

# INFLUÊNCIA DA GÊNESE DOS MINÉRIOS DE FERRO NA ETAPA DE FORMAÇÃO DE PELotas CRUAS NO PROCESSO DE PELOTIZAÇÃO <sup>(01)</sup>

José Murilo Mourão <sup>(02)</sup>  
Geraldo Gonçalves Freitas <sup>(03)</sup>  
Evanio Gariglio <sup>(04)</sup>  
Marcelo da Silva Klein <sup>(05)</sup>

## RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência da gênese dos minérios de ferro sobre a etapa de formação das pelotas cruas (pelotamento), foram realizados diversos testes em escala piloto, com diferentes tipos de minérios e diferentes teores de aditivos (aglomerantes e fundentes).

Os resultados obtidos indicaram que propriedades associadas à gênese dos minérios determinam comportamentos distintos durante o pelotamento, em relação ao teor ótimo de umidade e à dosagem mínima de aglomerante requerida, além de influenciar os principais índices de qualidade das pelotas cruas (número de quedas, resistência crua e resistência seca).

Palavras chave: Pelotização, Aglomerabilidade, Gênese, Pelota Crua

---

(01) Trabalho a ser apresentado no I Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro: Caracterização, Beneficiamento e Pelotização - Ouro Preto, 14 a 17 de outubro de 1996

(02) Gerente Geral de Qualidade, Planejamento e Controle de Produção da Superintendência de Pelotização da CVRD.

(03) Gerente do Departamento de Análise e Desenvolvimento de Produto da Superintendência de Pelotização da CVRD.

(04) Engenheiro Metalurgista da Superintendência de Comercialização de Minério de Ferro da CVRD.

(05) Engenheiro Químico do Departamento de Análise e Desenvolvimento de Produto da Superintendência de Pelotização da CVRD.

## ***1. INTRODUÇÃO***

A CVRD processa em suas seis usinas de pelotização, instaladas no complexo industrial de Ponta de Tubarão (Vitória-ES), mais de 20 diferentes tipos de finos de minério de ferro. Esses materiais, de origens diversas, apresentam comportamentos distintos nas etapas do processo de pelotização.

O desafio de compatibilizar o beneficiamento de tal gama de minérios com a manutenção de condições operacionais estáveis e índices de produtividade e qualidade cada vez mais rigorosos, exigiu da CVRD o desenvolvimento de um criterioso e detalhado plano de caracterização química, física e microestrutural dos minérios de ferro utilizados na pelotização.

À medida em que ampliam-se os conhecimentos acerca das características e propriedades dos diferentes minérios utilizados na produção de pelotas, torna-se possível otimizar o processamento dos materiais nas diversas etapas do processo e estimar, preliminarmente, a performance das pelotas quando submetidas à redução nos altos fornos ou reatores de redução direta.

Dessa forma, importantes estudos nas áreas de moabilidade e redutibilidade de minérios de ferro foram desenvolvidos no passado pelo corpo técnico da CVRD. Esses estudos permitiram estabelecer importantes correlações entre a gênese, as características e o comportamento dos minérios no processo de pelotização.

Mais recentemente, a CVRD vem demonstrando interesse em estender tal abordagem à etapa de formação das pelotas cruas, conhecida como pelotamento. Essa etapa é de fundamental importância no processo de pelotização. A obtenção de pelotas queimadas com características físicas adequadas (granulometria, resistência física, etc) depende, em grande extensão, das condições em que forem produzidas as pelotas cruas, na etapa de pelotamento.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da gênese dos minérios de ferro sobre a etapa de formação das pelotas cruas (pelotamento), através da realização de testes em escala piloto, utilizando diferentes tipos de minérios e diferentes dosagens de aditivos (aglomerantes e fundentes).

## 2. GÊNESE DOS MINÉRIOS DE FERRO

A gênese de um minério de ferro pode ser entendida como sua origem e evolução, ou seja, a forma como o minério foi depositado inicialmente na natureza e por que condições de temperatura, pressão, esforços e intempéries passou ao longo de milhares de anos, até atingir sua forma atual.

O grau de metamorfismo e enriquecimento por que passou um determinado minério é determinante de suas características mineralógicas, de sua composição e de seu comportamento físico e metalúrgico. Do ponto de vista de metamorfismo/enriquecimento, os minérios de ferro podem ser classificados em dois tipos básicos: metassomáticos e supergênicos. A Tabela I resume as principais características de cada um desses tipos de minério.

Tabela I - Principais Características dos Minérios Metassomáticos e Supergênicos

	METASSOMÁTICOS	SUPERGÊNICOS
ENRIQUECIMENTO	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Elevado grau de metamorfismo</li><li>⇒ Crescimento e achatamento de cristais</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Baixo grau de metamorfismo</li><li>⇒ Enriquecimento por intemperismo (água da chuva, ventos, etc)</li></ul>
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Minérios compactos</li><li>⇒ Tamanho dos cristais: de fino (0,01 a 0,04 mm) a grosso (0,22 mm)</li><li>⇒ Coloração azulada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Minérios porosos</li><li>⇒ Tamanho dos cristais: de muito fino (&lt; 0,01 mm) a fino (0,01 a 0,04 mm)</li><li>⇒ Coloração marrom</li></ul>
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Pouco hidratados</li><li>⇒ Baixos teores de deletérios</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Muito hidratados</li><li>⇒ Altos teores de deletérios</li></ul>
CARACTERÍSTICAS METALÚRGICAS	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Elevada crepitação (granulado)</li><li>⇒ Baixa redutibilidade</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Baixa crepitação (granulado)</li><li>⇒ Alta redutibilidade</li></ul>
COMPORTAMENTO NA PELOTIZAÇÃO	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Baixa moabilidade</li><li>⇒ Fácil filtragem</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Alta moabilidade</li><li>⇒ Filtragem mais difícil, devido aos altos teores de microfinos</li></ul>

As diferenças de características entre os minérios metassomáticos e supergênicos resultam em comportamentos diferenciados dos mesmos durante a formação das pelotas cruas. Características como o formato, o tamanho e a textura de grãos, a capacidade de retenção de água, a capilaridade e a força de coesão entre partículas de minério determinam a velocidade de crescimento e o grau de compactação das pelotas cruas, além da quantidade de aglomerante necessária à formação de pelotas com qualidade satisfatória.

### 3. EQUIPAMENTOS

Os testes foram realizados utilizando os recursos disponíveis na planta piloto de pelotização da CVRD, cujo fluxograma simplificado é apresentado a seguir.

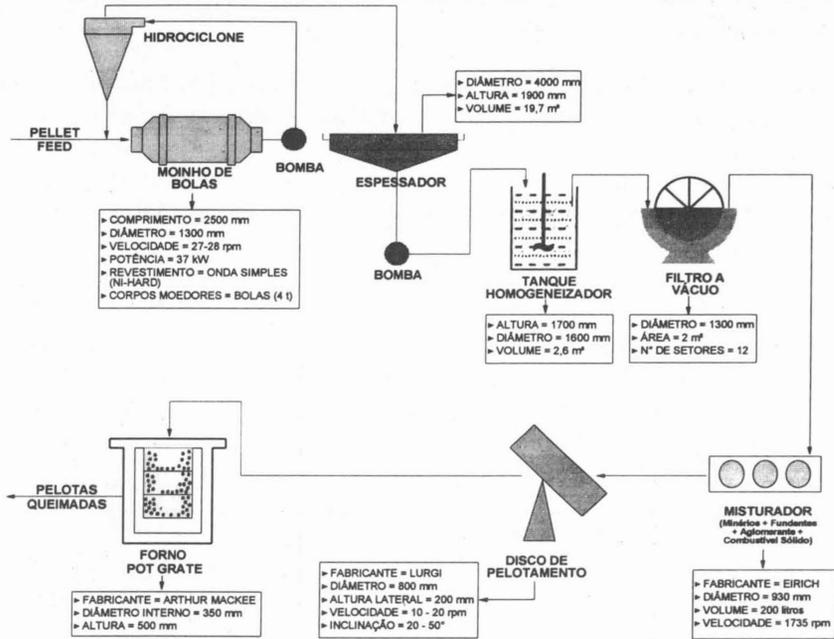


Figura 1 - Fluxograma simplificado da planta piloto de pelotização da CVRD

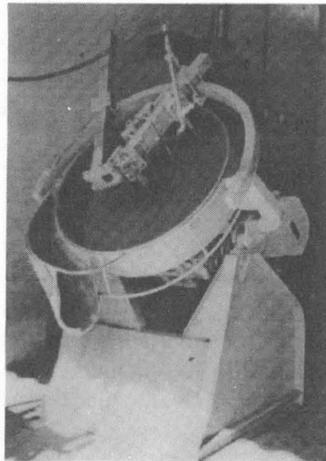


Figura 2 - Disco de pelotamento piloto

#### 4. MATERIAIS TESTADOS

Para avaliar o comportamento de minérios de ferro de gêneses diferentes na etapa de pelotamento, foram realizados testes em escala piloto, considerando-se dois tipos de finos, utilizados em larga escala na pelotização da CVRD, e identificados com a seguinte codificação:

- ☉ Pellet Feed “M” = representante do grupo de minérios de gênese metassomática;
- ☉ Pellet Feed “S” = representante do grupo de minérios de gênese supergênica.

A Tabela II apresenta as características químicas e físicas dos minérios utilizados.

Tabela II - Caracterização dos Pellet Feed “M” e “S”

MINÉRIO		PELLET FEED “M”	PELLET FEED “S”	MINÉRIO		PELLET FEED “M”		PELLET FEED “S”		
A Q N U Á Í L M I I S C E A	FeT	68,72	67,08	%	0,500 mm	Natural	Moido	Natural	Moido	
	SiO <sub>2</sub>	0,81	1,02			0,300 mm	0,48	0,00	0,00	0,00
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,31	0,59			0,150 mm	0,62	0,00	0,12	0,00
	CaO	0,02	0,02			0,106 mm	6,05	0,00	1,76	0,08
	MgO	0,02	0,02			0,075 mm	9,87	0,06	5,27	0,08
	P	0,016	0,044			0,063 mm	13,40	0,52	10,07	0,09
	S	0,001	0,004			0,045 mm	15,00	2,07	10,20	0,13
	TiO <sub>2</sub>	0,09	0,04			0,038 mm	18,01	5,81	16,17	0,69
	Mn	0,04	0,02			< 0,038 mm	13,47	9,16	12,24	3,30
	PPC	0,36	2,22				23,10	82,38	44,17	95,63

Algumas das diferenças típicas entre os pellet feed metassomáticos e supergênicos podem ser identificadas na Tabela II, como por exemplo os teores de fósforo e perda ao fogo (PPC) mais elevados para o minério supergênico “S” e seu maior percentual de microfinos (partículas de tamanhos inferiores a 0,038 mm).

A preparação dos minérios para a produção de pelotas cruas exigiu a moagem dos mesmos até a superfície específica (Blaine) da ordem de  $1750 \pm 50 \text{ cm}^2/\text{g}$ . A Figura 3 ilustra as curvas de distribuição granulométrica dos pellet feed "M" e "S", nas condições natural e moída. Observa-se que o minério metassomático natural apresenta menor percentual de partículas microfinas do que o minério supergênico.

A Figura 3 indica, ainda, que as curvas granulométricas dos produtos obtidos após a moagem dos pellet feed "M" e "S" em planta piloto foram praticamente coincidentes. Dessa forma, os materiais utilizados nos testes de pelotamento apresentaram a mesma distribuição granulométrica (avaliada até o limite inferior de  $8 \mu\text{m}$ ), eliminando-se, portanto, a influência da fração de microfins no comportamento dos minérios durante o pelotamento.

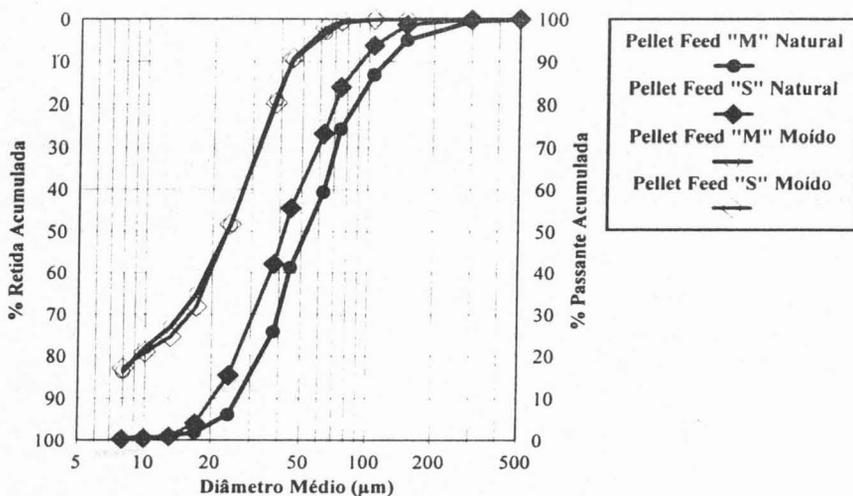


Figura 3- Distribuições granulométricas dos pellet feed "M" e "S" naturais e moídos

## **5. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL EM ESCALA PILOTO**

### **5.1. Preparação dos Materiais**

A adequação das características dos pellet feed para os testes de pelotamento exigiu a realização das seguintes atividades:

- Coleta de amostras de 10 toneladas (cada) dos pellet feed “M” e “S” na área de desembarque de vagões de minério de ferro em Tubarão, provenientes da região de Itabira (MG);
- Caracterização das propriedades químicas e físicas dos minérios coletados, realizada nos laboratórios de controle de qualidade da CVRD;
- Moagem a úmido dos pellet feed “M” e “S”, em moinho de bolas piloto, operando em circuito fechado com um hidrociclone, até a obtenção de produtos moídos (polpas cicladas) com superfícies específicas na faixa de  $1750 \pm 50 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Esse é o nível de finura a que as misturas de minérios e aditivos são moídas usualmente nas usinas de pelotização da CVRD;
- Espessamento, homogeneização e filtragem dos materiais moídos, utilizando-se o filtro de disco rotativo à vácuo, disponível na usina piloto.
- Adição e mistura de fundente, aglomerante e combustível sólido.

### **5.2. Testes de Pelotamento Para Definição de Umidades Ótimas**

Visando à determinação das umidades ótimas de pelotamento para os pellet feed “M” e “S”, foram realizados testes preliminares, nos quais pelotas cruas foram produzidas a partir dos materiais puros (sem adição de fundentes, aglomerantes e combustíveis sólidos), em diferentes níveis de umidade.

É conhecido da experiência industrial de manuseio e operação com diferentes tipos de minério, que a obtenção de pelotas cruas de qualidade satisfatória a partir de minérios metassomáticos requer teores de umidade inferiores aos exigidos pelos minérios supergênicos. Dessa forma, estabeleceu-se que o pellet feed “M” seria pelotizado nas umidades de 7 %, 8 %, 9 % e 10 %, enquanto que o pellet feed “S” seria pelotizado nas umidades de 9 %, 10 %, 11 % e 12 %.

Os teores de umidade ótimos para o pelotamento de cada material seriam determinados através da comparação da evolução da formação das pelotas cruas nas diferentes situações, e da análise da distribuição granulométrica e do tamanho médio das pelotas cruas obtidas.

Para todos os testes de pelotamento em escala piloto, foram adotados os seguintes parâmetros operacionais:

- ⇒ Massa de material para pelotamento: 110 kg
- ⇒ Taxa de alimentação: 3,7 kg/min
- ⇒ Tempo total de pelotamento: 30 minutos
- ⇒ Velocidade do disco de pelotamento: 19 rpm
- ⇒ Inclinação do disco de pelotamento: 45°

### 5.3. Testes de Pelotamento com Diferentes Proporções de Aditivos

Uma vez definidos os teores de umidade mais apropriados ao pelotamento dos pellet feed "M" e "S", foi realizada uma série de testes de pelotamento, a partir de misturas dos minérios com diferentes proporções de fundente (calcário calcítico) e aglomerante (cal hidratada), conforme apresentado na Tabela III. A quantidade de combustível sólido (antracito moído) adicionada a cada mistura foi fixada em 1,25%, reproduzindo as condições típicas adotadas industrialmente.

Tabela III - Misturas para Testes de Pelotamento

MISTURA	PELLET FEED	CAL HIDRATADA	CALCÁRIO CALCÍTICO	ANTRACITO MOÍDO
M1	"M"	3,35%	0,00%	1,25%
M2	"M"	2,50%	1,20%	1,25%
M3	"M"	1,20%	3,05%	1,25%
M4	"M"	0,00%	4,75%	1,25%
S1	"S"	3,35%	0,00%	1,25%
S2	"S"	2,50%	1,20%	1,25%
S3	"S"	1,20%	3,05%	1,25%
S4	"S"	0,00%	4,75%	1,25%

Para cada pellet feed foram preparadas quatro misturas (M1 a M4 / S1 a S4), nas quais os teores de aglomerante (cal hidratada) dosados eram gradativamente reduzidos e substituídos pelas quantidades equivalentes de fundente (calcário calcítico), necessárias para manter o mesmo nível de ganga básica em todas as amostras de pelotas cruas produzidas.

Na preparação das amostras de pelotas cruas a partir das misturas M1 a M4 e S1 a S4, foram adotados os mesmos parâmetros operacionais utilizados nos testes para definição das umidades ótimas, a partir dos pellet feed puros.

A realização desse conjunto de testes teve por objetivo avaliar e comparar o comportamento do pelotamento dos pellet feed “M” e “S” em relação à quantidade de aglomerante necessária à obtenção de pelotas cruas de qualidade satisfatória.

## **6. ENSAIOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE**

A avaliação da qualidade das pelotas cruas produzidas em usina piloto foi realizada através de um conjunto de ensaios padronizados, utilizados rotineiramente para o controle da qualidade da produção industrial nas usinas de pelotização da CVRD. Os principais parâmetros avaliados foram:

- **Número de Quedas (ou Quedas Repetidas)** ⇨ São separadas aleatoriamente 15 pelotas cruas para teste. Cada pelota é deixada cair, livre e repetidamente, de uma altura de 45 cm, sobre uma chapa espessa de aço. As quedas são repetidas até o momento em que observa-se o aparecimento da primeira fissura na pelota, anotando-se o número de quedas necessárias para tal. O resultado do ensaio consiste na média aritmética dos números de quedas anotados para as 15 pelotas, expresso em número de quedas/pelota.
- **Resistência das Pelotas Cruas à Compressão (Resistência Crua ou Verde)** ⇨ De uma fração de pelotas peneirada na faixa granulométrica de  $12 \pm 1$  mm, separam-se aleatoriamente 15 pelotas. Cada pelota é, então, submetida à compressão em uma prensa manual. Aplicam-se cargas crescentes à cada pelota, até ocorrer a ruptura da mesma, anotando-se o valor de carga correspondente. A média aritmética dos valores encontrados representa o resultado do ensaio, expresso em unidades de kgf/pelota.
- **Resistência das Pelotas Secas à Compressão (Resistência Seca)** ⇨ Esse ensaio é semelhante ao anterior, exceto pelo fato de que as 15 pelotas são previamente secas em estufa, à temperatura de  $110 \pm 5$  °C, por um período de 120 minutos. Após o resfriamento ao ar ambiente, cada pelota é submetida ao ensaio de compressão.
- **Resistência ao Choque Térmico a 700 °C** ⇨ De uma fração de pelotas peneirada na faixa granulométrica de  $12 \pm 1$  mm, separam-se aleatoriamente 15 pelotas, que são dispostas sobre uma placa de tijolo refratário. O conjunto é introduzido em uma mufla pré-aquecida a 700 °C, e mantido a essa temperatura por 10 minutos. Após retiradas da mufla, as pelotas são resfriadas ao ar ambiente e é observada a ocorrência de fissuras, trincas e desintegração de pelotas. As pelotas inteiras são submetidas ao ensaio de compressão. Para um conjunto de pelotas de boa qualidade, a ocorrência de trincas e fissuras é pequena e a quase totalidade das pelotas permanece fisicamente íntegra após o ensaio.

## 7. RESULTADOS OBTIDOS

### 7.1. Pelotamento do Pellet Feed "M"

A Tabela IV reúne os resultados dos testes de pelotamento em usina piloto com o pellet feed "M" puro, com diferentes níveis de umidade.

Tabela IV - Qualidade das Pelotas Cruas Produzidas com Pellet Feed "M" em Diferentes Umidades

⇒ UMIDADE NO PELOTAMENTO:		MINÉRIO: PELLETT FEED "M"			
		8,0%	8,5%	8,7%	9,0%
⇒ GRANULOMETRIA (% RETIDA)					
18,00 mm	%	0,0	0,0	2,4	30,7
16,00 mm	%	0,0	0,0	2,9	33,5
12,50mm	%	0,0	0,0	24,8	29,3
10,00 mm	%	0,0	17,1	58,7	5,6
8,00 mm	%	0,0	29,5	10,6	0,7
5,00 mm	%	2,1	40,5	0,6	0,2
< 5,00 mm	%	97,9	12,9	0,0	0,0
⇒ TAMANHO MÉDIO	mm	4,13	7,73	12,08	16,41
				X / $\sigma$	X / $\sigma$
⇒ NÚMERO DE QUEDAS	-	-	-	2,1 / 0,5	2,3 / 0,5
⇒ RESISTÊNCIA CRUA	kgf/p	-	-	0,81 / 0,08	0,68 / 0,09
⇒ RESISTÊNCIA SECA	kgf/p	-	-	0,27 / 0,03	0,24 / 0,05
⇒ DENSIDADE APARENTE (12 ± 1 mm)	g/cm <sup>3</sup>	-	-	3,62 / 0,07	3,40 / 0,09

Nota: X = Média Aritmética,  $\sigma$  = Desvio-padrão

Constatou-se que:

- Não foi possível produzir pelotas cruas a partir do pellet feed "M" com umidade de 7,0%. O baixo teor de umidade impediu a formação e o crescimento das pelotas, já que a água é o principal agente aglomerante no processo de pelotização.
- Com um teor de umidade de 8,0% houve formação de "sementes" (grumos de material a partir dos quais ocorre o crescimento das pelotas cruas), porém não houve crescimento das pelotas. Cerca de 98% do material obtido nessa condição apresentou granulometria inferior a 5,0 mm. O tamanho médio do produto obtido foi 4,13 mm.

- A elevação da umidade para 8,5% possibilitou a formação e o crescimento de pelotas cruas, porém sem atingir diâmetros superiores a 12,5 mm. O tamanho médio do produto obtido foi 7,73 mm.
- Quando o pelletamento do pellet feed “M” foi realizado à umidade de 9,0%, houve crescimento excessivo das pelotas cruas. O excesso de umidade no material levou à formação de pelotas muito grandes. Cerca de 30% do produto obtido ficou retido na peneira de 18,0 mm, enquanto que nenhuma fração de pelotas foi produzida na faixa de 8,0 a 10,0 mm. O tamanho médio das pelotas foi de 16,41 mm.
- Uma vez que a umidade de 9,0% mostrou-se excessiva para as condições operacionais adotadas, decidiu-se testar uma umidade intermediária, na faixa de 8,5% a 9,0%. Desta forma, o teste seguinte foi realizado com umidade de 8,7% e a condição de umidade de 10,0%, proposta inicialmente, foi descartada.
- O pelletamento de “M” com umidade de 8,7% transcorreu de forma bastante satisfatória. O crescimento das pelotas evoluiu normalmente, levando à obtenção de um produto com tamanhos concentrados na faixa granulométrica desejável, de 8,0 a 18,0 mm (97%). O tamanho médio das pelotas cruas foi de 12,08 mm e a umidade de 8,7% foi, portanto, considerada a mais apropriada para o pelletamento do pellet feed “M”.
- As distribuições granulométricas das pelotas cruas produzidas com “M”, com teores de umidade na faixa de 8,0% a 9,0%, estão ilustradas na Figura 4. É possível visualizar o aumento do tamanho das pelotas formadas à medida em que elevou-se o teor de umidade do pellet feed. O pelletamento mostrou-se bastante sensível ao teor de umidade do material.

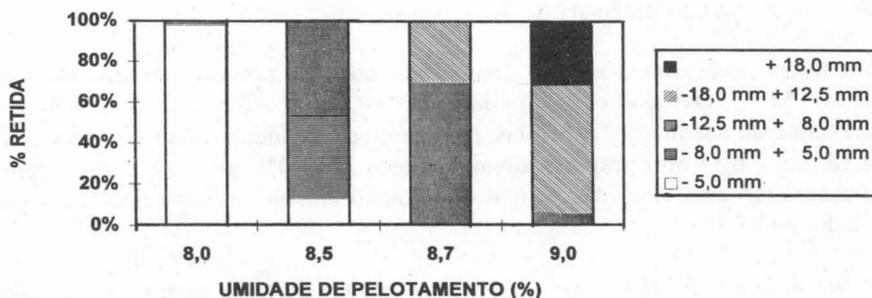


Figura 4 - Granulometrias de pelotas cruas produzidas com pellet feed “M” em diferentes umidades

## 7.2. Pelotamento do Pellet Feed “S”

A Tabela V reúne os resultados dos testes de pelotamento em usina piloto com o pellet feed “S” puro, com diferentes níveis de umidade.

Tabela V - Qualidade das Pelotas Cruas Produzidas com Pellet Feed “S” em Diferentes Umidades

⇒ UMIDADE NO PELOTAMENTO:		MINÉRIO: PELLET FEED "S"				
		10,0%	10,5%	10,7%	11,0%	
⇒ GRANULOMETRIA (% RETIDA)						
18,00 mm	%	0,0	0,0	7,3	9,8	
16,00 mm	%	0,0	0,0	16,1	17,1	
12,50mm	%	0,0	0,6	32,5	51,7	
10,00 mm	%	0,0	12,2	36,9	18,1	
8,00 mm	%	0,0	21,6	6,6	2,5	
5,00 mm	%	4,1	32,9	0,5	0,8	
< 5,00 mm	%	95,9	32,7	0,1	0,0	
⇒ TAMANHO MÉDIO		mm	4,18	6,87	13,54	14,45
				X / $\sigma$	X / $\sigma$	
⇒ NÚMERO DE QUEDAS		-	-	2,2 / 0,4	2,2 / 0,4	
⇒ RESISTÊNCIA CRUA		kgf/p	-	0,82 / 0,17	0,71 / 0,14	
⇒ RESISTÊNCIA SECA		kgf/p	-	0,93 / 0,14	1,09 / 0,23	
⇒ DENSIDADE APARENTE (12 ± 1 mm)		g/cm <sup>3</sup>	-	3,20 / 0,07	3,42 / 0,08	

Nota: X = Média Aritmética,  $\sigma$  = Desvio-padrão

Cabem os seguintes comentários:

- Os testes revelaram o mesmo comportamento qualitativo observado para o pellet feed “M”. Os teores de umidade de 10,0% e 10,5% não possibilitaram o crescimento adequado das pelotas, resultando em produtos com tamanhos médios de 4,18 mm e 6,87 mm, respectivamente. O teor de 11,0%, por outro lado, implicou no crescimento excessivo das pelotas, resultando em um produto final com tamanho médio de 14,45mm.
- A umidade de 10,7% mostrou-se a mais adequada para o pelotamento do pellet feed “S”. As distribuições granulométricas das pelotas cruas produzidas com “S”, com teores de umidade na faixa de 10,0% a 11,0%, estão ilustradas na Figura 5. É possível visualizar o aumento do tamanho das pelotas formadas à medida em que elevou-se o teor de umidade do pellet feed.

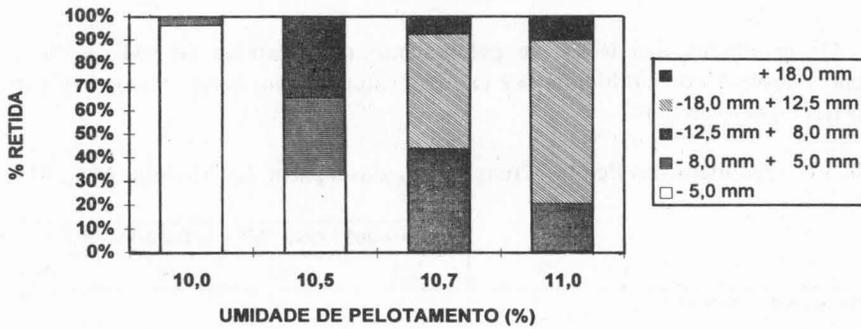


Figura 5 - Granulometrias de pelotas cruas produzidas com pellet feed “S” em diferentes umidades

### 7.3. Avaliação Comparativa das Pelotas Cruas dos Pellet Feed “M” e “S”

Os parâmetros de qualidade das pelotas cruas produzidas com “M” nas umidades de 8,7% e 9,0% e com “S” nas umidades de 10,7% e 11,0% foram avaliados (Tabelas IV e V). Os resultados foram similares para os dois níveis de umidade de um mesmo minério, com baixos valores de número de quedas, resistência crua e resistência seca, já que os materiais foram pelotizados sem a adição de aglomerante. Em condições industriais normais, são considerados satisfatórios os seguintes valores para pelotas cruas:

- ⇒ Número de quedas:  $3,30 \pm 0,50$
- ⇒ Resistência Crua:  $0,85 \pm 0,10$  kgf/pelota
- ⇒ Resistência Seca:  $2,60 \pm 0,25$  kgf/pelota

Uma observação interessante foi o fato de as pelotas produzidas com o pellet feed “M” apresentarem valores de resistência crua superiores aos valores de resistência seca, enquanto que as pelotas com “S” apresentaram comportamento inverso. Em geral, um dos efeitos notados com a adição de aglomerante a uma mistura a ser pelotizada consiste no aumento da resistência das pelotas após a secagem. Dessa forma, o fato observado sugere uma propriedade aglomerante intrínseca do pellet feed “S”. Uma possível explicação para este fenômeno pode estar relacionada ao fato da ganga de “S” ser constituída de minerais argilosos (com alguma propriedade aglomerante), ao passo que a ganga associada a “M” é basicamente quartzo, sem nenhum poder aglomerante.

## 7.4. Pelotamento das Misturas M1 a M4

Os resultados dos testes de pelotamento das misturas de “M” e “S” com diferentes dosagens de cal hidratada e calcário calcítico são apresentados nas Tabelas VI e VII, respectivamente.

Tabela VI - Qualidade das Pelotas Cruas Produzidas a partir das Misturas M1 a M4

		Pellet Feed "M" - Umidade: 8,7 %			
		M1	M2	M3	M4
⇒ GRANULOMETRIA (% RETIDA)					
18,00 mm	%	5,3	6,5	4,3	4,2
16,00 mm	%	16,7	14,3	12,7	5,3
12,50mm	%	24,0	26,2	30,2	11,3
10,00 mm	%	46,5	43,6	32,1	56,2
8,00 mm	%	7,3	9,3	17,3	21,8
5,00 mm	%	0,2	0,1	3,4	1,2
< 5,00 mm	%	0,0	0,0	0,0	0,0
⇒ TAMANHO MÉDIO	mm	13,17	13,14	12,67	11,67
		X / $\sigma$	X / $\sigma$	X / $\sigma$	X / $\sigma$
⇒ NÚMERO DE QUEDAS	-	6,4 / 2,8	4,7 / 1,7	3,7 / 1,8	2,7 / 0,8
⇒ RESISTÊNCIA CRUA	kgf/p	1,52 / 0,17	0,87 / 0,12	0,83 / 0,09	0,76 / 0,08
⇒ RESISTÊNCIA SECA	kgf/p	4,55 / 0,53	3,40 / 0,33	1,25 / 0,19	0,32 / 0,05
⇒ DENSIDADE APARENTE (12 ± 1 mm)	g/cm <sup>3</sup>	3,54 / 0,05	3,73 / 0,08	3,47 / 0,09	3,66 / 0,12
⇒ RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO (700 °C)					
• RESISTÊNCIA SECA	kgf/p	2,87 / 0,64	2,67 / 0,51	1,74 / 0,39	0,39 / 0,08
• PELotas DESINTEGRADAS		NÃO	NÃO	01 PARCIAL	03 PARCIAIS

Nota: X = Média Aritmética,  $\sigma$  = Desvio-padrão

Os resultados obtidos indicaram que:

- Adotando-se os níveis de umidade ótimos encontrados para “M” e “S” puros, foi possível obter pelotas cruas com distribuições granulométricas (Figuras 6 e 7) e tamanhos médios adequados, independentemente dos teores de cal hidratada e calcário calcítico das misturas. Para as misturas M4 e S4, entretanto, foram obtidas pelotas um pouco menores, pois a ausência de aglomerante nessas misturas contribuiu para uma certa inibição do crescimento das pelotas cruas.

Tabela VII - Qualidade das Pelotas Cruas Produzidas a partir das Misturas S1 a S4

		Pellet Feed "S" - Umidade: 10,7 %			
		S1	S2	S3	S4
⇒ GRANULOMETRIA (% RETIDA)					
18,00 mm	%	5,9	6,0	6,2	6,9
16,00 mm	%	16,2	20,3	19,8	8,2
12,50mm	%	36,0	30,9	38,3	28,5
10,00 mm	%	24,5	33,5	19,4	28,8
8,00 mm	%	12,8	8,7	11,4	23,9
5,00 mm	%	4,5	0,6	4,9	3,5
< 5,00 mm	%	0,1	0,0	0,0	0,2
⇒ TAMANHO MÉDIO	mm	13,21	13,59	13,53	12,39
		X / $\sigma$	X / $\sigma$	X / $\sigma$	X - $\sigma$
⇒ NÚMERO DE QUEDAS	-	9,9 / 4,5	6,1 / 2,4	3,8 / 0,8	2,2 / 0,5
⇒ RESISTÊNCIA CRUA	kgf/p	1,71 / 0,22	1,21 / 0,18	0,99 / 0,13	0,71 / 0,10
⇒ RESISTÊNCIA SECA	kgf/p	5,13 / 0,87	4,30 / 0,76	1,96 / 0,25	0,74 / 0,05
⇒ DENSIDADE APARENTE (12 ± 1 mm)	g/cm <sup>3</sup>	3,27 / 0,09	3,34 / 0,09	3,22 / 0,11	3,18 / 0,11
⇒ RESISTÊNCIA AO CHOQUE TÉRMICO (700 °C)					
• RESISTÊNCIA SECA	kgf/p	1,73 / 0,28	1,36 / 0,23	0,98 / 0,19	0,43 / 0,09
• PELOTAS DESINTEGRADAS		NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Nota: X = Média Aritmética,  $\sigma$  = Desvio-padrão

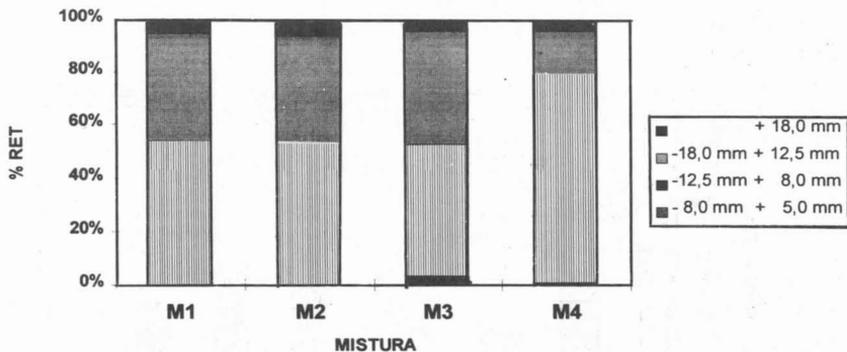


Figura 6 - Granulometrias de pelotas cruas produzidas a partir das misturas M1 a M4

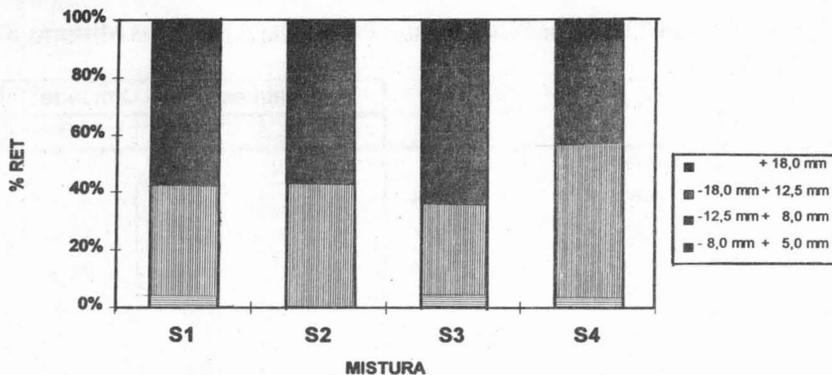


Figura 7 - Granulometrias de pelotas cruas produzidas a partir das misturas S1 a S4

- Os parâmetros de qualidade das pelotas cruas decresceram sensivelmente na medida em que aumentou-se o nível de substituição de cal hidratada por calcário calcítico. O valor mínimo de cal a ser dosado de forma a garantir qualidade satisfatória às pelotas cruas mostrou situar-se na faixa de 1,2% a 2,5% (entre M2/M3 e S2/S3).
- A substituição completa da cal hidratada por calcário calcítico, experimentada nas misturas M4 e S4, implicou numa queda drástica da qualidade das pelotas cruas. Esse efeito foi sentido em maior extensão no parâmetro de resistência seca da mistura M4.
- Os valores de número de quedas (Figura 8), resistência crua (Figura 9) e resistência seca (Figura 10) das pelotas cruas com “S” foram significativamente superiores às pelotas com “M”, o que sugere uma maior capacidade aglomerante intrínseca do pellet feed “S”.

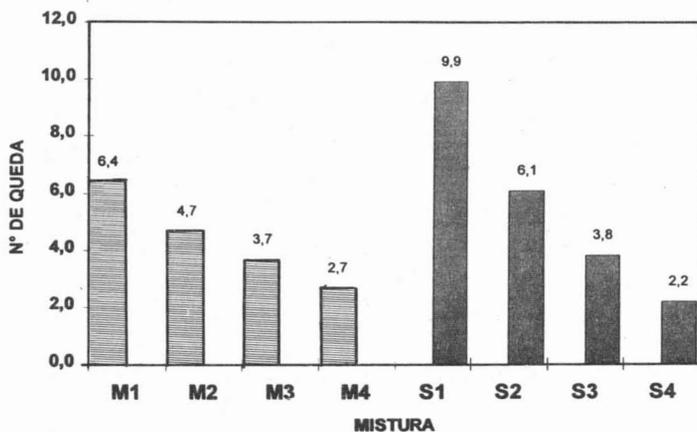


Figura 8 - Resultados de número de quedas das pelotas cruas produzidas a partir das misturas M1 a M4 e S1 a S4

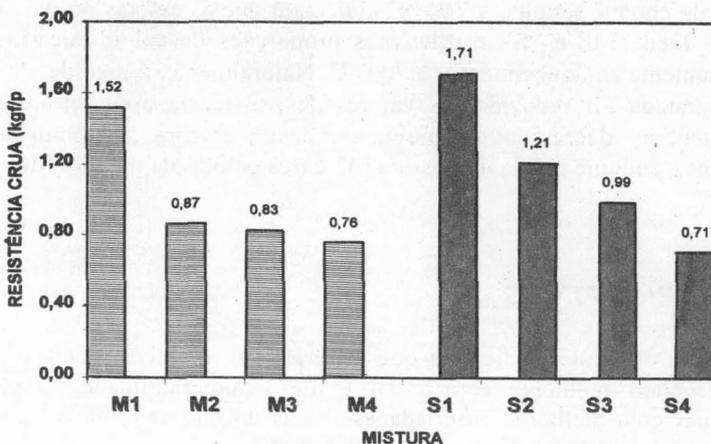


Figura 9 - Resultados de resistência crua das pelotas produzidas a partir das misturas M1 a M4 e S1 a S4

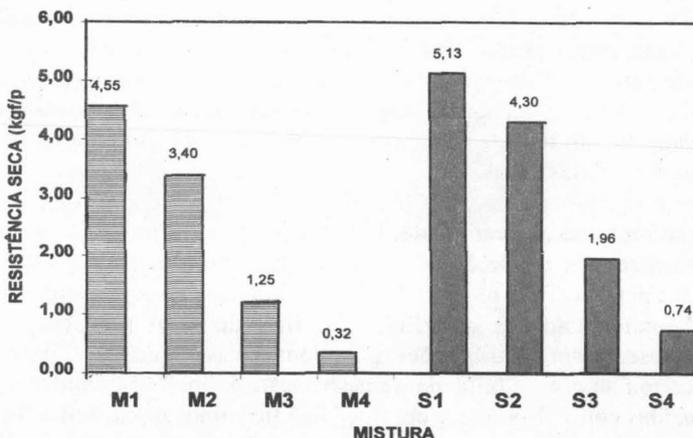


Figura 10 - Resultados de resistência seca das pelotas produzidas a partir das misturas M1 a M4 e S1 a S4

- A análise dos resultados de densidade aparente de pelotas cruas, na faixa de  $12 \pm 1$  mm, produzidas a partir de “M” e “S”, indicou que as misturas de “S” apresentaram valores sistematicamente inferiores ( $3,18-3,34 \text{ g/cm}^3$ ) aos apresentados pelas misturas de “M” ( $3,47 - 3,73 \text{ g/cm}^3$ ). Tal fato pode ser um indício de uma cinética de pelotamento mais rápida para o minério supergênico “S”. Devido à sua maior aglomerabilidade, “S” exibe uma alta taxa de formação de sementes e crescimento de pelotas, o que possivelmente leva ao aprisionamento de bolhas de ar entre as partículas de minério que formam as pelotas, implicando num maior volume de vazios e, conseqüentemente, menor densidade aparente.

- Os testes de choque térmico a 700 °C indicaram que as pelotas produzidas a partir dos pellet feed “M” e “S” e diferentes proporções de cal e calcário resistiram satisfatoriamente ao aquecimento a 700 °C. Naturalmente, à medida em que o teor de cal hidratada foi reduzido, os valores de resistência após ensaio de choque térmico também decresceram. Entretanto, desintegrações só foram observadas, parcialmente, em uma pelota da mistura M3 e três pelotas da mistura M4.

## 8. COMENTÁRIOS FINAIS

- Os resultados dos testes indicaram que minérios supergênicos, como o pellet feed “S”, apresentam melhores características de aglomerabilidade, resultando em pelotas cruas com melhores propriedades físicas do que as produzidas a partir de minérios metassomáticos, como o pellet feed “M”.
- Deve-se salientar, entretanto, que essa tendência geralmente não mantém-se para as pelotas queimadas. Sabe-se da experiência industrial, que pelotas queimadas produzidas a partir de minérios supergênicos apresentam pior qualidade física do que pelotas queimadas produzidas com minérios metassomáticos. Contribuem para isso o maior percentual de água combinada presente nos minérios supergênicos e, possivelmente, uma maior quantidade de poros presentes nos núcleos de suas pelotas, decorrente do teor de umidade mais elevado e de uma maior velocidade de crescimento das pelotas cruas.
- É sabido que uma maior quantidade de partículas microfinas presentes no minério de ferro favorecem as condições de pelotamento, aumentando a produtividade e a qualidade das pelotas cruas produzidas. Entretanto, no presente estudo, os minérios “M” e “S” foram moídos à superfície específica de  $1750 \pm 50 \text{ cm}^2/\text{g}$  e, após a moagem, apresentaram distribuições granulométricas idênticas (Figura 3). Dessa forma, descartou-se a possibilidade de associação da melhor qualidade das pelotas cruas produzidas com “S” à maior presença de microfinos nesse pellet feed.
- A justificativa para a melhor performance dos minérios supergênicos no pelotamento deve ser buscada através da investigação das propriedades microestruturais que influenciam a aglomerabilidade dos minérios, como por exemplo o formato dos grãos de hematita, a rugosidade da superfície dos minérios, a capacidade de retenção de água, a força de coesão entre partículas e os efeitos de capilaridade. Essas propriedades estão intimamente relacionadas à gênese dos minérios de ferro e serão objeto dos próximos estudos da CVRD na área de pelotamento, na tentativa de obter, através de análises microscópicas, a explicação para os comportamentos macroscópicos diferenciados observados para os pellet feed metassomáticos e supergênicos.

## **9. CONCLUSÃO**

Os resultados obtidos indicaram que a gênese dos minérios de ferro tem influência bastante relevante no pelotamento, implicando em comportamentos diferenciados em relação ao teor ótimo de umidade e à dosagem mínima de aglomerante requerida, além de influenciar os principais índices de qualidade das pelotas cruas (número de quedas, resistência crua e resistência seca).

As pelotas cruas preparadas a partir de minérios supergênicos apresentaram melhores propriedades físicas do que as produzidas a partir de minérios metassomáticos, evidenciando melhores propriedades de aglomerabilidade para os minérios supergênicos.

Evidenciou-se, ainda, que a etapa de pelotamento é extremamente sensível à umidade dos materiais processados. Este fato deve ser considerado com atenção na operação das usinas de pelotização, devendo-se buscar a minimização das variações de umidade da polpa retida, além de tentar-se obter maior precisão e confiabilidade nas medições dos teores de umidade dos materiais que alimentam os discos de pelotamento.

O aprofundamento do conhecimento das características de aglomerabilidade dos minérios destinados à pelotização possibilitará à CVRD otimizar a qualidade de seus produtos e reduzir custos operacionais, através da redução da quantidade de aglomerante dosado e da minimização da taxa de retorno de material nos discos de pelotamento.

## **10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Novos Processos de Produção de Ferro Primário - Curso da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte - 1995, pp. 146,147.
2. Mourão, J.M.; Gariglio, E.; Conti, J.B. e Batista, C.G., "Uso de Aglomerantes Sintéticos em Pelotização - A Experiência da CVRD", Seminário de Inovações Tecnológicas na Área de Redução de Minério de Ferro - ABM , Santos, SP, 1992.
3. Klein, M.S. e Gariglio, E., NIBRASCO - NSC Cooperative Technical Works, Phase III - Improvement of Green Ball Formation - Final Report , 1995.
4. Manual da Usina Piloto de Pelotização da CVRD - Documento Interno

# **INFLUENCE OF THE IRON ORE GENESIS ON THE GREEN BALL FORMATION IN THE PELLETIZING PROCESS**

## ***ABSTRACT***

Several tests were carried out at CVRD's pelletizing pilot plant, with a view to the evaluation of the influence of the iron ore genesis on the green ball formation (balling). Different types of iron ores and additives were used to produce green ball samples.

The results achieved indicated that the properties related to the iron ore genesis play an important role on the balling behavior of the materials, specially concerning the optimum moisture content and the minimum quantity of binder required to produce good quality pellets. Impressive influences on the green ball quality, such as drop number, wet and dry strength, were observed.

**Key words:** Pelletizing, Agglomerability, Genesis, Green Ball