

# CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO PELLET FEED DA MINA DE BRUCUTU PARA UTILIZAÇÃO EM PELOTAS DE REDUÇÃO DIRETA<sup>1</sup>

Eider Reis Dutra<sup>2</sup>  
Kioshi Márcio Kaneko<sup>2</sup>  
Rita Virgínia Gabriel da Silva<sup>3</sup>  
Washington Luiz Mafra<sup>2</sup>

## Resumo

A Mina de Brucutu parte integrante do Complexo Ferrífero das Minas Centrais, no distrito de São Gonçalo do Rio Abaixo na borda leste do Quadrilátero Ferrífero, apresenta minério de ferro com caráter tectônico-hidrotermal e supergênico, como itabiritos e corpos de hematita de variadas dimensões e geometrias. Para avaliação da potencialidade do *pellet feed* produzido na mina de Brucutu, na produção de pelotas para redução direta, variou-se o tipo e a quantidade dos *pellet feeds* utilizados para a produção da pelota, mantendo no *mix* 60% dos *pellet feeds* provenientes das minas de Itabira. *Pellet feeds* e insumos utilizados foram caracterizados química e mineralogicamente. As pelotas produzidas em escala piloto (*pot grate*) foram caracterizadas por meio de análises químicas, testes físicos e metalúrgicos e os resultados foram confrontados com dados de *basket test*. Os resultados obtidos tanto em escala piloto como industrial indicam que a pelota de redução direta obtida é ideal para utilização em reatores de redução direta e atendem as especificações de mercado.

**Palavras-chave:** *Pellet feed*; Redução direta; Características metalúrgicas.

## TECHNOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE BRUCUTU MINE PELLET FEED FOR DIRECT REDUCTION PELLETS

### Abstract

The Brucutu Mine is part of the Central Mines Ferriferous Complex, within the São Gonçalo do Rio Abaixo District, located in the eastern edge of the Ferriferous Quadrangle, presenting iron ores of tectonic-hydrothermal and supergenic nature, such as itabirites and hematites. In order to evaluate the feasibility of the use of the Brucutu pellet feed in the production of direct reduction pellets, an experimental planning was used, varying both the type and the amount of the pellet feeds used. *Pellet feeds* and other materials used were characterized both chemically and mineralogically. The pot grate pellets were characterized by chemical analysis, physical and metallurgical testing, and the results obtained were similar to industrial basket test data. The produced pellets met RD pellets standard market specification in pilot and industrial scale.

**Key words:** Pellet feed; Direct reduction; Metallurgical characteristics.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao VIII Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 18 a 21 de setembro de 2007, Salvador - BA, Brasil.

<sup>2</sup> Departamento de Tecnologia e Assistência Técnica em Ferrosos, CVRD - DITF

<sup>3</sup> Departamento de Pelotização, CVRD – DIPE

## INTRODUÇÃO

A Mina de Brucutu é parte integrante do Complexo Ferrífero das Minas Centrais no Distrito de São Gonçalo do Rio Abaixo, borda leste do Quadrilátero Ferrífero, conforme apresentado na Figura 1. Esta mina apresenta minérios de ferro de caráter tectônico-hidrotermal e supergênico, como itabiritos e corpos de hematita de variadas dimensões e geometrias, com potencialidade para geração de *pellet feed* (PF) de alta redutibilidade e metalização. Apresenta uma complexa estruturação geológica em função da superposição de vários eventos tectônicos que condicionam o processo da mineralização ferrífera.

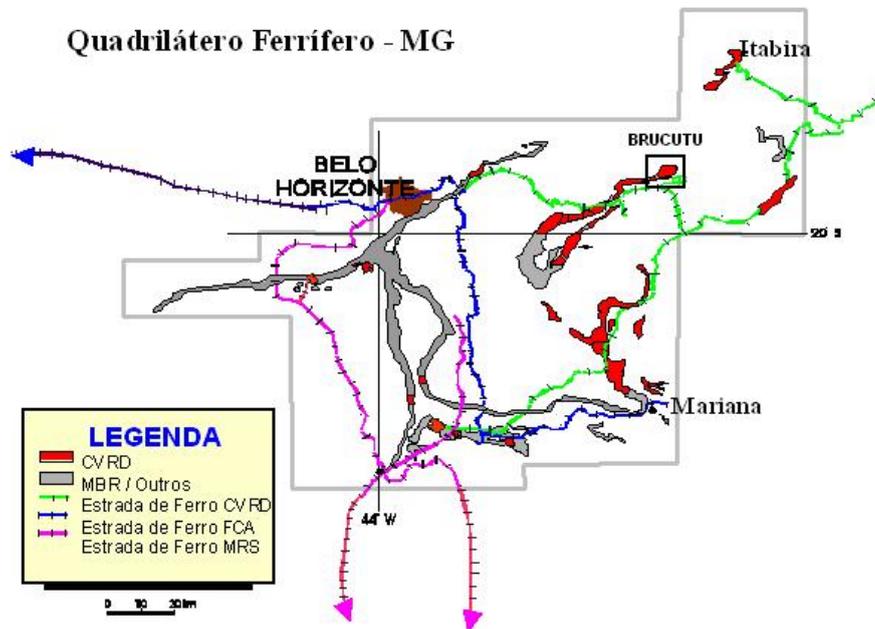


Figura 1: Localização da Mina de Brucutu

A mina de Brucutu está sendo lavrada desde 1992 pela CVRD, onde o *run of mine* (ROM) é direcionado para instalação de beneficiamento com britagem e peneiramento a seco, produzindo granulado e fino comum. Com investimentos de US\$ 1.1 bilhões, a mina de Brucutu teve seu início de operação em outubro de 2006 com uma nova instalação de beneficiamento com britagem, classificação por peneiramento, moagem e concentração por jig, concentração magnética (WDRE e Jones) e flotação, conforme esquema apresentado na Figura 02, para produzir 30 milhões de toneladas de produtos por ano, sendo aproximadamente 15 milhões de PF destinados tanto para exportações como para atender as usinas de pelletizações da CVRD.

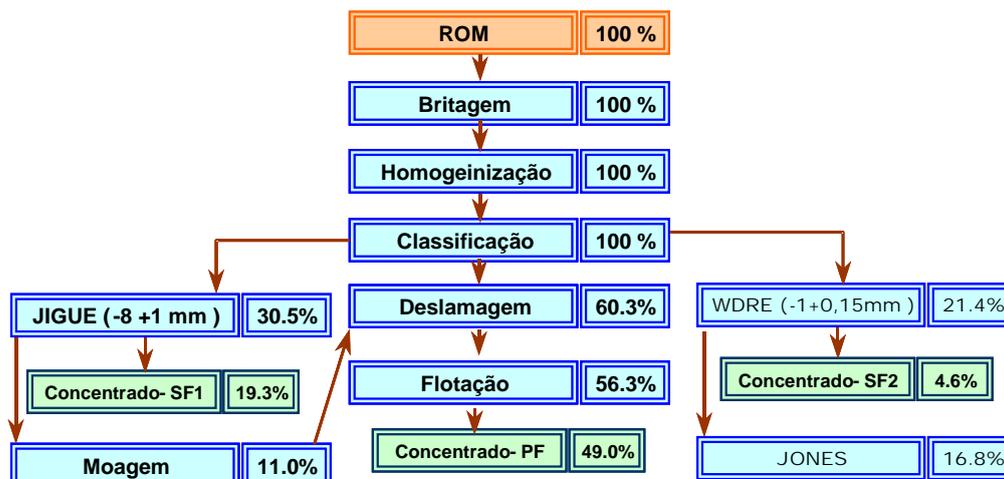


Figura 2 - Fluxograma de processo da Mina de Brucutu

Dentro do programa de caracterização do PF de Brucutu para utilização em campanhas redução direta, a equipe de pesquisa geológica gerou amostra de ROM representativa das qualidades física e química da cava de Brucutu para teste piloto, visando geração de concentrado (PF) a ser utilizado em ensaios de moagem, pelotamento e queima no Laboratório de Pesquisas Tecnológicas de Ferrosos da CVRD, em Vitória - ES.

As caracterizações física, química e mineralógica do PF de Brucutu, mostram que esse produto apresenta qualidade suficiente para ser utilizado em produções de pelotas para redução direta (RD).

## OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é avaliar a viabilidade do PF da mina de Brucutu na utilização em misturas para produção de pelotas para processos de redução direta (RD), através de caracterizações física, química e mineralógica do PF Brucutu e avaliações física, química e metalúrgica de uma pelota queimada produzida a partir desse PF. Dessa forma, pode-se flexibilizar PF's para campanhas de produção de pelotas para RD, maximizar novas reservas e viabilizar potenciais PF's em substituição àqueles de menor disponibilidade ou de maior custo operacional.

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para avaliação da viabilidade do PF da mina de Brucutu em misturas para produção de pelotas para processos de RD, variou-se o tipo e as quantidades dos PF's utilizados, com a premissa de que um dos componentes da mistura fosse fixado em 60%.

## CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA MISTURA PRD

Os PF's e insumos utilizados no desenvolvimento do estudo de pelotização em escala piloto foram caracterizados quimicamente (Tabela 1). Os resultados foram utilizados para cálculo dos balanços de massa para determinação dos percentuais a serem utilizados na etapa de obtenção de pelotas queimadas.

**Tabela 1:** Análise química dos PF's e insumos para realização de balanço de massa

<i>Pellet Feed's</i>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Mn	PPC
PF 01	69.11	0.55	0.29	0.02	0.03	0.013	0.039	0.31
PF 02	68.50	0.75	0.66	0.07	0.01	0.026	0.331	1.38
PF 03	68.64	1.08	0.36	0.02	0.02	0.015	0.083	0.31
PFBrucutu	68.98	0.83	0.25	0.01	0.05	0.010	0.020	0.36
Insumos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Mn	PPC	
Calcário Dolomítico "EDK"	2.71	0.50	39.46	12.89	0.016	0.010	42.94	
Calcário Dolomítico "Extramil"	1.09	0.22	32.09	18.26	0.006	1.172	44.01	
Bentonita ASHAPURA	49.01	16.28	1.06	2.75	0.095	0.010	8.56	
Bentonita UNIÃO	59.52	15.89	1.28	2.37	0.012	0.010	7.72	
Antracito	33.27	23.22	1.24	0.44	0.137	0.069	88.79	
	<b>Cinzas - 11,22</b>		<b>Voláteis - 17,20</b>		<b>Carbono Fixo - 71,58</b>			

Todos os PF's utilizados nas misturas foram caracterizados detalhadamente com relação à mineralogia, morfologia, índice de moabilidade e granulação (tamanho dos cristais) e os resultados estão apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

**Tabela 2:** Comparação dos resultados de avaliação mineralógica de diferentes PF's

<b>Avaliação Mineralógica (%)</b>				
<b>Amostras</b>	<b>PF 01</b>	<b>PF 02</b>	<b>PF 03</b>	<b>PFBrucutu</b>
Hematita	97	93	96	<b>96</b>
Goethita - Limonita	2	6	2	<b>2</b>
Magnetita	0	0	0	<b>2</b>
Óxidos de Mn	0	0	0	<b>0</b>
Outros	1	1	2	<b>0</b>

**Tabela 3:** Comparação dos resultados dos tipos morfológicos dos cristais de óxidos e hidróxidos de ferro de diferentes PF's

<b>Tipos Morfológicos (%)</b>				
<b>Amostras</b>	<b>PF 01</b>	<b>PF 02</b>	<b>PF 03</b>	<b>PFBrucutu</b>
Microcristalina	0	44	0	<b>0</b>
Martita	0	6	0	<b>5</b>
Lobular	2	41	0	<b>0</b>
Granular	35	0	26	<b>8</b>
Lamelar	60	0	71	<b>83</b>
Magnetita	0	0	0	<b>2</b>
Goethita	2	5	1	<b>2</b>
Agregado limonítico	0	0	0	<b>0</b>
Outros	1	4	2	<b>0</b>

Em relação à mineralogia, o PF Brucutu apresenta pequena quantidade de minerais porosos (martita e hematita microcristalina) e hidróxidos (goethita e agregado limonítico), o que reflete no seu baixo índice de moabilidade (Tabela 4). Este fato pode ser ampliado caso a proporção entre partículas poli e monocristalinas seja grande. O PF Brucutu apresenta elevada proporção de hematita lamelar o que pode refletir positivamente na resistência física e na etapa de queima, pois haverá menor alteração de estrutura em função de choque térmico, e ainda, aumentando a velocidade de formação de pelotas cruas.

**Tabela 4:** Comparação dos resultados do índice de moabilidade de diferentes PF's

<b>Amostras</b>	<b>PF 01</b>	<b>PF 02</b>	<b>PF 03</b>	<b>PFBrucutu</b>
<b>I.M. (cm<sup>2</sup>/g.Wh)</b>	1.203	3.650	1.228	1.240

Com relação à análise da granulação dos cristais (Tabela 5), o PF Brucutu apresenta cristais de fino a médio, o que favoreceria a redutibilidade.

**Tabela 5:** Comparação dos resultados de granulação dos cristais de diferentes PF's da mistura

<b>Granulação dos cristais (%)</b>				
<b>Amostras</b>	<b>PF 01</b>	<b>PF 02</b>	<b>PF 03</b>	<b>PFBrucutu</b>
Muito fina < 0,01 mm	1	50	2	<b>11</b>
Fina 0,01 a 0,03 mm	17	44	8	<b>32</b>
Média 0,04 a 0,11 mm	60	4	58	<b>46</b>
Grossa 0,12 a 0,22 mm	17	1	22	<b>11</b>
Muito grossa > 0,22 mm	5	1	10	<b>0</b>

Com relação à composição química o PF Brucutu apresenta teor em ferro extremamente alto, alumina, fósforo e perda ao fogo muito baixos, sendo um PF com excelente qualidade química para produção de PRD (Tabela 1).

## AVALIAÇÃO EM ESCALA PILOTO (*POT GRATE*)

Para avaliar o impacto da utilização do PF Brucutu na qualidade das pelotas de redução direta foram realizadas queimas em *pot-grate* utilizando as misturas apresentadas na Tabela 6. As pelotas foram geradas em disco de pelotamento piloto com diâmetro interno de 800 mm, velocidade de 19 rpm e inclinação de 45°. As pelotas cruas foram peneiradas e caracterizadas com relação à resistência à queda e resistência à compressão úmida e seca e os resultados obtidos apresentados na Tabela 7.

Paralelamente à caracterização física, as pelotas foram separadas em duas faixas granulométricas, -16 mm +12,5 mm e -12,5 mm +10 mm. Foi realizada uma queima utilizando-se esferas de mulita com camadas lateral e de forramento. As pelotas queimadas nessa etapa foram utilizadas como camada de forramento para as duas queimas realizadas em seguida. O material assim obtido foi caracterizado química (Tabela 8), física e metalurgicamente (Tabela 9).

**Tabela 6:** Composição das misturas para avaliação das pelotas queimadas

Caso	Mistura (%)			
	PF 01	PF 02	PF 03	PFBrucutu
1	30	0	30	40
2	30	13	30	27
3	30	27	30	13
4	30	40	30	0

**Tabela 7:** Qualidade física das pelotas cruas

Caso	Pelota Crua		
	N.Q.	R.P.V. (daN/p)	R.P.S. (daN/p)
1	9.9	1.6	5.6
2	13.6	1.4	5.0
3	12.3	1.4	5.7
4	14.8	1.4	5.3

**Tabela 8:** Qualidade química das pelotas queimadas

Qualidade Química Média das Pelotas Queimadas Produzidas										
Caso	Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	Mn	TiO <sub>2</sub>	LOI	B2
1	67,91	1,18	0,42	0,58	0,25	0,013	0,14	0,45	0,06	0,49
2	67,88	1,15	0,48	0,57	0,25	0,014	0,14	0,08	0,05	0,50
3	67,84	1,16	0,52	0,63	0,27	0,017	0,14	0,07	0,04	0,54
4	67,72	1,19	0,56	0,62	0,27	0,018	0,18	0,08	0,04	0,52

**Tabela 9:** Qualidade física e metalúrgica das pelotas queimadas

<b>Qualidade Física e Metalúrgica Média das Pelotas Queimadas</b>						
Caso	Análise Física			Análise Metalúrgica		
	+6,3mm (%)	- 0,5mm (%)	R.C. (daN/p)	G.Met (%)	-3,15mm (%)	+10,0mm (%)
1	96.7	2.8	331	93.5	1.5	97.6
2	97.3	2.5	349	93.5	1.6	97.5
3	96.9	3.0	335	87.9	1.7	96.7
4	97.3	2.5	342	93.0	1.4	98.0

Os resultados acima indicam que a utilização do PF Brucutu em misturas para campanhas de pelotas para redução direta apresentou os seguintes aspectos:

- Melhoria da qualidade química da pelota queimada, indicando redução de contaminantes como alumina e fósforo e alto teor em ferro;
- Manutenção da qualidade da pelota crua;
- Ligeira tendência de aumento do índice de abrasão (2,5 para 2,8%), porém muito abaixo do limite superior de controle operacional (5,0);
- Manutenção da desintegração (%>10,0 mm);
- Resistência à compressão em patamares elevados com valor mínimo igual a 331 daN/pelota para a pelota produzida com 40% de PF Brucutu;
- Manutenção do grau de metalização, considerando variabilidade do ensaio ISO 11257 (s ~ 1,5%). Esse resultado é importante, pois o grau de metalização é o principal parâmetro metalúrgico de avaliação de pelotas de redução direta.

### **AVALIAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL (*BASKET TEST*)**

Para validar os resultados metalúrgicos obtidos nos testes de *pot-grate*, amostras foram enviadas para realização de *basket test* em um forno industrial Midrex. Foram enviadas amostras com composição de 13 e 40% de PF Brucutu. A Tabela 10 apresenta os resultados do teste de performance industrial, obtido em reator de redução direta comparados aos resultados de uma amostra padrão do tipo redução direta produzida em escala industrial.

**Tabela 10:** Resultados médios obtidos em *basket test* para pelotas produzidas em *pot-grate* comparados à base de pelota industrial

<b>Grau Metalização (%) - <i>Basket Test</i></b>		
%PFBrucutu	Am. CVRD <i>pot grate</i> -	Amostra RD -industrial-
40	93.2	92.2
13	94.0	93.9

O tempo médio de permanência das amostras no forno foi de aproximadamente sete horas e quarenta minutos. Os resultados indicam que não houve diferença significativa de metalização entre as amostras produzidas com ou sem participação do PF Brucutu.

## CONCLUSÕES

O PF Brucutu recebido no Centro de Pesquisas Tecnológicas de Ferrosos da DIPE para ensaios em *pot grate* apresenta características químicas e físicas adequadas à utilização em misturas para produção de pelotas de RD.

Os testes em *pot grate* e os resultados metalúrgicos indicaram que as pelotas obtidas com a participação do PF Brucutu apresentaram qualidade satisfatória, com manutenção da qualidade da pelota crua; ligeira diminuição da resistência à compressão média das pelotas, apresentando valor mínimo de 331 daN/pelota, manutenção da resistência à degradação e metalização.

A participação do PF Brucutu na atual matriz de pelota redução direta manterá o nível atual de metalização. Os resultados metalúrgicos obtidos nos testes de *pot grate* foram confirmados com avaliações em *basket tests* em reatores de redução direta industrial, mostrando a manutenção do nível de metalização das pelotas produzidas com a participação do PF Brucutu.

Diante disso, a utilização do PF Brucutu no *mix* de pelotas tipo redução direta implicará na viabilidade e desenvolvimento de novos recursos e reservas de baixo custo e economia de aproximadamente US\$ 20 milhões por ano, devido substituição de PF provenientes de minas de altos custos operacionais.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 ALFENAS, M.J.G.; CALDEIRA, L.E. *Mina Brucutu – Amostras para teste piloto*. Relatório Interno CVRD. 2002.
- 2 Docegeo. *Modelamento Geológico da Jazida de Brucutu* – Departamento de ferrosos. Vol. 01 – Texto, Relatório Interno CVRD. 1995.
- 3 DUTRA, E. R.; KANEKO, K. M.; SILVA, R. V. G.; MAFRA, W. L. *Caracterização Tecnológica do pellet feed da Mina de Fábrica Nova para utilização em pelotas de redução direta*. In: XXXVI SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO E MATÉRIAS-PRIMAS E VII SEMINÁRIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO. 2006, Ouro Preto - MG. São Paulo: ABM, 2006. p.565-572.
- 4 MOURÃO, J. M.; FREITAS, G. G.; GARIGLIO, E.; KLEIN, M. S. *Influência da Gênese dos Minérios de Ferro na Etapa de Formação de Pelotas Cruas no Processo de Pelotização*, In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MINÉRIO DE FERRO: CARACTERIZAÇÃO, BENEFICIAMENTO E PELOTIZAÇÃO. 1996, Ouro Preto – MG. São Paulo: ABM, 1996. p.75-93.