

# FABRICAÇÃO DE PELotas COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE<sup>1</sup>

*José Roberto de Oliveira<sup>2</sup>  
João Batista Conti<sup>2</sup>  
Leandro Munhoz de Avellar<sup>3</sup>  
Ramiro da Conceição Nascimento Júnior<sup>2</sup>*

## Resumo

O presente trabalho propõe um estudo da possibilidade tecnológica da utilização do resíduo de mármore na produção de pelotas de interesse siderúrgico, objetivando a diminuição da extração de calcário, no estado do Espírito Santo e, conseqüentemente, a preservação do meio ambiente. Como as principais justificativas para a realização deste trabalho, destacam que os resíduos provenientes do corte do mármore possuem em sua composição, o calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) e CaO (cal), que são matérias primas importantíssimas ao processo de pelotização, na produção de pelotas de interesse siderúrgico, o calcário é extraído da natureza e a cal é adquirida virgem e posteriormente hidratada e granulometria é da ordem de 150  $\mu\text{m}$  o que torna possível sua aplicação na pelotização, além de não ter que passar pelo processo de moagem.

**Palavras Chaves:** Pelotas; Resíduo de mármore; Resistência a compressão.

## PRODUCTION OF PELLETS WITH THE USE OF MARBLE WASTE

### Abstract

This paper proposes a study of technological possibility of using waste marble in the production of pellets of interest in order to decrease the extraction of limestone, in Espírito Santo, and, consequently, the preservation of the environment. As the main justifications for this work, we highlight that waste from the cutting of marble have in its composition, limestone ( $\text{CaCO}_3$ ) and CaO (lime), which are very important raw materials to the pelletizing process, the production of pellets, because limestone is extracted from nature and lime is hydrated and subsequently acquired virgin and particle size is around 150  $\mu\text{m}$  which makes possible their application in the pellet, and not having to go through the grinding process.

**Key words:** Pellets; Waste of marble; Compressive strength.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES

<sup>2</sup> Professor e Doutor em Engenharia Metalúrgica - Departamento de Metalurgia/ Instituto Federal do Espírito Santo.

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Metalúrgica - Departamento de Metalurgia/ Instituto Federal do Espírito Santo.

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo é responsável por praticamente 60% da produção brasileira de rochas ornamentais, principalmente mármore e granitos. Durante a produção de rochas ornamentais, uma grande quantidade de resíduos sólidos, com granulometria inferior a 150  $\mu\text{m}$  é gerada. Cabe ressaltar que o aproveitamento dos resíduos gerados no beneficiamento de granito tem sido tema de vários trabalhos na literatura especializada, porém pouca literatura tecnológica existe sobre o aproveitamento dos resíduos sólidos gerados no corte do mármore. Tais resíduos possuem teores elevados de calcário e de cal hidratada e, conseqüentemente, possuem potencial para serem utilizados na produção de pelotas de interesse siderúrgico.

Na fabricação destas pelotas além do minério de ferro, que é a matéria prima principal, são usados principalmente; calcário, que é formado por  $\text{CaCO}_3$ , e  $\text{MgCO}_3$  (como fonte de  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ) e cal hidratada em diferentes proporções dependendo do tipo de pelota a ser fabricada. Estas matérias primas são extraídas da natureza e submetidas a tratamentos como moagem e hidratação no caso da cal, antes de serem usadas no processo.

Considerando a produção brasileira de rochas ornamentais de 2008, que foi de 7,8 milhões de toneladas, e que os mármore correspondem a 20% dessa produção, tivemos um total de 1,56 milhões de toneladas de mármore produzidos no Brasil.<sup>(1)</sup> Considerando ainda que a taxa de geração de resíduos nas instalações de mármore é de cerca de 30%, chega-se a uma quantidade de 468 mil toneladas de resíduos de mármore gerados em 2008.<sup>(1)</sup>

O resíduo gerado no corte dos blocos possui em sua composição química,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ , e  $\text{SiO}_2$ , se for cortado com fios adiamantados. Além de ter os elementos citados, pode possuir Cal hidratada, ferro metálico e óxidos de ferro proveniente das lâminas e granalhas usadas e da polpa abrasiva, para o caso em que o corte for feito através de serras metálicas.

Em qualquer um dos casos, o resíduo gerado, apresenta potencial para ser usado como matéria prima na fabricação de pelotas, pois sua composição possui os elementos ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  e cal hidratada) que são usados na fabricação das pelotas. Além disto, a granulometria do resíduo, o torna propício para o processo de pelletização, sem que haja a necessidade de moagem.<sup>(2)</sup> Portanto, o presente trabalho propõe um estudo da possibilidade tecnológica da utilização do resíduo de mármore na produção de pelotas de interesse siderúrgico, objetivando a diminuição da extração de calcário, no estado do Espírito Santo, e, conseqüentemente, a preservação do meio ambiente. É interessante ressaltar que o estado também é o maior produtor de pelotas, tendo em seu território duas das principais produtoras de pelotas do mundo, Vale e Samarco, que produziram respectivamente 50 milhões e 21,5 milhões de toneladas /ano de pelotas de minério de ferro em 2010.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de realizar este trabalho foram coletados 30 kg de resíduo de mármore, sendo 15 kg de resíduo proveniente de mármore cortado com fio diamantado, e 15 kg de resíduo de mármore cortado com tear de granalha, e as matérias primas utilizadas para fabricar pelotas de interesse siderúrgico nas seguintes proporções: 30 kg de Polpa de minério de Ferro e 20 kg de cal hidratada.

Com as matérias primas obtidas passou-se para etapa de análises químicas e físicas para saber se o resíduo obtido é aplicável a pelletização, seguido de preparação de matéria prima, pelletamento e queima das mesmas. Foram preparados 10 kg de pelotas verdes e queimada 2 kg.

Com as pelotas já queimadas foi feito um ensaio de resistência à compressão para saber se as pelotas podem ser utilizadas em alto forno.

### 3 RESULTADO E DISCUSSÕES

#### 3.1 Análise Granulométrica do Resíduo

A granulometria do material é um fator determinante para processo de formação da pelota, assim influenciando nas propriedades físicas da pelota queimada, como por exemplo, na resistência a compressão da mesma.

Então no laboratório do IFES realizou-se a análise granulométrica dos resíduos. A Tabela 1 mostra somente a granulometria do resíduo cortado com fio adiantado, pois o cortado com granalha não apresentou a granulometria necessária para ser utilizado, provavelmente devido às partículas de ferro presentes. Portanto, os testes prosseguiram usando somente o resíduo de mármore cortado com fio adiantado.

**Tabela 1.** Análise Granulométrica do resíduo de mármore cortado com fio adiantado

Peneiras (mm)	Peso (gramas)	% em peso
> 1,2	0,000	0,000
1.2	0,5052	0,05052
0,6	1,1241	0,1124
0,3	4,827	0,48273
0.15	4,594	0,4594
0.075	3,5	0.35
0,045	969,35	96,9
<b>Massa Total Utilizada</b>	1.000 g	
<b>Perda de material no processo</b>	1,6 g	

O valor da granulometria do resíduo de mármore apresentou valor melhor que o esperado para aplicação na pelletização, pois 96,9% apresentou-se na granulometria < 0,045 mm o que é ideal para formação da pelota.

#### 3.2 Análise Química das Matérias Primas

A composição química das matérias primas determinada por fluorescência de Raios X em dois laboratórios é apresentada nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2.** Composição química da polpa de minério e da cal hidratada

Constituintes	Composição Química (%)	
	Polpa retida de minério	Cal Hidratada
Fe Total	66,05	-
SiO <sub>2</sub>	2,4	0,74
P	0,03	0,06
CaO	0,04	70,93
MgO	0,06	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72	-
Mn	0,04	-
TiO <sub>2</sub>	0,06	-
Granulometria (ALPINE) % - 0,045 mm	94	90,56

**Tabela 3.** Análise química do resíduo de mármore proveniente do corte com fio adiantado

Composto	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO
%	3,2	8,6	56	25	0,41

A utilização principal do calcário nos processos metalúrgicos, dentre eles a pelletização/siderurgia, é como fundente e como fornecedor de óxidos básicos, através do fornecimento de CaO e MgO para a carga, conforme as reações de calcinação descritas em seqüência, Calcário Calcítico,  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3 = \text{MgO} + \text{CaO} + \text{CO}_2$ .

Pela Tabela 3, nota-se que o resíduo de mármore cortado com fio adiantado apresentou 56% de CaO e 25% de MgO. Portanto, pode-se dizer que o resíduo de mármore proveniente do corte com fio adiantado possui potencial para ser utilizado na indústria de pelletização.

Após as etapas de análise química e física do resíduo e constatado que o mesmo pode ser utilizado no processo de pelletização, foi utilizado um balanço de massa com base em uma pelota comercial para a elaboração da mistura.

### 3.3 Preparação

A preparação da matéria-prima consiste nas etapas básicas de adequação granulométrica, ajuste de umidade, dosagem de aglomerante. Foram realizadas todas as adequações a fim de tornar o procedimento experimental mais próximo do industrial como é descrito a seguir.

O processo de dosagem de aglomerante foi realizado de acordo com o balanço de massa realizado, que determinou que a mistura de materiais deve conter: 96,06 kg de Polpa de minério, 0,269 kg de resíduo de mármore e 0,125 kg de Cal.

Para homogeneização da mistura foi utilizado um equipamento homogeneizador da marca Marconi, que pertence ao instituto federal do Espírito Santo. O tempo de homogeneização foi de 45 minutos para cada tipo de mistura.

Após a homogeneização da mistura, o material foi submetido ao processo de aglomeração no laboratório de resíduos do IFES, através do disco pelletizador da marca Engendrar, modelo 400 mm. As pelotas formadas foram selecionadas e peneiradas em um conjunto de peneiras Granutest, com abertura de malha de 1/2 in e 3/8 in.

A queima das pelotas foi realizada no Laboratório de redução do IFES, em um forno do fabricante INTI, modelo FE – 1700 (Figura 1).

A queima é a fase na qual a pelota adquire as características físico-químicas necessárias à sua aplicação metalúrgica como resistência a compressão, resistência à abrasão e redutibilidade. Em se tratando de definição de qualidade da pelota queimada, ela pode ser considerada a etapa final do processo de pelotização.

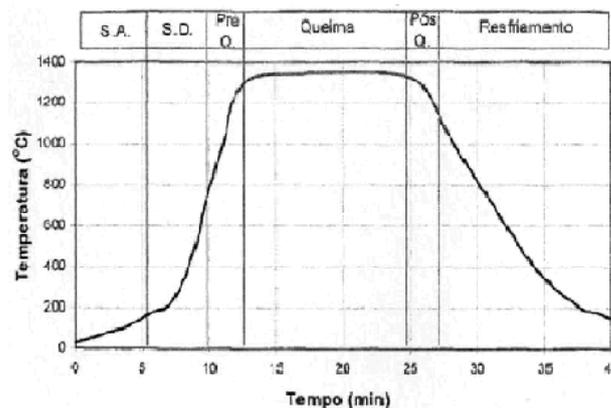


**Figura 1.** Forno usado no tratamento térmico das pelotas.

Os principais fenômenos que ocorrem durante esta fase são o crescimento dos grãos e as reações entre os ácidos do minério e as bases das adições, formando eutéticos de baixo ponto de fusão.

Genericamente, o tratamento térmico pode ser dividido em cinco etapas principais, que são secagem, pré-queima, queima, pós-queima e resfriamento. As temperaturas atingidas em cada uma dessas etapas estão ilustradas na Figura 2

Todas as etapas ao qual se têm estudos em diversas literaturas foram devidamente respeitadas em escalas laboratoriais. A Tabela 4 apresenta os vários tempos de permanência nas diferentes temperaturas.



	Tempo	%		Tempo	%
Secagem Ascendente	5'00"	12,8	Queima	12'20"	30,8
Secagem Descendente	04'20"	10,5	Pós Queima	02'20"	5,8
Pré-Queima	03'00"	7,6	Resfriamento	13'00"	32,5

**Figura 2.** Ciclo térmico típico da queima das pelotas.

**Tabela 4.** Ciclo térmico para sinterização das pelotas

<b>Etapa</b>	<b>Procedimento</b>
Pré-Aquecimento	Aquecimento 10°/min até atingir 400 °C
Aquecimento	Aquecimento 10°/min até atingir 1350 °C
Queima	Permanência da temperatura durante 8 min
Resfriamento Primário	Desligar o forno mantendo a plataforma fechada por 5 min
Resfriamento Secundário	Abriu o forno e deixar as pelotas resfriando

### 3.4 Classificação e Queima das Pelotas

Durante o pelotamento e processamento térmico é gerada uma fração de finos (pó e fragmentos das pelotas que sofreram ruptura ao longo do processo) que deve ser separada do produto final a fim de estreitar a faixa de distribuição granulométrica das pelotas, garantindo o atendimento às especificações exigidas pelos clientes.

O ensaio físico ao quais as pelotas queimadas foram submetidas foi o de resistência à compressão, realizado pelo laboratório de ensaio destrutivos do IFES, seguindo a norma NBR 4700.<sup>(3)</sup>

Para a realização do ensaio, foi utilizada uma amostra de 150 pelotas de cada tipo com granulometria variando de 10 mm a 16 mm.

Cada pelota, colocada entre dois pratos paralelos e horizontais de uma prensa hidráulica, foi comprimida até a sua fratura. Após o colhimento dos dados de resistência de cada pelota foi feito uma média dos resultados e tomado como resistência à compressão de toda a amostra (Tabela 5).

**Tabela 5.** Resultado do ensaio de resistência à compressão das pelotas queimadas

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
Numero de pelotas utilizadas no ensaio	100
Média das resistências encontradas	290 kgf
Desvio padrão	50 kgf
Resistência máxima encontrada	350 kgf
Resistência mínima encontrada	35 kgf
% de Pelotas com resistência menor ou igual a 250Kgf	0,4
% de Pelotas com resistência menor ou igual a 100Kgf	0,28
% de Pelotas com resistência menor ou igual a 78Kgf	0,015

O teste de compressão médio das pelotas foi satisfatório, pois estas tiveram uma resistência à compressão por volta de 290 kgf. Este resultado mostra a viabilidade técnica da utilização do resíduo, já que para as pelotas serem utilizadas em alto forno tem que apresentar um limite inferior de resistência à compressão que é de 290 kgf.

## 4 CONCLUSÃO

O resíduo proveniente do corte de mármore pode ser utilizado na fabricação das pelotas de minério de ferro como fonte de CaO e MgO em substituição ao calcário, preferencialmente o dolomítico, cuja composição química apresenta maior semelhança com a do resíduo quando comparado ao calcário calcítico, principalmente em relação aos teores de MgO encontrados.

Neste caso, tanto o resíduo cortado com fio diamantado quanto aquele cortado com

granalha pode ser utilizado em substituição ao calcário, desde que, no caso do resíduo com granalha, haja um processo prévio de cominuição para adequação da granulometria.

A resistência à compressão requerida para aplicação das pelotas em alto-forno está dentro do exigido.

### Agradecimento

Os autores agradecem à Vale pelo fornecimento das matérias-primas e realização de análises químicas.

### REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. Informe nº03/2009. Balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2008. ABIROCHAS, 2009.
- 2 MARTINS, J. **Procedimentos para avaliação de aglomerantes na pelotização.** ENTMME / VII MSHMT, novembro de 2007, Ouro Preto, MG, Brasil.
- 3 Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR ISSO 4007 – Pelotas de minério de ferro como insumo para alto-forno e redução direta — Determinação da resistência à compressão. 2010.