou mesmo, em virtude de sua gênese. Desta forma, originaram-se minérios com diferentes constituintes mineralógicos, trama, tamanho e morfologia dos cristais, tamanho e morfologia dos poros, porosidade, forma e superfícies das partículas e etc.

As misturas da Diretoria de Pelotização em Tubarão são compostas por vários minérios de ferro localizados nos Complexo de Mariana, Itabira e Minas Centrais. Atualmente é recebida uma ampla variabilidade de minérios com diferente qualidade química e física, para atender as especificações químicas e físicas do processo de pelotização. Neste trabalho foi inserida a caracterização mineralógica.

Por este motivo, se faz necessário um estudo de caracterização detalhado dos minérios individuais e misturas nas diversas operações unitárias como moagem, filtragem, pelotamento e queima. Com a finalidade de avaliar a influência das variações das características das misturas que alimentam as usinas de pelotização de Tubarão.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os minérios individuais foram amostrados separadamente para caracterização detalhada e posteriormente compor as misturas na Usina Piloto de Pelotização. Estas amostras, 5ton de cada tipo, foram coletadas durante o empilhamento nos pátios de minérios em Tubarão. A especificação química e granulometria das misturas dos minérios visa atender a qualidade química e física das pelotas de alto forno e de redução direta pré-estabelecida pela operação.

A primeira fase do estudo consiste na caracterização completa (química, física e mineralógica) das misturas de minérios compostas. Posteriormente, estas misturas foram submetidas aos ensaios de índice de moabilidade e filtragem para avaliar o comportamento das mesmas nas operações unitárias do processo de pelletização (moagem, filtragem, pelletamento e queima).

Quatro misturas foram compostas para este trabalho, sendo duas para pelota de alto forno (mistura 1 e mistura 2) e duas para pelota de redução direta (mistura 3 e mistura 4). A Tabela 1 mostra a composição dos minérios utilizados no trabalho.

**Tabela 1.** Participações dos minérios de ferro nas misturas de 1 a 4

Minérios	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4
A	34,5	44,0	64,0	78,0
B	20,0	17,0	8,0	
C	9,0	9,3	9,5	
D	14,0	11,0	9,0	
E	11,0	9,5	5,5	
F	11,5	9,2	4,0	
G				22,0

Os minérios individuais foram submetidos à caracterização completa, contanto que a análise mineralógica foi realizada através de lupa estereoscópica e microscopia ótica. Após pelletamento foram realizados os ensaios de pelota crua e queimada.

A caracterização dos minérios e misturas foi realizada nos laboratórios da Diretoria de Pelotização em Tubarão/Vitória, exceto as análises em microscopia ótica que foram realizadas na Fundação Gorceix/UFOP. Para realizar análise química foi utilizada espectroscopia de fluorescência de raios-X da Rigaku. A determinação da distribuição granulométrica dos minérios foi feito por peneiramento a úmido.

A superfície específica é considerada um dos parâmetros críticos no processo de pelletização e normalmente é medida através de permeâmetro Blaine ou Fisher. No presente estudo os minérios individuais foram submetidos ao permeâmetro Fisher, na escala de 0,2 a 50 $\mu$ m.

A preparação inicial das misturas foi realizada no Centro Tecnológica de Ferrosos da Vale, localizado no Miguelão, próximo a Belo Horizonte. Após moagem das misturas, as mesmas foram transferidas para Planta Piloto de Pelotização de Tubarão, para dar continuidade às outras etapas do processo.

Cada mistura foi prensada em uma quantidade de 600 kg, com a finalidade de obter a superfície específica exigida pelo processo de pelletização. Para o teste de filtragem (leaf test) foi retirada uma alíquota pós-prensagem e enviado para Samarco para realização do ensaio.

Após prensagem, as misturas foram submetidas à desagregação, adição de insumos, pelletamento e queima. Para cada tipo de pelota foi elaborado um perfil térmico diferente conforme padrão Vale.

### 3 RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados de análise química dos minérios individuais utilizados para composição das misturas.

**Tabela 2.** Resultados de análise química dos minérios individuais

Parâmetros	A	B	C	D	E	F	G
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96,70%	96,58%	88,34%	98,49%	96,17%	96,87%	97,77%
SiO <sub>2</sub>	1,41%	0,63%	10,84%	0,93%	3,08%	2,37%	0,70%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38%	0,47%	0,31%	0,18%	0,26%	0,24%	0,38%
P	0,03%	0,05%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,03%
Mn	0,04%	0,10%	0,13%	0,07%	0,02%	0,02%	0,05%
CaO	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,01%
MgO	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,03%
TiO <sub>2</sub>	0,28%	0,04%	0,05%	0,05%	0,22%	0,25%	0,05%
Outros	1,14%	2,11%	0,30%	0,25%	0,21%	0,21%	0,98%

A Tabela 3 apresenta os resultados de granulometria das misturas, sendo que a porcentagem menor que 0,045mm é controlada pelo processo.

**Tabela 3.** Participação dos minérios individuais nas faixas granulométricas

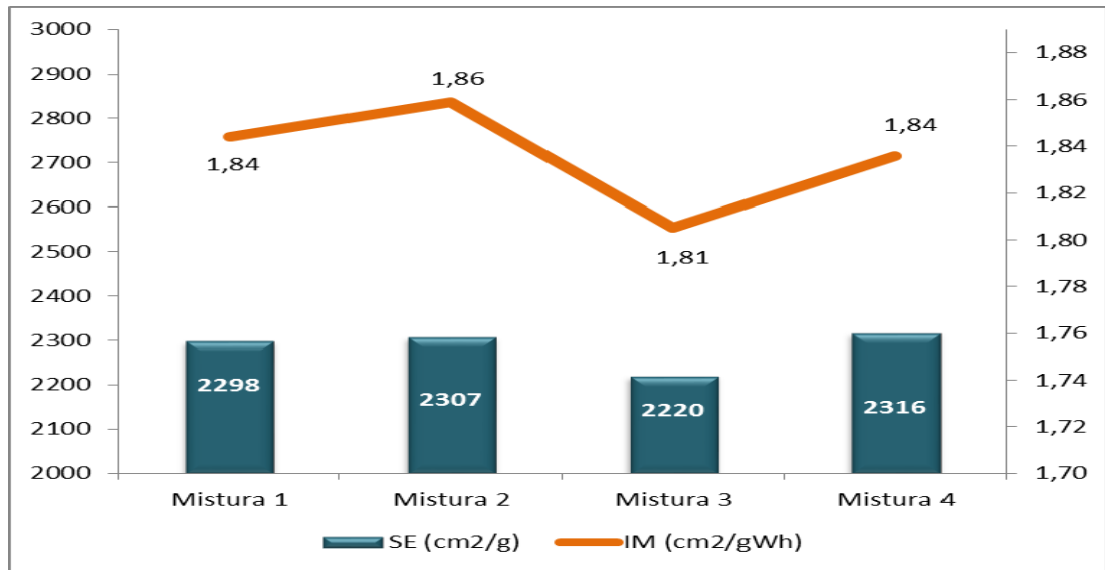
Faixas granulométricas	A	B	C	D	E	F
> 0,300	1,73	1,77	30,71	0,50	1,32	0,92
> 0,106	22,70	17,28	28,73	5,86	6,96	6,83
> 0,075	19,43	15,11	11,97	10,79	9,57	10,03
> 0,045	30,73	28,96	18,52	35,03	33,90	35,13
< 0,045	25,24	36,63	9,66	47,78	47,99	46,96

A Tabela 4 mostra os resultados de granulometria das misturas 1 a 4, antes da moagem, referentes às pelotas de alto forno e redução direta.

**Tabela 4.** Resultados de análise granulométrica das misturas 1 a 4

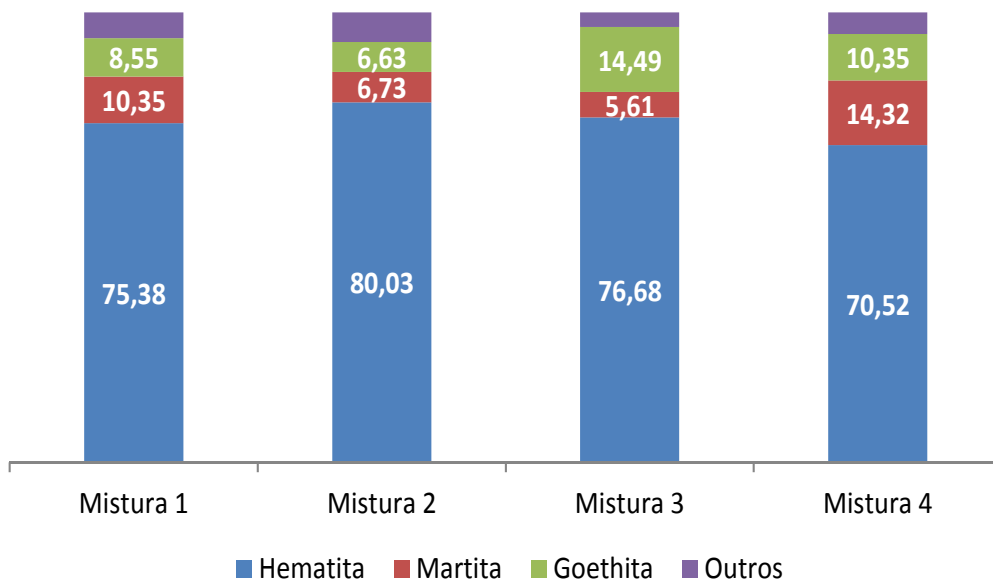
Faixas granulométricas	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4
1	1,25	1,16	1,18	0,92
0,5	1,68	1,50	0,50	0,37
0,3	2,19	2,01	0,88	0,85
0,15	8,57	9,04	10,24	7,06
0,106	8,51	10,20	13,51	8,89
0,075	14,67	15,06	20,47	15,36
0,063	7,79	8,89	8,51	6,19
0,045	20,78	22,65	21,15	24,62
< 0,045	34,55	29,48	23,55	35,75

A Figura 1 apresenta os resultados de índice de moabilidade e superfície específica das misturas referentes às pelotas de alto forno e redução direta



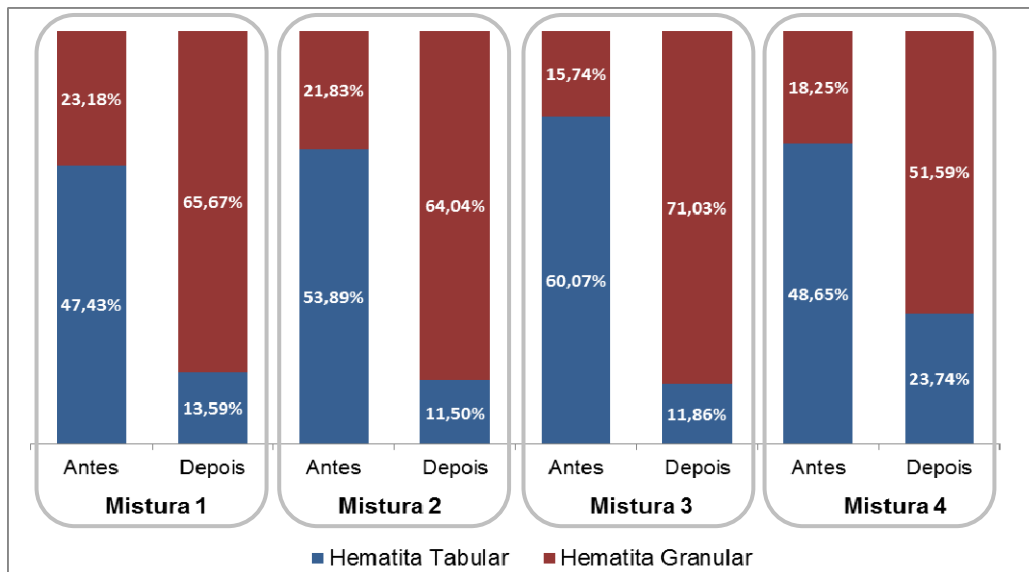
**Figura 1.** Resultados de superfície específica e índice de moabilidade das misturas.

A Figura 2 mostra os resultados de mineralogia através do microscópio ótico das misturas 1 a 4.



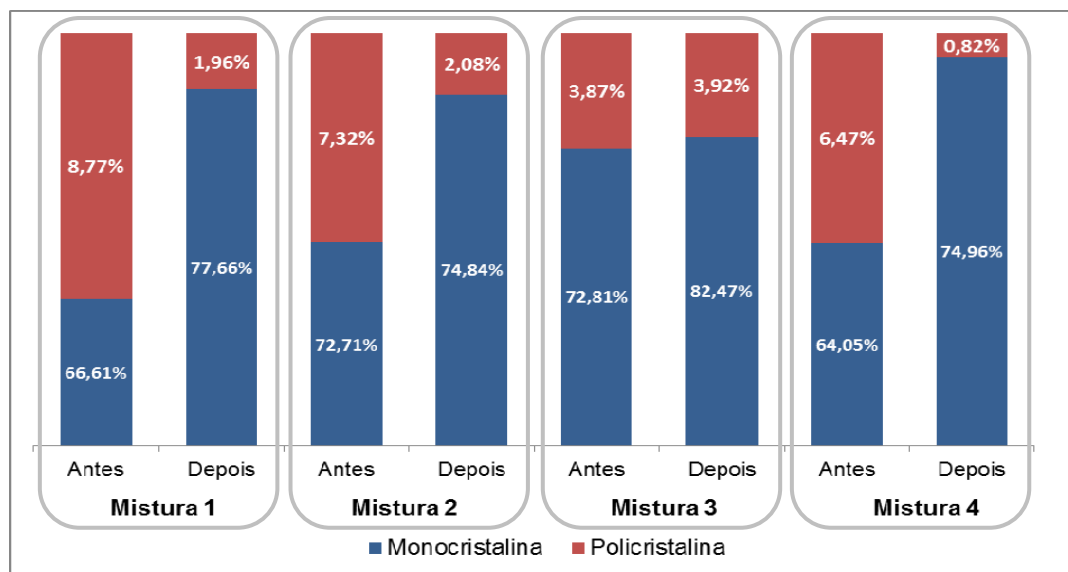
**Figura 2.** Resultados de participações de hematita, martita, goethita e outros minerais.

A Figura 3 mostra a participação de hematita tabular e granular antes e após moagem das misturas referentes às pelotas de alto forno (misturas 1 e 2) e de redução direta (misturas 3 e 4).



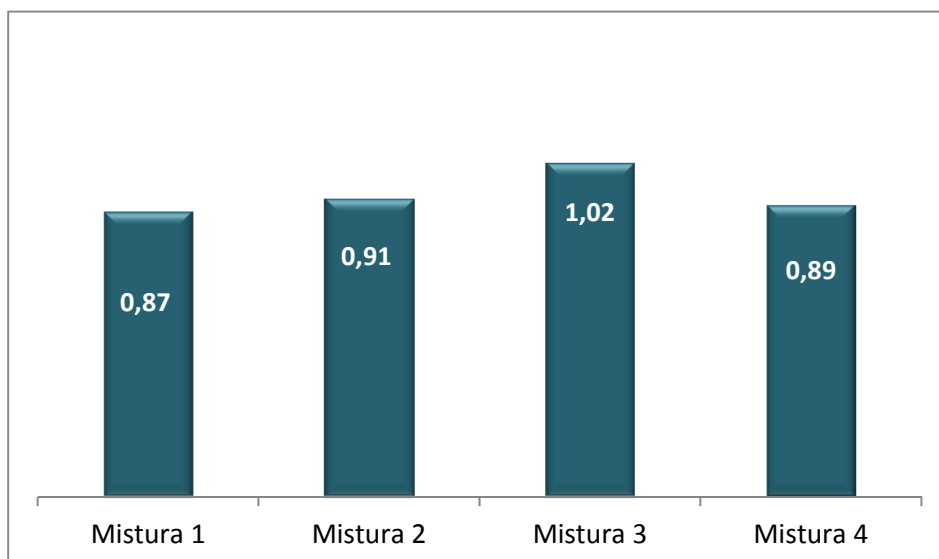
**Figura 3.** Resultados de microestruturas antes e após moagem.

A Figura 4 mostra os resultados antes de após moagem das partículas monocristalinas e policristalinas das misturas 1 a 4.



**Figura 4.** Resultados de partículas mono e policristalina antes e após moagem.

Pode ser visto no gráfico da Figura 5 os resultados de produtividade através do ensaio de leaf test.

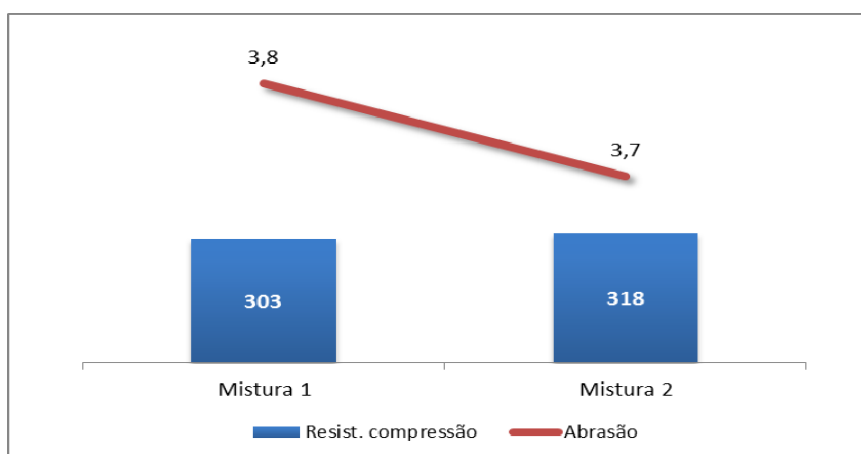


**Figura 5.** Resultados de produtividade (TMS/h/filtro) das misturas 1 a 4.

A Tabela 5 e Figura 6 apresentam os resultados físicos e metalúrgicos da pelota de alto forno. Enquanto que a Tabela 6 e Figura 7 mostram os resultados de pelota de redução direta.

**Tabela 5.** Resultados de RDI, porosidade, inchamento das misturas referentes a pelota de alto forno

	RDI	Porosidade	Inchamento
<b>Mistura 1</b>	1,7	27,8	12,5
<b>Mistura 2</b>	4,7	26,8	15,0



**Figura 6.** Resultados de resistência a compressão e abrasão das pelotas de alto forno.

**Tabela 6.** Resultados de ensaios de desintegração e grau de metalização da pelota de redução direta

	Desintegração	GM
<b>Mistura 3</b>	0,69	95,31
<b>Mistura 4</b>	0,73	95,35

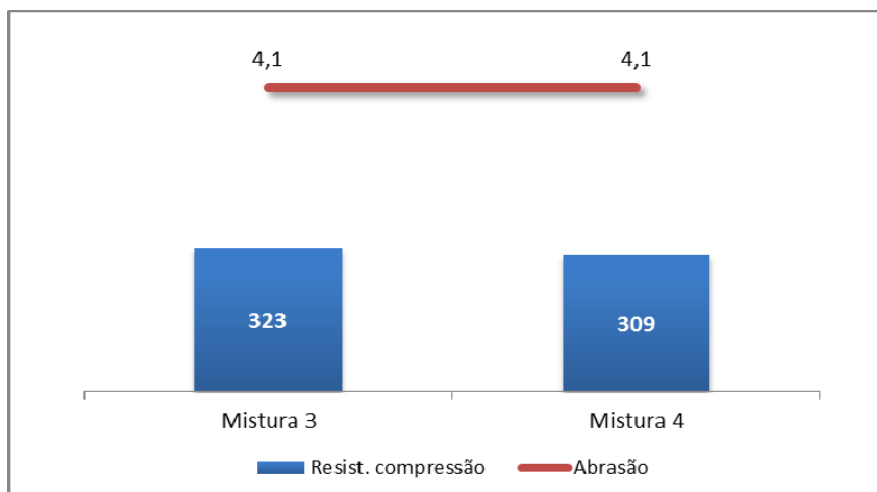


Figura 7. Resultados de resistência a compressão e abrasão de pelotas de redução direta.

## 4 DISCUSSÕES

Em relação aos resultados de análise química e granulometria, o minério C possui características diferentes que os demais minérios. Além de alto teor de sílica deste minério, o mesmo apresenta granulometria grosseira para o processo de pelletização. Porém não impede de ser usado em uma quantidade limitada na composição da mistura. Minérios com granulometria mais grosseira necessitam de maior energia na moagem para alcançar a superfície específica do processo, assim como minérios com minerais mais compactos.

Os minérios D e E são mais finos, isto é, maior porcentagem na faixa menor do 0,045mm do que os minérios A e B. Em relação à granulometria, as misturas 1 a 4 mostraram participações variáveis avaliando em relação aos finos <0,063mm. A mistura 4 pode ser considerada mais fina em relação as demais, tendo o total de 60,37% <0,063.

Avaliando os resultados das misturas de alto forno e redução direta, o índice de moabilidade das misturas não diferencia entre elas, sendo pequena a diferença entre os resultados de superfície específica das misturas. Mesmo com esses resultados similares de moabilidade e superfície específica, foi visto que a microestrutura altera significativamente após moagem.

As misturas foram submetidas a análise de microscopia ótica, sendo evidenciado que as misturas 3 e 4 apresenta maior participação de minerais porosos, o que pode impactar no processo de filtragem e pelletamento. As hematitas tabulares foram quebradas ao invés de cisalhadas devido ao tipo de corpo moedor, mostrando que grande porcentagem de hematita tabular se transforma em hematita granular.

Também pode ser observado através da microscopia ótica foi a quebra de partículas policristalinas após moagem. Todas as misturas mostraram este efeito, sendo que a mistura 4 apresentou maior redução de partículas policristalinas em relação as demais misturas.

## 5 CONCLUSÕES

Independente dos resultados diferentes de granulometria das misturas, a mesma não interferiu no processo de pelletização.



Os resultados de mineralogia usando microscopia ótica antes e após a moagem mostrou informações importantes para o estudo e conhecimento técnico da área de desenvolvimento de processo e operação das plantas.

Sabe-se que partículas tabulares podem impactar no processo de filtragem e pelotamento, devido à angulosidade das mesmas. Onde foi observado que as porcentagens de partículas tabulares reduziram significativamente após moagem.

A mineralogia foi muito importante para o conhecimento do processo antes e após as operações unitárias. Porém mesmo mostrando diferença entre os microestruturas dos minerais, não foi possível verificar impacto nos resultados físicos e metalúrgicos do produto final.

Apesar de verificar as diferentes granulometrias entre as misturas, este fato não mostrou influência no processo de moagem e pelotamento. Como também, não foi possível verificar esta influência no produto final. Além disso, os resultados metalúrgicos e físicos na pelota queimada não apresentaram diferenças tanto para pelota de alto forno quanto pelota de redução direta.

### **Agradecimentos**

Agradeço a todos que colaboraram direta e indiretamente neste trabalho. Além do Centro Tecnológico de Ferrosos/Vale, Samarco Mineração e Fundação Gorceix. Agradeço a todos do Laboratório Químico, Metalúrgico e de Caracterização de Materiais da DIPE/Vale Tubarão.

Em especial gostaria de agradecer a todos da Usina Piloto/DIPE/Vale Tubarão que empenharam e dedicaram no trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 ROSIÈRE, C. A., CHEMALE, J. F. Itabiritos e Minérios de Ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero - Uma visão geral e discussão. Geonomos, 2000. 8 (2): 27-43.
- 2 TAKEHARA, L. Caracterização geometalúrgica dos principais tipos de minério de ferro brasileiros na fração sinter feed. Tese (Doutorado). Pós-graduação em Geociências. Porto Alegre: UFRGS, 2004. 372p.