

# PELOTIZAÇÃO — ASPECTOS TEÓRICOS E PRÁTICOS <sup>(1)</sup>

PAULO PINHEIRO DA SILVA NETO <sup>(2)</sup>

MIGUEL DE LIMA BOHOMOLETZ <sup>(2)</sup>

NEY FRIEDMANN DRUMMOND <sup>(2)</sup>

LUIZ FERNANDO SARVINELLI GARCIA <sup>(2)</sup>

PAULO MIGUEL BOHOMOLETZ <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*Os autores apresentam um apanhado geral sobre as teorias que tentam explicar os fenômenos que se desenvolvem no curso da formação de pelotas. Em seguida, apontam os estudos e ensaios preliminares que devem preceder a escolha definitiva do processo industrial. Fazem referência a alguns aspectos econômicos e mostram a posição mundial da indústria de pelotização. Finalizam descrevendo algumas usinas.*

As propriedades mecânicas de grande parte dos minérios do Quadrilátero Ferrífero são responsáveis pela elevada fração de material de granulometria inferior a  $\frac{1}{2}$  polegada, ou seja — pela alta percentagem de “finos”. Estes finos são tanto naturais quanto artificiais; à medida que mais se brita este minério, mais finos são gerados. Todos aqueles que se encontram ligados aos problemas da lavra e exportação dos nossos minérios de ferro avaliam bem as dificuldades de toda ordem que daí decorrem.

A participação destes finos na massa total de minério desmontado é, hoje, de tal ordem que o seu aproveitamento, pelo menos parcial, se impõe, por exigência da economia do “sistema minerador”.

Entre os recursos de que se pode lançar mão para resolver a dificuldade citada, destaca-se o da aglomeração, em larga escala, sob a condição de o aglomerado poder ser manuseado e transpor-

(1) Contribuição Técnica n.º 534. Apresentada ao XIX Congresso Anual da AMB; São Paulo, julho de 1964.

(2) Membros da ABM e engenheiros da Companhia Vale do Rio Doce; Rio de Janeiro, GB.

tado a milhares de quilômetros, sem se degradar excessivamente. Na atualidade, o único recurso capaz de fornecer tal produto é constituído pela pelotização.

A Companhia Vale do Rio Doce, vivendo diàriamente o "problema dos finos", decidiu, em 1961, enfrentá-lo decisivamente. As páginas que se seguem traduzem, em grandes linhas, a evolução dos trabalhos que foram então atribuídos às equipes técnicas da Companhia Vale do Rio Doce e da Companhia Siderúrgica Vatu para a resolução dêste problema.

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PELOTIZAÇÃO DE MINÉRIOS HEMATÍTICOS

A coesão de aglomerados sistematicamente manufaturados se explica pela ação de diferentes mecanismos de ligação entre as partículas. Em número de quatorze, êstes mecanismos foram classificados por Rumpf <sup>(1)</sup> em cinco grupos de natureza bem diversa. O primeiro dêstes grupos é constituído pelos mecanismos que agem através de formação de ligações sólidas entre as partículas que chamaremos de pontes, devido ao seu aspecto (fig. 1). Cinco fenômenos possibilitam o surgimento de tais pontes:

1. recristalização e crescimento de grãos;
2. reações químicas;
3. fusão de material no ponto de contacto entre as partículas;
4. cimentação de ligantes inorgânicos previamente adicionados e
5. cristalização de materiais dissolvidos, podendo ser diferentes das partículas ou não.

A ação de um líquido intergranular dá origem a três diferentes mecanismos. Mais especificamente, são as forças interfaciais e capilares as responsáveis por estas ligações. A viscosidade do líquido não pode ser muito alta. Variando a umidade do material, teremos:

1. O espaço vazio entre as partículas é preenchido parcialmente com o líquido que forma pontes entre as mesmas (Fig. 2a).
2. O espaço vazio entre as partículas é totalmente preenchido com o líquido que não é suficiente para envolver o aglomerado. Nas bordas extremas dos poros que dão à superfície do aglomerado, vistas do lado gasoso, o líquido forma superfícies côncavas. (Fig. 2b).

3. O líquido envolve completamente o sólido, sendo as superfícies côncavas a que se referiu anteriormente substituídas por convexas (Fig. 2c).

O terceiro grupo se refere ainda à formação de pontes que não são mais livremente móveis. Há dois distintos mecanismos aqui associados: ligantes viscosos, que eventualmente podem-se solidificar, e camadas de adsorção.

As atrações entre as partículas constituem o quarto grupo. Além das forças moleculares, particularmente as de Van der Waals para distâncias da ordem de 100Å, anotam-se as atrações devido às cargas elétricas e magnéticas.

Finalmente, existe a possibilidade de ligação por entrelaçamento de partículas de formas especiais — fibrosas, chatas e volumosas. Estes mecanismos podem, evidentemente, atuar de modo simultâneo. Se entendermos por estado de aglomeração a caracterização de um aglomerado relativamente aos mecanismos de ligação presentes e ao mecanismo predominante, que é o responsável pela ordem de magnitude das forças de coesão do aglomerado, teremos que este estado varia para o produto final dependendo do processo de aglomeração utilizado e do material tratado, e varia ainda no decorrer de um dado processo para determinado material. Daí a extrema peculiaridade da intervenção destes mecanismos.

A ação coesiva dos citados mecanismos resulta em determinadas características físicas dos aglomerados: resistência à compressão, impacto, cisalhamento, flexão, abrasão — esforços a que um aglomerado pode ser solicitado na prática — e tração. A teoria de aglomeração, atendendo à peculiaridade acima mencionada, visa relacionar estas características físicas com os fatores que governam a atuação dos mecanismos de ligação, bem como precisar as condições em que estes mecanismos podem atuar.

Levantaremos os mecanismos apontados para o processo de pelotização, tanto na etapa de formação da pelota crua como na de queima, no caso específico de minério hematítico.

## 2. FORMAÇÃO DE PELOTAS CRUAS (BALLING)

Pelotas cruas são aglomerados esferoidais de partículas finas, não submetidas a tratamento de queima. Na sua confecção são utilizados diversos dispositivos, atendendo a princípios diferentes. Duas características são comuns a todos os processos: a utilização de ação de rolamento sobre uma superfície, enquanto se aplica uma pressão indireta, e também a ação de ligação de um líquido intergranular. Meyer <sup>(2)</sup> apontou três linhas gerais de produção:

1. Pelo processo chamado de "formação de bolas de neve" (snow balling). É o único de importância industrial, incluindo-se aqui os tambores e discos de pelotização.
2. Pela formação do arranjo mais favorável das partículas nas pelotas. Para isso se utiliza um misturador de tipo especial, a máquina de aglomeração Eirich, que age por uma ação simultânea de rolamento e impulso, possibilitando e favorecendo um empacotamento denso das partículas e permitindo ao agente umectante formar uma película coerente.
3. Pela aplicação de forças externas de compressão (extrusão) para produzir cilindros, que têm suas bordas arredondadas por rolamento. Usam-se aqui prensas, a vácuo ou não.

Chama ainda Meyer a atenção para a importância do empacotamento das partículas na resistência do aglomerado. Assim, a distribuição será mais favorável quando for mínima a pressão mecânica exercida pelo exterior, possibilitando um trabalho maior de agitação no arranjo das partículas. Evidentemente, a segunda linha de produção é a que preenche melhor este requisito, seguida, respectivamente, da primeira e terceira.

A ação do líquido intergranular desempenhará um papel de primeiro plano na formação e, principalmente, na estabilidade das pelotas cruas. Serão mecanismos de ligação do segundo grupo os que se desenvolverão aqui. O material granuloso a ser aglomerado tem que atender, pois, a certas exigências. Em se tratando de forças capilares, a primeira se refere à granulometria. Cohen <sup>(3)</sup> apontou os 3 diferentes aspectos com que esta influencia na pelotização, ou seja, o limite superior, a amplitude e a forma da distribuição. O primeiro afeta a facilidade com que se forma a pelota; já os outros dois afetam principalmente o empacotamento das partículas na pelota e, conseqüentemente, a resistência após a queima. O limite superior das partículas é de cerca de 0,2 mm (180 mesh), necessitando normalmente de se ter mais ou menos 80% do material abaixo de 325 mesh.

A forma das partículas é outro fator a ser considerado. Ela deve ser irregular; partículas lamelares ou arredondadas, por exemplo, dificultam a operação de formação de pelotas cruas.

Finalmente, a *molhabilidade* da partícula é outra das exigências a ser considerada. Em certos casos, a formação das pelotas cruas não ocorrerá. Deve-se, por outro lado, levar em conta a tensão superficial do líquido intergranular. Industrialmente se utiliza a água; mas, no caso de se tentar outro, é interessante observar que a molhabilidade da superfície do minério e uma alta tensão superficial do agente de ligação são fatores opostos. Isto é, quando um aditivo age no sentido de dar uma condição mais

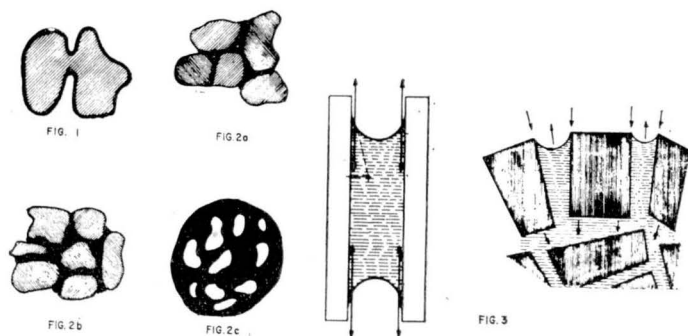
favorável a um deles, pode acontecer que haja uma ação contrária em relação ao outro.

Firth <sup>(4)</sup> em 1944, apresentou uma teoria da formação de pelotas cruas em tambor, segundo a qual isto se daria por um processo mecânico. Argumentava êle que a pressão que pode resultar do pêso de uma pelota sôbre uma única partícula de minério é da ordem de  $10.000 \text{ lb} \times \text{in}^{-2}$ .

A impossibilidade de uma pelota permanecer sôbre uma única partícula, os fatos de nem a pelota nem o interior do tambor serem constituídos de materiais completamente inelásticos e da película de água no interior do tambor contribuir para a distribuição da pressão, foram as objeções que Tigerschiöld e Ilmoni <sup>(5)</sup> opuseram à explicação proposta. Nêste trabalho de 1950, baseados em estudos de geólogos suecos sôbre o sistema solo-água, levantaram a hipótese da tensão superficial da água adicionada atuar como um poder compressor na pelota crua. Para apoiar esta tese, argumentaram com os dois seguintes fatos experimentais:

1. Uma pelota úmida desintegra muito mais rapidamente quando submersa em água;
2. Uma pequena adição de detergente diminui apreciavelmente a resistência à compressão das pelotas cruas.

A formação das pelotas é explicada pela cooperação entre a força capilar e os efeitos mecânicos do rolamento. O rolamento dá impulsos intermitentes e vibrações às pelotas cruas, enquanto as forças capilares ocasionam uma compressão contínua e podem ser induzidas a um aumento sucessivo de seu próprio efeito, à medida que a pelota se torna mais comprimida. Esta ação compressora da capilaridade é mostrada na Fig. 3.



Figs. 1, 2 e 3

Como no início do rolamento a umidade do material deve ser alta para assegurar a ausência de inclusões de ar e, no fim,

baixa para que haja absorção da água expelida pelo centro e em rolamento pelo método usual; é extremamente importante manter esta umidade entre limites estreitos, ou não há uma utilização completa da fôrça capilar. Dois outros métodos de pelotização foram então tentados: aspersão de água alternada com pulverização de material sêco e rolamento e secagem simultâneos.

Trabalhando com disco em vez de tambor, Bhrany, Johnson, Myron e Pelczarski <sup>(6)</sup> desenvolveram um modelo mecânico para formação de pelota crua, além de procurar caracterizar o aparelho usado. A formação de pelotas em um disco ocorreria em dois estágios:

1. Partículas saturadas de água devido à coalescência formam núcleos ou sementes;
2. Por colisão ou contacto com outros núcleos ou partículas sêcas, êstes núcleos crescem formando pelotas.

O disco, assim, se divide em duas zonas: a de nuclueação, próxima das regiões onde a água é espalhada, tendo, portanto, as partículas maior probabilidade de se saturarem de água, e a de pelotização, onde o crescimento da pelota ocorre.

Segundo a teoria de Tigerschiold e Ilmoni <sup>(5)</sup>, a estabilidade das pelotas se baseia no fato de elas serem um sistema poroso de vários ramos interligados.

A altura capilar pode, então, ser calculada:

$$z = \frac{2 \alpha \cos \delta}{r \times \rho \times g}$$

onde:

$z$  = Altura capilar

$\alpha$  = Tensão superficial

$\delta$  = Ângulo de contacto

$r$  = Raio médio dos poros

$\rho$  = Massa específica do líquido

$g$  = Aceleração da gravidade

No caso, trabalhando com água, que molha completamente todos os minerais que não são contaminados por substâncias orgânicas,  $\delta = 0^\circ$  e  $\cos \delta = 1$ . À temperatura ambiente,  $\rho = 1 \text{ g cm}^{-3}$ ;  $\alpha = 72,75 \text{ dina cm}^{-1}$  e  $g = 981 \text{ cm seg}^{-2}$ , logo temos que:

$$z = \frac{0,15}{r} \text{ cm de coluna água}$$

ou ainda, substituindo r:

$$z = \frac{0,075 \times S \times \rho_s (1 - \varepsilon)}{\varepsilon} \text{ cm de coluna água, onde:}$$

S = Superfície específica do minério

$\rho_s$  = Massa específica do minério

$\varepsilon$  = Fração do volume vazio

Daí a conclusão de ser a força compressiva diretamente proporcional à superfície específica (finura) do material. Experimentalmente, foi confirmado este fato. Concluíram os dois investigadores que, de acordo com a sua hipótese, a resistência da pelota crua dependeria não só da finura do material, mas também da forma de distribuição granulométrica das partículas e da efetividade do método utilizado. Ainda seria importante a umidade, já que um excesso de água neutralizaria o efeito da pressão capilar e uma quantidade insuficiente causaria inclusões de ar, que também reduziriam o efeito da força capilar.

Em 1958, Newitt e Conway-Jones<sup>(7)</sup> nomearam os três diferentes estados de atuação da força capilar, à medida que a umidade varia. O "estado pendular" corresponde a um sistema em que os poros não estão totalmente preenchidos, portanto, descontínuo; o "estado capilar" a um sistema com os poros totalmente preenchidos e saturados, havendo ainda um estado intermediário, que foi chamado de "funicular".

A resistência à tração de um modelo teórico de uma pelota, formada de partículas esféricas do mesmo tamanho, foi calculada por Rumpf<sup>(1)</sup>:

$$\tau_z \cong 6 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \frac{\alpha}{d \cos \delta}, \text{ na qual:}$$

$\tau_z$  = Resistência à tração

$\varepsilon$  = Volume da fração vazia

$\alpha$  = Tensão superficial

$\delta$  = Ângulo de contacto

d = Diâmetro de partícula esférica

Haines e Newitt e Conway-Jones obtiveram experimentalmente, para areias e água:

$$\tau_z \cong 8 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \frac{\alpha}{d'}, \text{ na qual:}$$

$\tau_z$  = Resistência à tração

$\varepsilon$  = Volume da fração vazia

$\alpha$  = Tensão superficial

$d'$  = Diâmetro da superfície média das frações de areia

### 3. QUEIMA DA PELOTA

Um aglomerado, como já foi visto, caracteriza-se por seu estado de aglomeração, que é função dos mecanismos de ligação nêle presentes. Por sua vez, as características físicas do aglomerado se relacionam com êste estado. A pelota crua, tal como foi definida, é um produto de baixas características físicas. Sua resistência à compressão, por exemplo, é da ordem de 1 kg/pelota de 1 cm de diâmetro. Para aumentar estas características, é necessário alterar seu estado de aglomeração. A pelota crua é, então, submetida a elevadas temperaturas, transformando-se em pelota queimada. Esta já tem sua resistência à compressão da ordem de 250 kg/pelota de 1 cm de diâmetro.

A esta mudança do estado de aglomeração corresponde uma modificação das ligações. De uma maneira geral, dois são os tipos de mecanismos que surgem:

1. Ligação das partículas minerais por recristalização ou intercrescimento de grãos, que é um fenômeno físico.
2. Formação de ligações de escorificação entre as partículas, que é uma reação química entre os óxidos ácidos e básicos da ganga e dos minerais.

Os CaO; MgO; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; FeO (do Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>); SiO<sub>2</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> reagem entre si em proporções variáveis, formando uma grande série de compostos ou soluções sólidas amorfas. A primeira pesquisa publicada sôbre os mecanismos da queima de pelotas de minério de hematita é devida a Ridgion, Cohen e Lang<sup>(8)</sup>. Utilizaram diversos minérios, mas o estudo principal foi feito com concentrado hematítico de Sierra Leone, moído até 60% — 200 mesh. Os constituintes escorificantes chegavam a 4-5%.

Em atmosfera oxidante observou-se que até 1250°C a hematita permanece praticamente inerte, não sendo notado nenhum



mecanismo de ligação sensível até o início da difusão da hematita naquela temperatura. Uma série de testes mostrou que, após a secagem, a resistência à compressão da pelota praticamente não aumentava e que entre 1250 e 1300°C havia uma subida quase vertical, o valor máximo ocorrendo nesta última temperatura. Verificou-se ainda que as pelotas queimadas corretamente, entre 1280 e 1350°C, tiveram a forma original das partículas e a estrutura em camadas da pelota em grande parte preservadas e que a porosidade foi da ordem de 25%. O tamanho das partículas minerais destas pelotas variavam em comprimento de cerca de 0,15 mm até valores bem pequenos, 1 micron ou menos.

Em atmosfera redutora, a hematita em forma lamelar foi parcialmente reduzida e se recristalizou em magnetita, formando um aglomerado densamente empacotado, equigranular. A recristalização da magnetita é sempre acompanhada por considerável contração do volume da pelota. Esta torna-se quebradiça, sem aumentar sua resistência à compressão. A porosidade diminui consideravelmente, dependendo de extensão da redução. Realizando-se a redução da superfície para o centro, possibilita a ocorrência de estágios diversos limitados pela pelota que apresenta apenas uma casca fina exterior de magnetita encobrindo hematita não reduzida e pela pelota completamente magnetítica. Ela é frequentemente acompanhada por fusão parcial localizada, seguida pelo crescimento de dendritos secundários de magnetita. Se a redução é muito violenta, pode ocorrer fusão parcial na superfície e conseqüente ajuntamento das pelotas.

Foi ainda investigada a estrutura de pelotas obtidas a partir de mistura de minério com coque pulverizado. A presença interna do combustível ocasiona, durante a queima, uma certa redução e fusão parcial do núcleo da pelota. Mantendo-se a atmosfera oxidante, as pelotas apresentam uma camada exterior de hematita não reduzida e relativamente inalterada. Segue uma zona em que a redução vai aumentando gradualmente, o que é caracterizado pelo aparecimento de magnetita em quantidades crescentes e pelo desaparecimento da estrutura original em camadas. A textura e o tamanho do grão de magnetita crescem notavelmente e há formação de pequenas inclusões globulares de escória apresentando dendritas secundárias. O centro da pelota é formado de cristais bastante grandes de magnetita cercados por escória cristalina ou por uma cavidade limitada por cristais bem formados. Estas pelotas, bastante escorificadas e contendo zonas de alta densidade, apresentam porosidade, redutibilidade e frequentemente resistência mais baixas, quando comparadas com pelotas totalmente oxidadas, de tamanho similar.

Urich e Han <sup>(9)</sup> mais recentemente trouxeram novas contribuições. O minério ensaiado foi um concentrado de hematita

especular (85,0%), que apresentava uma pequena porção de magnetita (4,0%). A análise química média do concentrado foi 61,0% de Fe, 10,0% de  $\text{SiO}_2$  e 1,0% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Para os testes o minério foi moído a 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, e 100% abaixo de 325 mesh.

Começaram observando que a transformação mineralógica e de textura em pelotas pré-aquecidas (de 925 até 1010°C) parece ser apenas incipiente. A 925°C (1700°F) e 980°C (1800°F) as partículas de hematita especular mantêm o tamanho e forma originais, não mostrando nenhuma alteração superficial. A 1040°C (1900°F), enquanto as partículas menores de 2 microns mantêm a sua textura, as partículas maiores tendem a crescer em grãos delgados. A 1090°C (2000°F) algumas partículas maiores de hematita especular começam a aparentar, na superfície, "humps" delgados. Nesta última temperatura, o crescimento de grão das partículas finas é bastante acentuado, se comparado com o que ocorre nas pelotas aquecidas entre 980 e 1040°C, o que explica a resistência bem maior, da ordem de 90 kg, das pelotas queimadas a 1090°C, contra 45 kg das mesmas pelotas queimadas a 1040°C.

Observaram os autores que, para pelotas feitas com minério moído a 80,0% — 325 mesh, com diâmetro médio de  $\frac{1}{2}$ ", a temperatura de queima de 1395°C correspondeu a resistência à compressão mais alta. Esta resistência chegou a atingir 450 kg por pelota. Deve-se ter o cuidado, entretanto, para o fato de que acima de 1370°C pode ocorrer a conversão térmica de hematita em magnetita, o que pode provocar um enfraquecimento da pelota.

No caso de minérios hematíticos, a presença de frações extremamente pequenas, menores que 15 microns, é considerado fator importantíssimo no mecanismo das ligações. Assim, pelotas de  $\frac{1}{2}$ " de diâmetro, feitas com um remoído contendo 14,68% — 15 microns, queimadas a 1315°C, tiveram resistência à compressão da ordem de 280 kg, enquanto que as de igual diâmetro, feitas com um remoído contendo 73,14% — 15 microns, queimadas à mesma temperatura, resistiram a cargas de ruptura de até 1050 kg.

As ligações de ordem química foram, durante muito tempo, consideradas indesejáveis às pelotas. As ferritas de cálcio, comumente encontradas nas pelotas feitas com minério contendo CaO ou quando esta substância é introduzida como aglomerante, foram rechaçadas pelas seguintes razões:

- a) O baixo ponto de fusão da mistura eutética de ferrita de monocalcário e diferritas de cálcio poderia causar problemas;
- b) As ferritas de cálcio eram consideradas difíceis de serem reduzidas.

Como o início da fusão da mistura eutética (aproximadamente 78,0%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e 22,0%  $\text{CaO}$ ) ocorre próximo de 1200°C, enquanto que a temperatura de queima das pelotas pode atingir valor superior a 1300°C, era bastante viável o receio; no entanto, o perfeito contrôlo da operação de queima associado à pequena quantidade de  $\text{CaO}$  normalmente adicionada, mostrou ser o receio infundado. Quanto à redutibilidade, o que se mostrou foi exatamente o contrário. Quando a operação de queima é bem controlada, praticamente todo o  $\text{CaO}$  existente reage para formar ferrietas que, a partir de 1285°C, se combinam com a sílica para formar silicatos de cálcio com libertação de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Conhecidos êstes fundamentos, podem-se equacionar os problemas tecnológicos específicos da instalação de uma usina.

#### 4. ESTUDOS QUE ENVOLVEM A INSTALAÇÃO DE UMA USINA DE PELOTIZAÇÃO

Os estudos experimentais que precedem a instalação de uma usina de pelotização podem ser divididos em três fases; Ensaios de laboratório em pequena escala; Ensaios de laboratório em grande escala; Ensaios em usina piloto.

*Ensaios de laboratório em pequena escala* — Quando se tem em mente pelotizar um determinado tipo de minério, o primeiro passo a ser dado é a pesquisa de laboratório em pequena escala. Êstes ensaios fornecem os elementos para a orientação geral a ser seguida. Procura-se ainda escolher entre os aglomerantes de fácil aquisição quais os que podem apresentar os melhores resultados. No caso da Companhia Vale do Rio Doce, êstes testes foram realizados em colaboração com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) de São Paulo.

*Ensaios de laboratório em grande escala* — A segunda fase é considerada como a mais importante em todo o processo preparatório de uma usina industrial, porque fornece os dados necessários ao seu dimensionamento. É nesta fase também que se tem a primeira estimativa do consumo específico de energia elétrica e térmica, além da produção, por  $\text{m}^2$  de área, em 24 horas.

Êstes ensaios iniciam-se com a moagem fina do minério. Esta moagem é feita geralmente a 75%, 80% e 85% a — 325 mesh. Em cada caso, determina-se o consumo de kWh/t e a superfície específica do material móido. São em seguida produzidos diversos lotes de pelotas cruas, com iguais quantidades de aglomerante, geralmente 0,5% de bentonita. Estas pelotas são testadas quanto à resistência à compressão, quedas repetidas e deformação. A análise dêstes resultados indica se um dos três graus de moagem

satisfaz a formação de boas pelotas cruas. Em caso negativo, novos graus de moagem são experimentados.

Nos testes de laboratório em grande escala, as pelotas cruas são geralmente formadas em discos pelletizadores, como foi o caso dos testes com minérios da CVRD. Obtidas boas pelotas cruas, passa-se à parte mais importante, qual seja a da determinação do ciclo tempo-temperatura-vazão de gases, adequado à obtenção de boas pelotas secas, pré-aquecidas e queimadas. No caso do minério da CVRD foi adotada a granulometria de 85% — 325 mesh, a que correspondeu uma superfície específica de 1530 cm<sup>2</sup>/g e as pelotas cruas feitas com 0,5% de bentonita acusaram resistência à compressão da ordem de 1,75 kg, quando a normal é da ordem de 0,9 kg.

O aparelho que permite a obtenção deste ciclo chama-se *POT GRATE*. Dois são os tipos principais usados atualmente e descritos em seguida. O primeiro (Fig. 4) é composto de uma parte fixa e outra móvel. Na fixa estão colocadas 3 câmaras de combustão, sendo duas na parte superior e uma na inferior. Estas 3 câmaras permitem que se faça a distribuição dos gases aquecidos para a operação de secagem, tanto por tiragem superior quanto por tiragem inferior. A parte móvel é compreendida pelo cadinho, onde é colocada a carga de pelotas. Na operação de queima, a tiragem dos gases é sempre inferior.

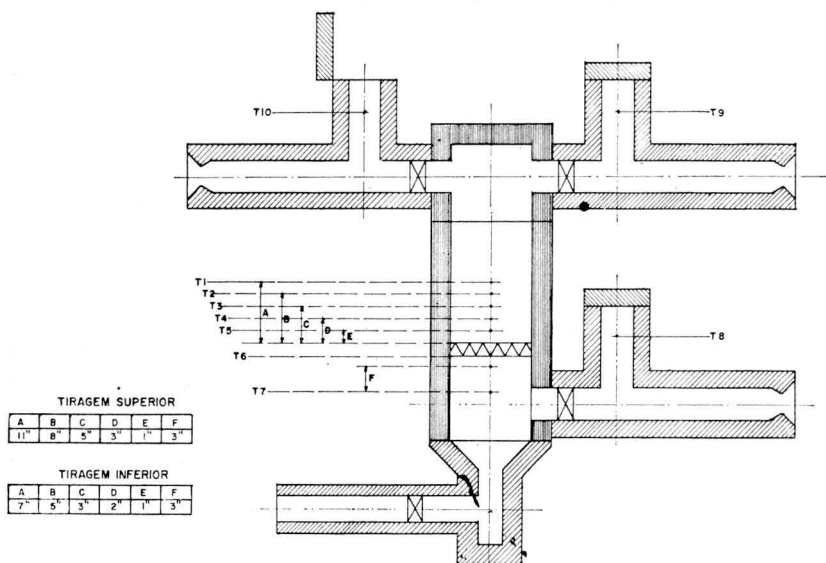


Fig. 4

O outro tipo (Fig. 5) é usado para secagem com tiragem superior, sendo composto de duas partes fixas, uma para secagem

e outra abrangendo uma câmara de combustão para pré-aquecimento e queima. Também aqui a parte móvel é compreendida pelo cadinho. Durante o teste, o cadinho é movimentado para a parte onde se processa a secagem e, em seguida, para a parte do pré-aquecimento e queima.

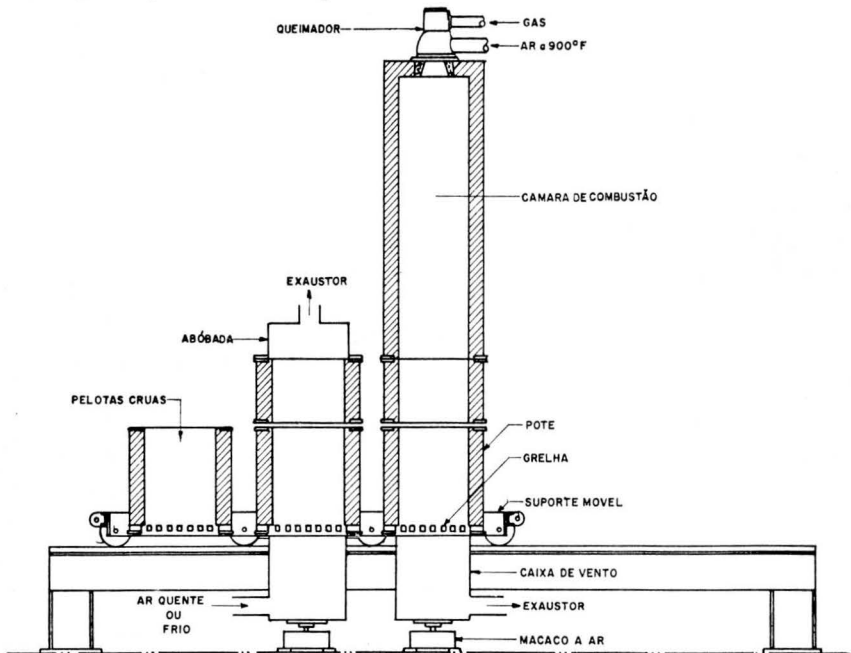


Fig. 5

A altura da camada de pelotas no cadinho é constante para cada tipo de aparelho industrial que se queira projetar. No processo em que se associa uma grelha contínua horizontal móvel a um forno rotativo, a altura da camada é de 7 polegadas. Neste processo, tanto durante a secagem como durante o pré-aquecimento, a passagem dos gases é feita de cima para baixo, ou seja com tiragem inferior. Nos processos em que inclusive a queima é feita em grelha contínua horizontal móvel e a secagem é feita com tiragem superior dos gases, enquanto o pré-aquecimento e queima são realizados com tiragem inferior, a altura usada é de 12 polegadas. Nos casos em que se usa uma camada protetora sobre a grelha, esta é de 4 polegadas, passando a altura total para 16 polegadas.

Pares termo-elétricos, colocados em diferentes partes do aparelho, permitem um controle rigoroso da temperatura. A temperatura de cada par é registrada automaticamente, de 48 em 48 segundos. (Ver figura).

A vazão dos gases é facilmente regulada, sendo mantida constante em cada fase da operação. Minuto a minuto, determina-se a diferença de pressão entre a superfície e a camada inferior de pelotas. Esta queda de pressão é medida em polegadas de coluna d'água.

Os primeiros testes destinam-se apenas à determinação das melhores condições de secagem. A massa de gás que atravessa certo volume de pelotas dividida pela massa de pelotas secas nos dá a relação chamada "Mass Rate". Esta relação e a temperatura dos gases são estabelecidas previamente para cada fase dos testes, podendo ser igual ou diferente para a secagem, pré-aquecimento e queima. Êstes testes são feitos da seguinte maneira: as pelotas cruas são colocadas no cadinho que é, em seguida, encaixado no aparelho. Submetem-se estas pelotas a condições pré-estabelecidas. Ao final do teste, verifica-se se há presença de pelotas fraturadas.

No caso dos testes feitos com hematita pulverulenta da CVRD, verificamos, após vários testes, que o melhor ciclo de secagem com tiragem inferior exigiu o tempo de 6,0 minutos, com uma vazão de gases de  $105 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$  de área, à temperatura de  $316^\circ\text{C}$ . Êste ciclo corresponde à Mass Rate 2,10. Após determinação do ciclo de secagem, deve-se estudar as condições de pré-aquecimento, tendo-se em conta principalmente o seguinte:

1. as pelotas não devem sofrer com a mudança brusca de temperatura;
2. a temperatura dos gases, após a passagem pelas pelotas, não deve ser muito mais alta que a requerida pela secagem;
3. nos casos em que as pelotas tenham que sofrer alguma movimentação logo após a fase de pré-aquecimento, é necessário que tenham uma certa resistência à compressão e à queda;
4. a temperatura na grelha não deve ultrapassar a um certo limite, o que poderá ocasionar uma grande perda de calorías no processo. No caso de associação grelha-forno rotativo, uma temperatura mais alta pode ocasionar danos à grelha.

Os testes são programados como para a secagem, estabelecendo-se previamente o tempo, a temperatura e a vazão dos gases. O pré-aquecimento é feito imediatamente após a secagem em Pot-Grate do 1.º tipo, sem que seja necessário movimentar a carga, enquanto que nos do 2.º tipo a carga tem que ser movimentada, o que toma algum tempo.

Após o teste de pré-aquecimento, tem lugar um exame macroscópico das pelotas, a fim de se verificar a presença de fraturamentos. Faz-se, então, a medida da resistência à compressão. A

prática mostra que, a partir de uma certa resistência à compressão, as pelotas apresentam suficiente resistência à queda. As amostras para êstes testes são coletadas na parte superior, média e inferior da camada. Quando, por efeito do choque térmico, as pelotas se desintegram, dá-se a imediata formação de poeira e uma mudança brusca na pressão.

Com a hematita pulverulenta rica da Companhia Vale do Rio Doce, um bom ciclo de pré-aquecimento apresentou as seguintes características:

Tempo — 5,0 minutos

Vazão do gás —  $91 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$

Temperatura —  $1093^\circ\text{C}$

Mass Rate — 1,50

Como se observa, as pelotas feitas com a nossa hematita extremamente pura exigiram temperatura de pré-aquecimento muito alta, o que nos poderá obrigar a aquecer o gás proveniente da zona de queima, além de termos que misturar ar frio aos gases que vão à zona de secagem. O “fator de grelha”, produção em  $\text{t}/\text{m}^2/\text{dia}$ , é calculado de acôrdo com o ciclo de pré-aquecimento.

De acôrdo com o calor introduzido e consumido, calcula-se o balanço térmico. Como já foi dito, o balanço do Pot-Grate nos dá uma estimativa do consumo da usina industrial; no caso da hematita da CVRD, o consumo de calorías deverá ser da ordem de 250.000 a 300.000 Kcal/tonelada.

A fase de queima, parte final do teste, deve ter em conta que o ciclo tempo-temperatura-vazão deve ser tal que o consumo de calorías não seja muito alto, que tôdas as pelotas permaneçam o maior tempo possível na temperatura máxima de queima.

Ao final, as pelotas são testadas quanto à compressão e à abrasão. No caso da Companhia Vale do Rio Doce, as melhores condições de queima foram:

Tempo — 30 minutos

Temperatura —  $1350^\circ\text{C}$

Vazão —  $61 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$

Após a queima, o Pot-Grate é aberto, colocando-se as pelotas diretamente em contacto com o ar atmosférico. Justifica-se êste procedimento por passarem as pelotas, nas usinas industriais, diretamente da temperatura de queima para o resfriador ou zona de resfriamento, ao invés de deixar-se que o resfriamento se dê

lentamente. Este resfriamento é feito por meio do ar atmosférico que passa através das camadas de pelotas, sendo, então, parte do ar aquecido resultante mandado para os maçaricos, enquanto a outra parte vai diretamente para as chaminés.

*Ensaio em usina piloto* — Esta fase é apenas uma confirmação dos resultados obtidos nos ensaios em POT-GRATE. Usa-se o mesmo ciclo tempo-temperatura-vazão dos gases, que forneceu os melhores resultados. A Companhia Vale do Rio Doce obteve, em ensaios de usina piloto mais de 100 toneladas de pelotas produzidas a partir de sua hematita pulverulenta, tendo sido utilizados para isto diferentes processos e vários tipos de aglomerantes. Também em testes levados a efeito nas usinas piloto, o consumo de calor demonstrou que, na usina industrial, serão necessários, aproximadamente, 300.000 Kcal/t de pelotas.

Concluída a fase experimental, é possível escolher-se o processo a ser utilizado. Quando mais de um processo pode ser adotado, o balanço econômico desempenha primordial importância. Neste balanço econômico, os fatores principais são os investimentos e custos operacionais.

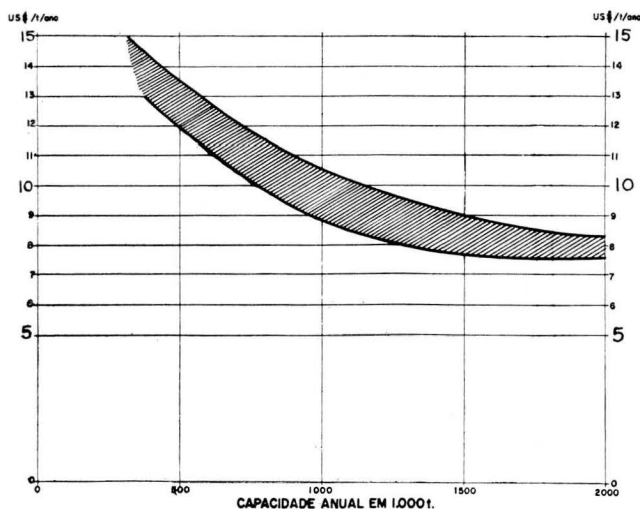


Fig. 6

## 5. INVESTIMENTO E CUSTO OPERACIONAL PARA O BRASIL

Os dados colhidos pelos Autores deste trabalho permitem estabelecer-se, para o investimento por tonelada-ano de uma usina de remoagem e pelotização a ser instalada no Brasil, a faixa apre-



sentada na figura 6. Estes valores referem-se a minério hematítico com granulometria inferior a  $\frac{1}{2}$ " e uma distribuição granulométrica de, pelo menos, 50% a — 150 mesh.

Esta distribuição granulométrica é encontrada geralmente em nossas hematitas e itabiritos pulverulentos. Os valores correspondem a usinas prontas para funcionamento. São portanto valores "turn-key".

*Custo Operacional* — O custo operacional nas usinas de pelotização americanas e canadenses, que usam concentrados hematíticos ou concentrados contendo misturas de hematita e magnetita, é geralmente discriminado como se segue:

	US\$/t	a	US\$/t
Mão de obra (sem Over Head) .....	0,350		0,400
Custo de manutenção .....	0,270		0,290
Combustível .....	0,300		0,320
Energia .....	0,200		0,290
Imprevistos .....			0,08

No caso brasileiro, o custo operacional para remoagem e pelotização poderia ser expresso aproximadamente da seguinte maneira:

	Cr\$/t	a	Cr\$/t
Mão de obra (sem Over Head) .....	290,00		350,00
Custo de manutenção .....	400,00		600,00
Combustível .....	1.000,00		1.200,00
Energia .....	320,00		400,00
Imprevistos .....	100,00		200,00
Sem remoagem este custo cai para:			
Mão de obra (sem Over Head) .....	190,00		250,00
Custo de manutenção .....	200,00		300,00
Combustível .....	1.000,00		1.200,00
Energia .....	160,00		240,00
Imprevistos .....	50,00		100,00

Se tomarmos como base o valor do dólar a Cr\$ 1.200,00 e compararmos o nosso custo com o dos Estados Unidos, vemos que as diferenças principais estão na mão de obra e no combustível. No primeiro, vemos que os valores brasileiros representam aproximadamente 50% dos valores americanos, enquanto que no segundo os nossos valores são aproximadamente 200% mais altos que os daquele país.

Para que se tenha uma idéia do grande desenvolvimento da pelotização e da importância do Brasil entrar imediatamente neste campo, daremos alguns dados sobre o panorama mundial da produção de pelotas. O quadro que fornecemos, a seguir, engloba usinas em funcionamento, em construção e em projeto.

## QUADRO N.º 1

## PANORAMA MUNDIAL

## USINAS DE PELOTIZAÇÃO

Proprietários	Estado País	Localização	Tipo	Capacidade anual/ tons.	Início Operação
Reserve Mining Co.	Minnesota U.S.	Silver Bay	Horizontal Grate	9.000.000	1956
Erie Mining Co. .	Minnesota U.S.	Aurora	Shaft Furnace	7.500.000	1955
Bethlehem Steel Co. ....	Pennsylvania U.S.	Morganton	Shaft Furnace	2.000.000	1962
Ford Motor Co. . .	Michigan U.S.	Eveleth	Grate Kiln	2.000.000	
The Marquette Iron Mining ...	Michigan U.S.	Republic	Grate Kiln	1.800.000	1962
Columbia Geneva Steel Co. ....	Wyoming U.S.	Landor	Horizontal Grate	1.500.000	1962
The Hanna Mining Co. ....	Michigan U.S.	Groveland	Horizontal Grate	1.250.000	1963
Empire Iron Co. .	Michigan U.S.	Palmer	Grate Kiln	1.200.000	1966
Cleveland Cliffs .	Michigan U.S.	Ishpeming	Grate Kiln	1.200.000	1966
Kaiser Steel ....	California U.S.	Eagle Mountain	Shaft Furnace	1.000.000	1963
Humboldt Mine Co.	Michigan U.S.	Ishpeming	Grate Kiln	800.000	1960
The Marquette Iron Mining Co.	Michigan U.S.	Eagle Mills	Horizontal Grate	660.000	1956
Bethlehem Steel Co. ....	Pennsylvania U.S.	Lebanon	Shaft Furnace	330.000	1950
Carol Pellet Co. .	Newfoundland Canadá	Labrador	Horizontal Grate	5.000.000	1965
Wabush Iron Co. .	Quebec Canadá	Sept Iles	Horizontal Grate	4.500.000	1965
Anaconda Co. ...	Ontario Canadá	Nakina		2.000.000	
North American Rare Metals Co.	Ontario Canadá	Temagami		1.400.000	
Jones and Langhlin Steel Co. .	Ontario Canadá	Kirkland Lake	Grate Kiln	1.000.000	1964
Marmoraton Mining Co. ....	Ontario Canadá	Marmora	Shaft Furnace	1.000.000	1955

QUADRO 1 (continuação)

Proprietários	Estado País	Localização	Tipo	Capacidade anual/ tons.	Início Operação
Caland Ore Co. . .	Ontario Canadá	Steep Rock Lake	Horizontal Grate	1.000.000	1966
Inco . . . . .	Ontario Canadá	Sudbury	Horizontal Grate	900.000	1956
Stelco . . . . .	Quebec Canadá	Hilton	Shaft Furnace	800.000	1958
M. A. Hanna Co.	Ontario Canadá	Moose Moutan	Shaft Furnace	600.000	
Kukatush Mining Co. . . . .	Ontario Canadá	Kukatush		500.000	
LKAB . . . . .	Suécia	Kiruna	Horizontal Grate	1.500.000	1965
LKAB . . . . .	Suécia	Kiruna	Shaft Furnace	500.000	
LKAB . . . . .	Suécia	Malmberget	Shaft Furnace	350.000	
TGO . . . . .	Suécia	Strassa		200.000	
TGO . . . . .	Noruega	MO-I-Rana		600.000	
TGO . . . . .	Finlândia	Otanmaki		1.500.000	
Phoenix . . . . .	Alemanha	Duisburg		700.000	
Société des Mines de Fer de Segré	França	Segré	Shaft Furnace	90.000	1963
Montecatini . . . . .	Itália	Follonica		300.000	
Montecatini . . . . .	Espanha	Cotowagner		1.000.000	1966
Kawasaki Steel Co.	Japão	Chiba	Shaft Furn.	2.500.000	1963
Nisso Steel . . . . .	Japão	Nisso		162.000	1963
Yahagi Seitetsu . . . . .	Japão	Nagoya		140.000	1963
Koova . . . . .	Japão	Tobata		120.000	1963
Chowgule Cia. . . . .	Goa-India	Goa		1.000.000	1964
Marcona Mining Co. . . . .	Peru	San Juan	Horizontal Grate	1.000.000	1963
Cia. Vale Rio Doce	Esp. Santo Brasil	Vitória		2.000.000	1967
Cia. Vale Rio Doce	M. Gerais Brasil	Itabira		1.000.000	1967
Total . . . . .				63.602.000	

## 6. PRINCIPAIS USINAS DE PELOTIZAÇÃO QUE TRABALHAM COM 100% DE HEMATITA OU MISTURAS DE HEMATITA-MAGNETITA

Ao todo, dez usinas foram visitadas por alguns dos autores deste trabalho em viagens aos Estados Unidos, Canadá e Europa. Descreveremos, aqui, apenas as que pelotizam 100% de hematita ou misturas de hematita-magnetita.

I — *Humboldt Iron Mine* — Esta usina, de propriedade da Cleveland Cliffs Iron Company e da Ford Motor Company, começou a produzir pelotas em setembro de 1960. O minério "in natura" é uma mistura de hematita especular e magnetita, com pequenas quantidades de martita e sericita. O teor médio da mistura é 35% Fe. O minério, assim constituído, é colocado em britadores giratórios, sendo em seguida moído a úmido em moinhos de barras e de bolas.

A concentração é feita por flotação (usando-se como reagentes "Tall oil fatty", ácido Acintol FA 1, Aerosol e um elemento escumador). Após a flotação, o concentrado tem um teor médio de 63% Fe e aproximadamente, 45% — 325 mesh, sendo composto de hematita com 10 a 40% de magnetita. Como essa granulometria não é suficientemente fina para a pelotização, o concentrado é remoído em moinhos de bolas, até 80% — 325 mesh, o que, neste concentrado corresponde a uma superfície específica de 1.400 cm<sup>2</sup>/gr. O remoído é passado em filtros de disco, resultando um "filter cake" com teor de umidade da ordem de 9,0%.

Terminada a preparação, o material ultra fino vai para o circuito de pelotização propriamente dito, que é composto de duas linhas iguais com capacidade nominal de produção de 1.000 t/dia. Cada linha sub-entende dois tambores pelotizadores, uma grelha horizontal móvel, um forno rotativo e um resfriador anular móvel. Os tambores pelotizadores têm 2,73 m de diâmetro por 9,10 m de comprimento, com uma inclinação com a horizontal, variável de 5 a 10 graus e giram com velocidade de 8 a 16 rpm. Cada tambor possui no sentido longitudinal uma barra cortadora móvel em vai e vem, com uma amplitude de cerca de 60 cm. A função desta barra é retirar o material que fica preso nas paredes do tambor pelotizador. Sobre as barras, nos primeiros 2,50 m, são colocados aspergedores que umedecem suficientemente o concentrado quando necessário.

O aglomerante usado é a bentonita sódica e a quantidade é da ordem de 5,5 kg por tonelada de pelota. A adição é feita automaticamente sobre a correia transportadora, ao mesmo tempo que os misturadores Pekay homogeneizam a mistura que segue

para os tambores pelotizadores. As pelotas cruas formadas são classificadas em peneiras de malha de 3/8" colocadas após cada tambor pelotizador.

A parte menor que 3/8", chamada semente, é recirculada. Teòricamente, pode-se dizer que tôdas as pelotas cruas são formadas em, pelo menos, duas etapas, pois a recirculação é maior do que a alimentação. A capacidade de cada tambor é de 50 t/hora. As pelotas maiores que 3/8" vão, por meio de correia transportadora, até o alimentador da grelha que também é uma correia transportadora, mas com movimento oscilatório, permitindo assim uma melhor distribuição das pelotas cruas sôbre a grelha.

Cada grelha tem 21,5 m de comprimento com uma largura de 2,85 m, movimentando-se com uma velocidade de aproximadamente 1,30 m/min. Nos primeiros meses de operação, a velocidade foi bem menor, mas, atualmente, estão trabalhando acima da capacidade nominal, produzindo cada linha 400.000 t de pelotas por ano. A camada de pelotas na grelha tem uma altura média de 18 cm.

Tanto a secagem como o pré-aquecimento são feitos com tiragem inferior, sendo que a zona de secagem compreende 3 caixas de vento enquanto que a zona de pré-aquecimento compreende 4. Atualmente, a secagem é feita a 330°C, temperatura superior àquela inicialmente programada; por êste motivo, foi necessário instalar-se nesta zona de grelha um pequeno maçarico. Quanto ao pré-aquecimento, está sendo feito a 1090°C, o que obrigou a instalação de um maçarico auxiliar maior com capacidade de queimar 3,80 litros de óleo grosso por hora.

O tempo de permanência das pelotas na grelha está sendo da ordem de 15 minutos. Da grelha as pelotas passam para o forno através de uma calha.

Cada forno rotativo tem 3,0 m de diâmetro por 36,50 m de comprimento e a velocidade de 1,6 rpm. O tempo de permanência das pelotas no forno rotativo é da ordem de 40 minutos. A temperatura máxima varia de 1340 a 1360°C, sendo o aquecimento feito por um único maçarico colocado na extremidade oposta à grelha. Êste maçarico está queimando, atualmente, 1890 litros de óleo por hora o que, somando-se os maçaricos auxiliares da grelha, perfaz um total de 375.000 Kcal por tonelada de pelota.

O forno é revestido com 23 cm de refratário, à base de 45% SiO<sub>2</sub> e 45% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> na parte mais quente, enquanto que na parte próxima à grelha êste revestimento diminui para 15 cm. Os refratários têm sido trocados anualmente

Do forno rotativo as pelotas vão para o resfriador anular. Cada resfriador anular tem 7,50 m de diâmetro externo e 1,20 m

de largura, girando com velocidade de 0,8 rotações por hora. As pelotas são acumuladas em camadas de 75 cm. O ar aquecido, proveniente da primeira metade do resfriador, é introduzido no forno rotativo enquanto que o ar da segunda metade vai diretamente para a chaminé. Do resfriador as pelotas vão diretamente para as pilhas de estocagem através de correias transportadoras.

As pelotas da Humboldt têm diâmetro médio de 10 mm e apresentam resistência à compressão da ordem de 200 kg com um índice de abrasão que varia de 5,0 a 7,0% — 28 mesh.

A análise química média é a seguinte:

Fe = 61,96%; P = 0,068%; SiO<sub>2</sub> = 9,48%; Mn = 0,06%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,05%.

II — *Marquette Iron Mining Company — Republic Mine* — Esta usina, de propriedade da Cleveland Cliffs Iron Company, Jones and Laughlin, International Harvester e Weeling Steel, começou a produzir pelotas em fevereiro de 1962. O minério empregado é constituído essencialmente de hematita especular com teor médio de 38% Fe. Após a britagem, a fração "1/2" é moída a úmido, em circuito fechado de moinho de barras e moinho de bolas, até a granulometria de 45% — 325 mesh. A porcentagem de água é de 78% no moinho de barras e 67% no moinho de bolas.

O material, depois de concentrado em 3 estágios de flotação usando-se os mesmos reagentes que a usina de Humboldt, é remoído em 6 moinhos de bolas de 3,20 m de diâmetro por 5,70 m de comprimento. Esta remoagem é feita em circuito aberto, contendo na polpa 70% de sólidos. A finura do remoído alcança 80% — 325 mesh, que corresponde a uma superfície específica da ordem de 1.400 cm<sup>2</sup>/gr.

A polpa é filtrada em filtros de disco até um teor de umidade de 8,5%. O "filter cake" é acondicionado em silos de 450 t, daí saindo para os tambores pelotizadores.

Como em Humboldt, na Republic existem duas linhas completas de pelotização do tipo grelha-forno rotativo. O aglomerante usado é também a bentonita sódica na quantidade de 0,65%. Esta bentonita é alimentada de um silo de 90 t diretamente sobre o minério nas correias transportadoras. A mistura é feita por um misturador Pekay ainda sobre a correia transportadora. Além dos silos de minério e de bentonita, existe para alimentação de cada tambor um silo para cal hidratada, calcário, ou outro aglomerante, quando necessário. Após passar pelos Pekay, a mistura vai para os tambores pelotizadores.

Cada linha tem 4 tambores iguais aos da Humboldt, de 2,73 m de diâmetro por 9,10 m de comprimento, que funcionam

em circuito fechado com peneiras vibratórias de  $1,5 \times 4,20$  m e malha de 3/8".

Também na Republic, a recirculação é superior à alimentação podendo-se teoricamente dizer que as pelotas são formadas passando pelo menos duas vezes pelo tambor. Por estes tambores possuírem as mesmas dimensões e funcionarem como os de Humboldt não serão descritos.

A grelha é alimentada por 4 tambores sendo as pelotas cruas distribuídas por meio do alimentador oscilatório. Cada grelha mede 3,60 m de largura por 37,8 m de comprimento, sendo a altura média da camada de pelotas de 18 cm.

Tôdas as fases são feitas com tiragem inferior, sendo a temperatura de secagem da ordem de  $290^{\circ}\text{C}$  e esta zona compreende 6 caixas de vento, enquanto que a temperatura de pré-aquecimento é de  $1.065^{\circ}\text{C}$ , compreendendo 8 caixas de vento. Os coletores de poeira estão todos colocados na zona de pré-aquecimento, e são em número de 16. A poeira recolhida, da ordem de 5 kg/t, é recirculada nos moinhos de bolas. Da grelha as pelotas pré-aquecidas passam para os fornos rotativos.

Cada forno tem 4,5 m de diâmetro por 34,2 m de comprimento girando com uma velocidade de 1,1 rpm. O calor é fornecido por meio de um único maçarico, colocado na extremidade oposta à grelha, sendo a temperatura na parte mais quente de  $1340^{\circ}\text{C}$  e o consumo de calorías é da ordem de 262.000 Kcal/t de pelota. O tempo de permanência das pelotas no forno é de cerca de 35 minutos. O refratário usado é o Super Duty Fire Clay, com 45% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e 45% de  $\text{SiO}_2$ . Na parte próxima à grelha, a espessura do refratário é de 15 cm, enquanto nas vizinhanças do maçarico é de 23 cm.

Dos fornos rotativos as pelotas passam aos resfriadores anulares. Cada resfriador tem 12,0 m de diâmetro médio, com uma largura de 2,10 m, sendo a altura média da camada de pelotas de 75 cm. O ar proveniente da primeira metade do resfriador, com uma temperatura média de  $920^{\circ}\text{C}$ , vai como ar secundário para o forno rotativo, enquanto que o da segunda metade, com cerca de  $200^{\circ}\text{C}$ , vai para a chaminé. Do resfriador as pelotas vão diretamente para a pilha de estocagem.

As pelotas têm diâmetro médio de 10 mm, com uma resistência à compressão da ordem de 200 kg e o índice de abrasão variando de 5,0 a 7,0% — 28 mesh. A análise química média das pelotas é a seguinte:

$\text{Fe} = 63,08\%$ ;  $\text{P} = 0,039\%$ ;  $\text{SiO}_2 = 8,55\%$ ;  $\text{Mn} = 0,09\%$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,47\%$ .

A capacidade nominal desta usina é de 1.500.000 t/ano. Atualmente, estão trabalhando acima desta capacidade, produzindo 1.800.00 t/ano. Uma das unidades desta usina, durante o período de 21 de maio a 5 de junho de 1962, produziu 35.000 t de pelotas auto-fundentes. Para êste teste, o minério foi moído a 79,2% — 325 mesh que correspondeu a uma superfície específica de 1.300 cm<sup>2</sup>/g. Trataram de purificar um pouco mais o concentrado, de maneira que a quantidade de calcário a ser adicionada para tornar as pelotas auto-fundentes não fôsse tão grande a ponto de abaixar demais o teor de ferro. Assim, o concentrado que normalmente tem 8,0% de SiO<sub>2</sub> teve esta porcentagem abaixada para 4,5% SiO<sub>2</sub>.

Foram usados como aglomerante 0,5% de bentonita sódica de alto índice de absorção e 10% de calcário sêco. Estas matérias primas foram misturadas no misturador Pekay.

As temperaturas de secagem e pré-aquecimento foram ligeiramente aumentadas em relação às da produção de pelotas ácidas, passando respectivamente para 260°C e 1120°C, enquanto a temperatura do forno rotativo foi abaixada para 1275°C. Na fase de pré-aquecimento, a vazão dos gases foi de 60 pés<sup>3</sup>/pé<sup>2</sup> para 110 pés<sup>3</sup>/pé<sup>2</sup>.

A análise química das pelotas auto-fundentes foi a seguinte:

Fe = 62,78%; SiO<sub>2</sub> = 4,71%; CaO = 4,53%; MgO = 0,66%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,51% e P = 0,043%.

A produção de pelotas auto-fundentes requereu um consumo de calorías 12% superior ao das pelotas regulares. As pelotas auto-fundentes apresentaram resistência à compressão da ordem de 400 kg e índice de abrasão de 3,6% — 28 mesh. Resultados bem melhores, portanto, que das pelotas ácidas.

III — *Groveland Mine Company* — Esta usina, de propriedade da Hanna Mining Company, começou sua produção em abril de 1963. O minério é uma mistura de hematita, magnetita e sericita, com predominância de hematita, sendo o teor médio de Fe da ordem de 36%. O minério é britado em 3 estágios de britadores giratórios, até uma granulometria de  $-\frac{1}{2}$ ", sendo então colocado em um silo, de onde vai para os moinhos de barras. Cada moinho de barras funciona em circuito fechado com uma peneira de 28 mesh. Tanto a moagem como o peneiramento são feito a úmido.

A fração fina vai para três estágios de espirais de Humphrey de onde sai com um teor médio de 59% Fe. O concentrado é então filtrado em filtro de tambor, indo em seguida para o silo dos moinhos de remoagem. O rejeito das espirais é moído em moinho



de bolas, que funciona em circuito com os classificadores hidráulicos e ciclones, indo a fração abaixo de 200 mesh para um tratamento em três células de flotação. O concentrado é filtrado em filtros de disco e tem teor médio de ferro da ordem de 63%.

Este concentrado é misturado com o das espirais, ficando com um teor médio de 61% Fe sendo a porcentagem de magnetita da ordem de 35%, e remoído em moinhos de bolas. Estes moinhos são em número de três; um de 2.000 HP produzindo 105 t/hora e dois de 650 HP produzindo 40 t/hora cada. A polpa é então filtrada em 4 filtros.

O remoído tem granulometria de 80% — 325 mesh, que corresponde à superfície específica de 1.500 cm<sup>2</sup>/g, e a umidade após a filtração é da ordem de 9,0%. Este material ultra-fino vai então para os silos dos tambores pelotizadores. Em Groveland, existe apenas uma linha de pelotização com quatro tambores pelotizadores e um grelha contínua móvel. Os tambores são iguais e funcionam como os das usinas anteriormente descritas.

A usina de Groveland usa, para distribuição das pelotas cruas sobre a grelha, o chamado alimentador de rolos. Este alimentador é formado por uma série de rolos cilíndricos de igual diâmetro, colocados um ao lado do outro, tendo o conjunto uma inclinação de aproximadamente 15° com a horizontal.

A grelha tem 76,5 m de comprimento por 3,0 m de largura e a altura da camada de pelotas é de 40 cm, sendo que os 10 cm inferiores são feitos com pelotas queimadas, da mesma forma que nas partes laterais, onde a camada de pelotas queimadas é da ordem de 7,5 cm. A velocidade é de aproximadamente 1,5 m/min.

A primeira parte da secagem é feita com tiragem superior bem como o resfriamento, enquanto que o final da secagem, o pré-aquecimento e a queima são feitos com tiragem inferior. A grelha possui um total de 34 caixas de vento distribuídas da seguinte maneira:

- 5 para secagem com tiragem superior;
- 2 para secagem com tiragem inferior;
- 2 para pré-aquecimento com tiragem inferior;
- 13 para queima com tiragem inferior;
- 12 para resfriamento com tiragem superior.

O ar retirado das 9 caixas do resfriamento, imediatamente após a queima, é recirculado ao mesmo tempo que o das 3 últimas caixas segue para a chaminé.

As temperaturas são da ordem de 285°C para a secagem, 980°C para o pré-aquecimento e 1315°C para a queima. Estas temperaturas são obtidas com o auxílio de 30 maçaricos, sendo 28

maiores e 2 menores distribuídos 1 menor de cada lado na zona de secagem e 14 maiores de cada lado distribuídos nas zonas de pré-aquecimento e queima. O consumo de calorías por tonelada não nos foi fornecido, supondo-se que seja inferior a 250.000 Kcal/kg.

São as seguintes as características das pelotas de Groveland:

Resistência à compressão média: 255 kg.

Índice de abrasão: cerca de 6,0% — 28 mesh.

A presença de CaO no minério faz com que estas pelotas sejam semi-fundentes, apresentando a seguinte análise química média:

Fe = 60,61%; SiO<sub>2</sub> = 7,77%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,48%; Mn = 0,68%; CaO = 1,06%; MgO = 0,87%; P = 0,028%.

A usina de Groveland tem capacidade nominal de produção de 1.250.000 toneladas de pelotas por ano.

IV — *Carol Pellet Company* — Esta Companhia pertence a Iron Ore Company of Canadá que foi formada com capitais da Hanna, National Steel, Republic Steel, Armco Steel, Wheeling Steel e Youngstown Steel, e começou a produzir pelotas em junho de 1963. O minério de ferro na área de Carol Lake ocorre sob a forma de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, sendo o teor médio de 37% Fe. O minério como vem da mina passa por um britador primário que reduz até um máximo de 15 cm. Do britador êle é conduzido por meio de uma correia transportadora de 1,50 m de largura até os silos que o distribuem por 6 Aerofall Mill (moinhos antagônicos) de 6,3 m de diâmetro. A moagem é a seco.

O material moído é retirado dos moinhos por meio de uma corrente de ar de alta velocidade que o faz passar por 3 classificadores, onde as partículas do minério são retiradas da corrente de ar. Dois destes classificadores são de partículas grossas e um de partículas finas. Os de partículas grossas alimentam duas peneiras onde a separação a 14 mesh é feita. A fração maior que 14 mesh retorna aos moinhos, enquanto que a fração menor vai para os circuitos de espirais de partículas maiores. Ao mesmo tempo, o terceiro classificador envia o material bem fino (60% — 200 mesh) para o circuito de espirais de partículas finas.

A usina de concentração compreende 12 linhas de espirais para partículas maiores, num total de 2400 espirais e 12 linhas de espirais para partículas menores, num total de 1056.

A quantidade de água necessária é bem grande — da ordem de 434,7 m<sup>3</sup>/min — sendo que a demanda de água fresca é de

94,5 m<sup>3</sup>/min. Esta água é bombeada do lago Wabush por meio de 4 bombas de 37,8 m<sup>3</sup>/min.

Após as espirais o concentrado é filtrado em filtro horizontal a vácuo até 3,0% H<sub>2</sub>O, de onde vai para os silos que alimentam os moinhos de bolas da remoagem. O teor de ferro no concentrado final é da ordem de 66,0% Fe, sendo que a porcentagem de magnetita varia de 25 a 50%.

A operação de remoagem é feita em 8 moinhos de bolas, com capacidade de 100 t/h. O concentrado é remoído até 85% — 325 mesh que corresponde a uma superfície específica de 1.600 cm<sup>2</sup>/g. A remoagem é feita por via úmida.

Na filtragem da polpa são utilizados 16 filtros de discos que reduzem a umidade a 9,0%. O “filter cake” é então acumulado em silos que alimentam os tambores pelotizadores. Carol Pellet Company possui 4 linhas de pelotização.

As pelotas cruas são formadas em 4 tambores pelotizadores. Os tambores são iguais e funcionam como os descritos anteriormente, com uma diferença apenas nas peneiras que estão em circuito fechado com êles. A abertura das malhas é de 13/32”, em lugar de 3/8”. O aglomerante empregado é 0,6% de bentonita sódica importada dos Estados Unidos.

As pelotas cruas são distribuídas sobre 4 grelhas por meio de alimentadores de rolos, semelhantes aos da Groveland Mine. As grelhas horizontais móveis são também semelhantes às de Groveland com igual número de caixas de vento, distribuídas da mesma maneira, assim como os maçaricos.

O consumo de calorías é da ordem de 220.000 Kcal/t de pelota. O ar aquecido na zona de resfriamento compreendido pela 4 caixas de vento, imediatamente após a zona de queima, é recirculado enquanto que o das 3 últimas caixas de vento é mandado para a chaminé. As temperaturas são de 290°C na zona de secagem, 540°C na zona de pré-aquecimento e 1315°C na zona de queima. A velocidade da grelha é de 1,5 m/min. Usam também camadas laterais e central de pelotas queimadas, que variam de 5 a 15 cm sendo de 40 cm a altura total das pelotas.

Ao saírem da grelha as pelotas são peneiradas entre — 1” e + 5/16”, sendo a parte menor que 5/16” enviada para os moinhos de remoagem enquanto as pelotas classificadas vão para a pilha de estocagem. É a seguinte a análise química média das pelotas:

Fe = 65,0%; SiO<sub>2</sub> = 3,89%; P = 0,01%; CaO = 0,20%; Fe<sup>++</sup> = 0,14%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,40%. Esta usina tem capacidade nominal de 5.000.000 t/ano de pelota.

---

Como se pode constatar, a pelotização de minérios hematíticos ou misturas de minérios, com predominância de hematita, já está sendo feita em grande escala.

A exposição feita reproduz o caminho seguido pela Companhia Vale do Rio Doce no sentido de preparar-se convenientemente para participar na competição internacional do mercado de pelotas. O quadro apresentado indica a ordem de grandeza do consumo mundial de pelotas, mercado êste do qual a Companhia Vale do Rio Doce se propõe participar, a partir de 1967, com 3.000.000 t/ano.

Os autores agradecem à alta administração da Companhia Vale do Rio Doce o apóio recebido e a permissão para divulgação dêste trabalho. Tornam ainda extensivos os seus agradecimentos a todos aquêles que, com sua colaboração, tornaram possível a elaboração do mesmo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. RUMPF, H. — *The Strength of Granules and Agglomerates*. Agglomeration.
2. MEYER, K. J. E. & RAUSCH, H. — *The Lurgi Pelletizing Process: A Combined Updraft-Downdraft Technique*. Journal of Metals, Outubro (1958).
3. COHEN, E. — *The Strength of Granules and Agglomerates, Prepared Discussion*. Agglomeration.
4. FIRTH, C. V. — *Agglomeration of Fine Iron Ores*. Proceedings Blast Furnace, Coke Oven and Raw Materials (1944).  
the Strength of Green and Burned Pellets made from Fine Magnetite
5. TIGERSCHOLD, M. & ILMONI, P. A. — *Fundamental Factors Influencing the Strength of Green and Burned Pellets made from Fine Magnetite Ore Concentrates*. Proceedings Blast Furnace, Coke Oven and Raw Materials (1950).
6. BHRANY, U. N. et alii — *Dynamics of Pelletization*. Agglomeration.
7. NEWIT, D. M. & CONWAY-JONES, J. M. — *A Contribution to the Theory and Practice of Granulation*. Transaction Institute Chemical Engineers (1958)
8. RIDGION, J. M. et alii — *The Development of a Pelletizing Process for Fine Iron Ores*. Journal of the Iron and Steel Institute, 177 (1954).
9. URICH, D. M. & HAN, T. M. — *A Progress Report on the Effect of Grind Temperature and Pellet Size upon the Quality of Specular Hematite Pellets*. Agglomeration.
10. BERKHAHN, R. W. & URICH, D. M. — *Grate Kiln Pelletizing of Iron Concentrates*. AIME (Minnesota).

11. BUNGE, FRED H. — Iron Ore Flotation AICE (Chicago, 6-12-62).
12. JONHSON, E. B. — *In Steel's Future: Self Fluxed Pellets?* Mining Engineering, Março (1963).
13. — *Humboldt Iron Mine Opens 650.000 t Pellet Plant.* Blast Furnace and Steel Plant, Outubro (1960).
14. — *Mining of Jasper Ore and Production of High Grade Pellets at the Humboldt Mine.* Public Relations Department "The Cleveland Cliffs Iron Co."
15. — *Contributions of Arthur G. McKee and Co. to the Development of Pelletizing Systems,* Fevereiro (1963).
16. — *The Cleveland Cliffs Iron Company 1962...* Annual Report.
17. — *Agglomeration of Iron Ore Concentrates.* Miscellaneous Report n.º 90 Oliver Iron Mining Division.
18. — *Improvements in the Grate Pelletizing Process.* Dravo Corporation. AIME (Detroit 10-4-62).
19. — *Grate Kiln System.* Allis Chalmers.
20. — *Observações Pessoais.*



## DISCUSSÃO

**L. C. Corrêa da Silva** (1) — Creio ser esta uma boa oportunidade de perguntar ao Eng. Sarcinelli Garcia, que visitou numerosas instalações de pelotização no exterior, quais as que estão com maior volume de experiência na pelotização da hematita.

**L. F. Sarcinelli Garcia** (2) — Creio que a usina que trabalha em pelotização com 100% de hematita é a Republic Mine. Como está descrito no texto, é uma usina relativamente grande, com produção de 1,8 Mt/ano. Acredito que esta é a usina que disponha de maior experiência na pelotização de hematita. Há também o grupo que iniciou a pelotização de hematita nos Estados Unidos, que é o da Cleveland Cliffs Iron Company, através da Humboldt Iron Mine. Mas o minério da Humboldt contém uma certa fração de magnetita. Também uma usina que pertence à Hanna Mining Co. está pelotizando minério com alto teor de hematita, e essa usina ainda tem a particularidade de que esse minério contém certo teor de cal, o que faz com que as pelotas sejam semifundentes. Tivemos oportunidade de visitar uma grande usina no Canadá, a Carol Pellet Co., com uma capacidade de 5 Mt/ano, cujo minério é predominantemente hematita.

**O. H. Leonardos** (3) — Tenho justamente aqui uma amostra dessa pelota da Reserve Mining Co., de Silver Bay, e que está à disposição dos que a quiserem examinar.

(1) Membro da ABM e Engenheiro Chefe da Divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo.

(2) Membro da ABM e engenheiro da C.V.R.D.; São Paulo.

(3) Membro da ABM e orientador dos debates; Diretor da Escola Nacional de Geologia; Rio de Janeiro, GB.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — É a maior usina do mundo. O minério é taconita magnesianas, de modo que não contém hematita no minério pelotado.

**C. D. Brosch** (4) — Queria perguntar ao expositor se viu algum exemplo de usina que incluía cal como aglomerante das pelotas, na produção industrial.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Não vi nenhuma usina que usasse cal como aglomerante. Como está descrito no texto, a Republic Mine fez experiência para produção de pelotas altamente fundentes. Adotaram a introdução de cal como aglomerante, mas só neste caso. No caso da Groveland Mine Co. a cal existente está contida no minério; não é introduzida.

**O. H. Leonardos** — Entre os geólogos é dito que o melhor é o que mais viaja. Num assunto novo de investigação não muito divulgada, minha impressão é de que os metalurgistas que visitam mais países são os mais notáveis. Pergunto se o senhor visitou a usina de Marcona Mining. Não?

Tenho a impressão de que é vantagem uma pessoa visitar uma usina para poder fazer observações críticas. Acho que seria de interesse para a CVRD completar as visitas do Eng. Sarcinelli Garcia.

**P. M. Bohomoletz** (5) — CVRD tem uma série de problemas muito grande, de forma que deles a pelotização é até secundário. Temos poucos engenheiros, e se formos mandar todos viajar ao mesmo tempo, teremos que parar a mina. A observação porém é justa.

**O. H. Leonardos** — Agradeço a resposta do Eng. Bohomoletz e faço votos que a CVRD tire bastante partido deste problema, que não considero tão secundário.

As últimas administrações da CVRD, do Eng. Batista Silva e do Eng. Paulo Vieira, pretenderam justamente tirar partido do mercado potencial mundial para pelotas, mercado que não temos para minério. Desta maneira, creio que todo o sacrifício que o País possa fazer agora, pleiteando da CVRD que veja isto rapidamente, será precioso.

**H. Pfeifer** (6) — Na sistemática dos ensaios publicados no trabalho constam, como n.º 2, os ensaios de laboratório em grande escala e, a seguir, os ensaios em usina-piloto. Nos ensaios de laboratório em grande escala foi feita apenas referência ao minério da CVRD, minério lavado.

Gostaria de saber com que minério foram realizados esses ensaios de laboratório em grande escala. Nos ensaios em usina piloto se menciona hematita pulverulenta. Gostaria de saber, tanto num caso como no outro, se há perspectivas de realização dos mesmos ensaios com outros minérios da CVRD.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Realmente foram feitos com «blue dust», e o teste da usina-piloto é uma confirmação dos testes obtidos no **pot-grate** que são considerados os mais importantes no esquema preparatório para instalação de uma usina. Sem dúvida que a CVRD, possuindo uma série de outros tipos de minério, não poderia deixar de testá-los. Começamos pelo «blue dust», que era o que se apresentava mais fácil. Não podíamos perder mais tempo. Mas a CVRD tem uma série de outros tipos de mi-

(4) Membro da ABM e Doutor em Metalurgia; do IPT de São Paulo.

(5) Membro da ABM e Diretor da CVRD; Rio de Janeiro, GB.

(6) Membro da ABM; Diretor Técnico de Aços Finos Piratini; Porto Alegre, RS.

nérios que serão testados e, pode vir a ser o caso que na nova usina em preparação, sejam utilizados minérios completamente diferentes, uma vez que uma dessas usinas vai destinar-se mais à produção de matérias primas para a indústria nacional, enquanto que a outra deverá ser destinada à exportação.

Por exemplo. Se tomarmos o caso da indústria nacional, e produzirmos pelotas como as que temos preparado para exportação com teor de sílica mais alumina inferior a 1%, não temos no Brasil outro tipo de minério para misturar, de modo que não há interesse, pelo menos aparente, de se produzir material extremamente puro e, depois, adicionar areia no alto forno. A CVRD está pensando seriamente no abastecimento para essa indústria nacional; serão utilizados nossos tipos de minério que tenham composição já definitiva, mas satisfatória. No caso do exterior, vão-se fazer misturas com outros tipos de minério, e então o problema já é diferente. A companhia interessa exportar sílica, porque eles têm isso em abundância. Procuraremos fazer, para o mercado exterior, pelotas de alto teor de ferro e baixo em alumina. Queremos estudar também a possibilidade de entrada de minério de manganês.

**P. M. Bohomoletz** — É preciso declarar à Casa que a CVRD e a Aços Finos Piratini estão em vésperas de firmar um convênio de cooperação, no sentido de se estudar, no exterior, a possibilidade de se pelotizar diversos tipos de minério, inclusive fazer pelotas pré-reduzidas. Será objeto de conversações dentro de poucos dias com o IPT, com o Eng. Corrêa da Silva, pois será extensão do projeto de pesquisa realizado também aqui no Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Precisamos somar esforços de todos. Como a Piratini, vejo o problema de maneira muito particular, e vamos dar a ele todo nosso apoio.

**O. H. Leonardos** — Gostaria de chamar a atenção do auditório para o fato de que a CVRD tem um problema específico: possui grande quantidade de resíduos finos e precisa aproveitar esses finos sob a forma de pelotas. Em seguida, ela deseja exportar, o mais possível, ferro. Em terceiro lugar, devia também conquistar o mercado brasileiro para pelotas. Digamos que houvesse uma usina colocada no porto para aproveitamento dos finos peneirados no porto, e uma segunda usina em Itabira. Os problemas são bem diferentes. A exportação visa exportar ferro metálico, enquanto que o consumo interno poderia aproveitar a pelota pré-reduzida ou auto-redutora, a fim de que possamos utilizar as moinhas de carvão vegetal de Minas Gerais. De modo geral, o problema brasileiro da pelotização difere do estrangeiro, porquanto não temos bastante combustível.

O Eng. Sarcinelli Garcia chamou a atenção para o fato de que, no custo de pelotização no Brasil, o fator maior é o combustível. Enquanto a mão-de-obra nossa é 50% mais barata do que a americana, o combustível é 200% mais caro. É um **handicap** de pelotização no Brasil o custo elevado do combustível.

Peço ao Eng. Bohomoletz que faça um exame crítico a propósito do gráfico n.º 1 do trabalho e da política que se antevê da CVRD, face a problemas gerais do Brasil, que nem sempre são coincidentes, mas que a CVRD deverá levar avante, no interesse geral do País.

**P. M. Bohomoletz** — Preliminarmente, quero esclarecer a Casa sobre a questão do número de usinas, localização e critérios. Precisamos dar início, o mais rapidamente possível, à produção de pelotas. Precisamos saber qual o melhor processo para se fazer pelotas exportáveis utilizando-se nossos minérios. Do Vale do Rio Doce especificamente, foram enviadas para as usinas da Mc Kee, Allis Chalmers, Lurgi e Kawasaki Steel do Japão, amostras para ensaios em escala usina piloto. Os ensaios realizados nessas quatro usinas mostraram que, com qualquer um dos pro-

cessos, é possível obter-se pelotas de qualidade excepcional. Então surgiu o problema de como dimensionar a usina e qual seria o menor investimento necessário correspondente.

Dentro desse ponto de vista e não desejando a Companhia começar com uma usina de porte muito grande, dada a falta de conhecimento e de experiência na ocasião, há três anos, numa incerteza relativa ao mercado, verificou-se que a menor dimensão industrialmente econômica teria sua produção em torno de um milhão de toneladas por ano. Por este motivo, preferiu-se localizar a primeira usina junto às minas, porque temos matéria prima excepcional e um mercado interno consumidor no centro de gravidade da Vale do Rio Doce, crescendo de maneira quase assustadora.

A fábrica de pelotas nos parecia muito aconselhável naquela parte porque, além do mais, as composições vazias que retornavam do pórtio de Vitória trariam carvão e, à medida que se intensificasse o uso de pelotas, diminuiria o **coke rate**. Diminuiu-se a saída dos dólares do País, a divisa forte. Este foi o primeiro motivo relacionado a uma série de outros, mas o principal por que se pretendeu construir a primeira usina de um milhão de toneladas junto às minas.

Sob o ponto de vista de exportação, balanceadas as vantagens e as conveniências do transporte do minério fino, o «blue-dust» requer para cada metro cúbico de capacidade do vagão cerca de quatro toneladas, ao passo que a pelota requer cerca de três. Cotejando isto com o frete do combustível, levando-se em consideração ainda a abrasão das pelotas no percurso de quase 500 quilômetros, julgamos preferível localizar no litoral o grupo de usinas de produção de pelotas para exportação, inclusive para as usinas do litoral brasileiro, de Norte a Sul. A primeira seria a Ferro-Aço de Vitória, depois USIBA, COSIPA, Piratini. Seria o mercado nacional alimentado pela usina do litoral, e o restante desses dois milhões seria exportado. Verificamos que a dimensão mínima para essa produção inicial seria da ordem de dois milhões de toneladas.

O gráfico anexo pretende mostrar apenas a ordem de grandeza do investimento em função de produção anual. É preciso observar que este gráfico inclui os custos de moagem fina, porque (e chamo a atenção para isso) é um pouco perigoso comparar-se esses números quando eles não são bem especificados. Os canadenses, os americanos e os suecos concentram seus minérios; nessa concentração, a moagem, por exemplo no caso de itabirito, vai a 100% abaixo de 400 **mesh**. Resulta então uma granulometria necessária, suficiente para se fazer as pelotas. O mesmo acontece na Suécia e no Canadá, não com granulometria tão exagerada. No Brasil o caso é outro: temos que moer o minério; não temos que concentrá-lo. Não se pode fazer pelota, num processo dimensional, sem moer o minério. O investimento para moagem está incluído no investimento para uma usina de pelletização própria dita. Nesse caso, enquadram-se todas as consultas e propostas preliminares, não compromissadas. Todos os fabricantes a quem consultamos — e são numerosos — caem dentro dessa faixa. No Brasil, esperamos que a primeira usina junto à mina seja praticamente uma usina-piloto. Um milhão já é respeitável como investimento, como operação, mas nosso objetivo é de, no mínimo, 10 milhões dentro de alguns anos. Então, preferimos arriscar um pouco, gastando um pouco mais por tonelada/ano, mas aprendendo a fazer bem, para depois levar a experiência para outros grupos. A evolução tecnológica não está terminada; seria um pouco perigoso nos arriscarmos agora, numa capacidade inicial grande, e correremos o risco de, dentro de alguns anos, estarmos obsoletos.

**O. H. Leonardos** — No Brasil, o custo de investimento por tonelada/ano é bem inferior ao da Suécia e dos Estados Unidos, por causa da concentração.



**P. M. Bohomoletz** — Diria que no Canadá e nos Estados Unidos o investimento por tonelada/ano deve orçar em torno de trinta dólares. É muito difícil obter-se esses dados, porque quando se visitam as usinas elas nos dão um número, mas nele já estão incluídos vilas operárias, hospitais, e uma série de obras assistenciais; nunca se consegue saber quanto custa a usina industrial propriamente dita. A nossa estará com todas as obras sociais, talvez dentro da ordem de 15 a 20 dólares.

A localização em Itabira nos desobriga de investimentos sociais, proquanto há escolas, hospitais, cinemas, parques, etc. Daí, então, poderemos reduzir o preço que mencionamos. Note-se que isso não tem nada com o custo operacional; é só investimento. Partimos do «blue dust» abaixo de  $\frac{1}{2}$ " e precisaremos talvez de um peneiramento do que fôr acima de  $\frac{1}{2}$ ". Se tiver resistência suficiente para suportar a trepidação da peneira, será minério raro, para alimentação direta do sinter ou do alto forno. Então, descartaremos essa fração mais grossa para exportação direta, e só o que atravessar a peneira, de  $\frac{1}{2}$ " ou  $\frac{3}{8}$ ", é que será moído na usina, e essa moagem terciária, fina, está compreendida no custo do equipamento.

**O. H. Leonardos** — Pelo que entendi, a pelotização não substitui a sinterização; são complementares.

**P. M. Bohomoletz** — Sem dúvida, são complementares. Quanto ao briquete, será um complemento da pelota.

**H. Pfeifer** — Gostaria de agradecer a oportuna referência que o Eng. Paulo Bohomoletz fêz ao nosso trabalho em conjunto, e dizer também que a Piratini tem estudado com bastante afinco o problema do seu combustível e seu redutor.

Perguntaria agora, quanto a combustível, se a equipe da CVRD já possui uma visão clara do assunto e que elementos levaram à estimativa desse custo que aqui consta do combustível. O Eng. Bohomoletz referiu-se ao retorno de Vitória a Itabira, do carvão. Desejaria saber a que carvão se referiu.

**P. M. Bohomoletz** — Para fazer coque metalúrgico.

**L. F. Sarcinelli Garcia** — Nós não nos referimos a carvão. Não estamos nos referindo a custo do carvão. Isto é custo do óleo combustível nos maçaricos. Inicialmente, utilizamos óleo combustível e, posteriormente, se houver condições para a localização de uma das nossas usinas de pelotização próximo à usina siderúrgica, então será utilizado gás de coqueria.

**B. Cerne** (7) — Número recente da revista VDI ZEITSCHRIFT publicou um artigo sobre as pesquisas realizadas pela «British Atomic Comission», prevendo que, em 1975, o custo da eletricidade gerada por energia nuclear, estará bem abaixo do custo da que for produzida por carvão. Assim, perguntaria ao Eng. Bohomoletz, se já foi estudada a redução das pelotas por hidrogênio.

**P. M. Bohomoletz** — Não estudamos ainda o caso da redução de pelotas ou a fabricação de pelotas pré-reduzidas. Estamos pensando em estudos geográficos e coleta de informações, mas ainda não demos início a esse programa. Não temos capacidade física para responder. Quero lembrar o seguinte: o problema tem um aspecto técnico ou tecnológico, mas existe ainda o aspecto social e o aproveitamento das riquezas do País

(7) Membro da ABM; engenheiro da ACESITA; Acesita, MG.

em seguida. Não sei, mesmo se o custo da energia elétrica atômica fôr mais barato do que a produzida por carvão, se seria o caso de se implantar uma usina elétrica atômica no Rio Grande do Sul. Seria o caso, sem dúvida nenhuma, de Mato Grosso, Maranhão, Goiás, mas não estou convencido de que seja conveniente, porque uma coisa é o lucro e a rentabilidade de um empreendimento ou de um grupo de empreendimentos, mas outra coisa é a rentabilidade da economia nacional. E esta é mais profunda; atinge um número enorme de classes sociais e envolve uma série grande de problemas.

**W. S. Emrich** (8) — Meus senhores, devido ao adiantado da hora, desejo fazer só uma pequena consideração em tórno dos problemas que, como todos acabamos de ouvir, são de real importância para a siderurgia brasileira, e mesmo para a nossa própria economia.

O trabalho que está sendo realizado por êsse grupo muito bem orientado pelo Eng. Bohomoletz e pelo Eng. Corrêa da Silva, aqui no IPT, representa uma grande experiência para o Brasil. Tenho a impressão de que será de valor — talvez no momento não bem reconhecido — para a nossa produção siderúrgica, principalmente dos altos fornos e dos baixos fornos que temos em marcha.

Tivemos oportunidade de apreciar alguns trabalhos de laboratório e também de receber a primeira experiência feita na Usina de Huckingen, da Mannesmann, com pelotas de duas procedências: americana e sueca. Os resultados obtidos pela Huckingen são muito bons, e nos animam muito. Temos aqui sôbre a mesa alguns exemplares dessa pelota que poderão ser observados pelas pessoas interessadas.

---

(8) Membro da ABM; Presidente da Comissão; engenheiro da Cia. Siderúrgica Mannesmann; Belo Horizonte, MG.