

III PARTE

INDUSTRIALIZAÇÃO DOS FINOS DE MINÉRIO DE FERRO ⁽¹⁾

Discussão conjunta dos trabalhos da I e da II Partes

F. Pinto de Souza ⁽²⁾ — Felicito o Eng. Carlos Dias Brosch pelo seu notável trabalho.

Antes de abrir os debates desejo externar meus pontos de vista, bem como fazer comentários sobre os dois trabalhos pela ordem que foram apresentados.

Realmente, a direção da Companhia Vale do Rio Doce está fazendo um notável trabalho na conquista do mercado mundial para os minérios de ferro brasileiros. Em fase executiva estabeleceu uma padronização abrangendo uma série de tipos de minérios de forma a atender as usinas siderúrgicas suas clientes no exterior. Lançou-se ao trabalho de pesquisas para concentração econômica de nossas imensas reservas de minério do tipo itabirito que, por seu mais baixo teor em ferro, não poderiam, sem êsse prévio beneficiamento, concorrer no mercado mundial. Simultaneamente, faz estudar as possibilidades de pelletizar economicamente os finos de minério de alto teor e os concentrados que resultarão do beneficiamento do itabirito. Para as duas últimas atividades não poderia ter sido mais feliz na escolha do técnico que as orientasse, o nosso prezado colega Paulo Bohomoletz, autor do trabalho.

Até há poucos anos atrás o único tipo de minério que o Brasil exportava era a hematita compacta de alto teor e em grandes blocos, conhecida sob a denominação de «Hematite Lump Ore». Êste minério não se destinava aos altos fornos, mas sim aos fornos Martin e elétricos onde, nas operações metalúrgicas, fornecia seu oxigênio de composição e permitia aproveitar, por assim dizer em redução direta, o ferro contido. Operava, pois, êste minério em concorrência com a sucata e alcançava preços excepcionais. A extrema riqueza e pureza dêste minério tornava-o praticamente sem concorrente no mercado mundial. Chegou a ser vulgarmente denominado o nosso «filet mignon» e muitos foram os que protestaram contra a sua exportação, embora vultosas sejam as nossas reservas dêste minério, pretendendo que vedamos ao exterior o «filet mignon» e guardávamos para nós a carne de peçoço. Ocorreram, neste últimos anos, três fatos que vieram modificar completamente a conjuntura. A introdução, cada vez mais generalizada, do oxigênio na operação de refino, quer nos convertedores e, mais recentemente, nos fornos Martin, fêz com que se reduzisse o mercado dêste

(1) Realizada no XVIII Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte, julho de 1962. Os trabalhos citados são publicados neste Boletim.

(2) Membro da ABM e na presidência da Comissão "F"; Professor catedrático da Escola de Engenharia da UMG; Belo Horizonte, MG.

minério com a destinação especificada. Por outro lado, mesmo nos países clientes desenvolveram-se processos de concentração e aglomeração que permitiram a obtenção a partir dos minérios locais pobres em ferro de produtos praticamente com o mesmo grau de riqueza e pureza que o nosso minério excepcionalmente valioso. Finalmente, foram descobertos em alguns locais, principalmente na África, minérios de características químicas e físicas equivalentes aos nossos. O resultado foi que a cotação do nosso lump caiu progressivamente, em proporção muito mais sensível do que os outros minérios de teor mais baixo. Pior do que isso, decresceu mesmo a capacidade de absorção do mercado para este tipo de minério em grandes blocos, e hoje somos obrigados a britar o minério a menores dimensões, resultando, além do custo desta operação, de um lado um produto de muito menor cotação destinado a emprêgo direto nos altos fornos, e de outro uma porção sensível de finos, que devem ser prèviamente aglomerados para, em seguida, serem reduzidos e em conseqüência com cotação ainda menor.

É digna de admiração e elogios a rapidez e flexibilidade com que a CVRD se adaptou à nova circunstância. Faz apenas cêrca de dois anos que nesta Escola o Grêmio Mineiro-Metalúrgico Louis Ensch promoveu um simpósio abordando a padronização de tipos de minério de ferro e já em 1962 a CVRD oferecia ao mercado mundial cêrca de oito tipos padrões perfeitamente especificados e o resultado dêste trabalho foi que já no corrente ano a proporção de minérios dos tipos lump reduziu-se a pequena percentagem no conjunto de sua exportação.

Farei agora alguns comentários diretamente sôbre o trabalho apresentado pelo colega Paulo Bohomoletz.

Pelo menos na sua origem o processo de pelotização surgiu para aglomerar minérios de tão fina granulometria que não eram mais passíveis de serem sinterizados, porque a sua extrema finura tornava a mistura praticamente impermeável à passagem do ar. Para vencer esta dificuldade lançou-se mão de um artifício que consiste em juntar uma certa porção de finos grãos em pequenas pelotas e submeter o conjunto a uma operação semelhante à da sinterização. Em essência, os princípios da junção dos cristais de óxido de ferro, que resultam no aglomerado, são os mesmos para sinterização e pelotização. Assim, pelo menos em suas origens, a escolha do sistema de aglomerar era indicada pela granulometria do minério disponível. Aquêles de granulometria mais grossa eram, de preferência, sinterizados, e, os de mais fina granulometria, pelotizados. É sabido que a operação de pelotização é mais dispendiosa, e exige maiores inversões do que a de sinterização. Além disso se se pretendesse pelotizar minérios de granulação mais grossa seria necessário pulverizá-los mais finamente e essa operação é sem dúvida dispendiosa.

A situação poderá se modificar se ficar nitidamente demonstrado que a pelota apresenta maiores vantagens que o sinter na operação posterior de redução nos altos fornos de modo a compensar os dispêndios mais elevados nas operações preliminares. Tal já é o caso, por exemplo, no processo de redução direta Wiberg. No que diz respeito a altos fornos, no tanto em que estou informado, ainda não está nitidamente demonstrada a superioridade da pelota sôbre o sinter. Alguns exemplos, indicados na literatura, não são ainda, no nosso modo de ver, suficientes para se positivar o entusiasmo de alguns técnicos pela pelota. Ocorre que se fala em sinter e pelota de um modo genérico, sem se levar em conta as características específicas de cada um dêstes produtos. Particularizando o caso do sinter, é comum, visando-se obtê-lo com forte resistência à degradação, resultar um produto de péssima redutibilidade. Desejo tornar nítido que êste meu ponto de vista encara a questão no estado atual dos conhecimentos tecnológicos.

Admito perfeitamente que a situação possa evoluir e que, em curto período, se desenvolvam processos de modo a compensar perfeitamente os maiores dispêndios com a pelotização.

Tênicamente não resta dúvida de que, se os finos de minérios se destinarem a sinterização, esta operação deverá ser feita mais economicamente no destino, junto aos altos fornos, e só condições excepcionais poderão indicar outra orientação.

Se, entretanto, o minério fôr destinado a pelotização, tudo indica que a operação deverá ser realizada nas proximidades da mina, porquanto evita-se, dêste modo, os sérios problemas de manipulação e transporte dos finos de baixa granulometria e parece que as pelotas resistem razoavelmente a essas manipulações. Neste particular, há uma coincidência com o interesse do Brasil, porquanto será vendido um produto mais elaborado.

Outra questão a atentar, e que foi justamente levantada pelo Eng. Paulo Bohomoletz, refere-se ao fato de que grande parte dos nossos finos naturais é, poderíamos dizer, bastarda, isto é, composta de uma fração de granulometria favorável à sinterização, mas contendo outra fração tão fina que dificulta a sinterização e permitiria pelotizar sem submetê-las a pulverização sempre dispendiosa. Admito que caberia neste particular o estudo de um processo que permitisse separar economicamente essas granulometrias, destinando a parte mais grossa para ser exportada in natura e a parte mais fina para ser exportada sob a forma de pelota.

Outra questão que se apresentará refere-se ao processo a adotar para aglomerar os finos que resultarem da concentração dos itabiritos. No estado atual das investigações dêste concentrado parece-me prematura qualquer afirmativa. Provavelmente, e atendendo às características bastante variáveis dêstes itabiritos, resultarão concentrados de granulção diversa.

Uma outra dúvida que me ocorre reside em sabermos se as pelotas que viermos a obter estarão em condições de concorrer economicamente no exterior com aquelas lá obtidas pela concentração de minérios pobres. É certo, para abordarmos por exemplo, o caso do americano, que a pulverização e concentração da taconita é extremamente mais difícil e onerosa que operação semelhante a ser realizada com os nossos itabiritos e ainda mais com operação de maior pulverização dos nossos finos ricos. Por outro lado, entretanto, o nosso produto será sempre muito mais onerado pelo transporte terrestre e marítimo para atingir as usinas do exterior. Deve-se também ter em conta que o dinheiro para as inversões necessárias é muito mais caro na época atual aqui no Brasil do que nos países de nossos clientes.

Desejo assinalar que as críticas e comentários que estou apresentando têm caráter rigorosamente construtivo, porquanto estou cem por cento de acôrdo com o nosso colega Paulo Bohomoletz que o problema deve ser estudado com toda seriedade e já é, no momento, oportuno. Há tal entusiasmo, principalmente nos Estados Unidos, pelo emprêgo das pelotas que eventualmente seremos mesmo obrigados a lançar-nos neste campo em futuro próximo ou desistirmos dêste mercado.

Uma outra questão a considerar é que a maioria dos nossos minérios, ou mesmo a sua quase totalidade, é constituída de hematita e no estado atual da tecnologia a pelotização dêste óxido de ferro é mais difícil que a da magnetita. É certo existir instalações industriais operando com elevada percentagem, ou mesmo totalidade, de hematita.

Contudo, a operação é mais dispendiosa, e tenho dúvidas se a pelota resultante é tão redutível como a procedente de magnetita, pela necessidade de se obtê-la em temperaturas mais elevadas, o que pode resultar em pelotas menos porosas.

Passarei agora a avançar alguns comentários sobre o trabalho do Eng. Carlos Dias Brosch.

Trata-se de contribuição do mais alto interesse e creio que, no Brasil, é a primeira vez que se aborda o problema das pelotas, que denominou «auto-reduzidas» e que preferiria denominar «pré-reduzidas». Acredito que este produto possa alcançar bem mais alta cotação, tornando assim bem mais favorável a nossa posição na competição internacional.

Há um trecho no trabalho do Eng. Carlos Dias Brosch que não compreendi bem. Assinala que para fabricação das pelotas clássicas faz-se necessário operar com um minério, tendo cerca de 80% abaixo de 325 mesh, e assinala uma vantagem para fabricação das pelotas auto-reduzidas ser possível utilizar minérios de mais grossa granulometria. Atentando, entretanto, à descrição do processo de fabricação das pelotas auto-reduzidas, não vemos porque isto ocorre e não foi explicado pelo autor. Gostaríamos de obter do autor esta explicação. O Dr. Paulo Bohomoletz, que com tanto afinco está se dedicando ao assunto, eventualmente também se encontrará em condições de nos esclarecer.

C. Dias Brosch (3) — Peço vênha para informar, quanto a pelotas auto-redutoras com carvão de madeira, que, ao sabermos, esta é a primeira vez que o assunto é abordado, não somente no Brasil, mas em todo o mundo.

P. M. Bohomoletz (4) — Em primeiro lugar, desejo congratular-me com o Eng. Dr. Carlos Dias Brosch, e em particular com o I.P.T., por esse novo setor de trabalho, que acho da mais alta importância não só para o parque siderúrgico nacional, mas também como uma nova fonte potencial de divisas para o País. O Prof. Corrêa da Silva, Chefe da Divisão de Metalurgia do I.P.T., encontra as portas abertas para esse novo capítulo de cooperação entre a C.V.R.D. e o I.P.T.

Quanto ao que disse o Prof. Pinto de Souza, concordo com tudo. Porém, quero completar a sua argumentação no que diz respeito à economia do processo. É preciso considerar uma condição muito especial do Brasil no que tange às assim chamadas jacutingas. Nas jazidas da C.V.R.D., a sua mineração e a sua remoção são praticamente impraticáveis para o desenvolvimento normal da exploração dos outros tipos de minério. Quer dizer, deve ser extraído. Essa extração é de custo baixíssimo. Basta encostar uma escavadeira e colocar o material no caminhão, ao passo que em outros países, como por exemplo Canadá e Estados Unidos, o teor de minério é baixo, de 27% a 30% de ferro, numa rocha duríssima, que requer moagem.

Na Escandinávia, o teor é melhor do que o americano, de 50% a 52%. Mas hoje ele está sendo extraído numa profundidade de 400 a 500 m, que tende a crescer. Temos a vantagem de possuir um minério numa rocha friável, sem nenhum problema de extração e com custo de operação baixíssimo.

Em segundo lugar, há a obrigatoriedade dessa mineração. O minério propriamente dito, teria em qualquer caso, que absorver essa

(3) Membro da ABM e Doutor em Metalurgia; da Divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo, SP.

(4) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista; Consultor da Cia. Vale do Rio Doce; Rio de Janeiro, GB.

despesa de remoção. Essas as vantagens principais, não deixando de reconhecer que a sua finura natural já dispensará a moagem, pelo menos em certas situações.

Esses fatores — não me refiro a cálculos rigorosos, mas a estimativas aceitáveis — nos permitem combater as desvantagens do transporte marítimo considerado em termos normais. Mas, ainda para melhorar essa posição, a C.V.R.D. criou uma subsidiária — a DOCENAVE — para poder operar o comércio ou a indústria do transporte marítimo. Vale dizer, fretando navios e, mais tarde, adquirindo-os, de modo que se opere em ciclos completos de capacidade de transporte, levando minério e trazendo carvão, coque e outros produtos. Isso nos dará uma economia apreciável.

Portanto, todas essas providências combinadas nos darão, seguramente, u'a margem de lucro nos *pellets* da ordem, talvez, de 2 a 3 dólares por tonelada. Espero ter assim respondido à pergunta formulada.

Tentando explicar a dúvida referente ao trabalho do colega Dias Brosch — não sei como êle vai responder —, gostaria de comentar o seguinte: uma coisa é experimentação em laboratório, em escala pequena, onde os materiais e os semiprodutos são manuseados, no verdadeiro sentido. Outra coisa é operar-se com quantidades industriais, onde êsse material não é mais manuseado, mas conduzido industrialmente. Evidentemente, as condições de operação e de trabalho num caso e noutro são diferentes. Assim é que explicaria a dúvida levantada.

F. Pinto de Souza — Parece-me que o Eng. Carlos Brosch chegou à conclusão de que para fabricar pelotas oxidadas necessitava de granulometria mais fina que para fabricar pelotas auto-reduzidas.

C. D. Brosch — A dúvida do Prof. Pinto de Souza é muito fácil de ser esclarecida. A exigência de uma extrema finura do minério, da ordem de 80% a 85% abaixo de 325 mesh, com 10% a 15% dos grãos abaixo de um micron, constitui a especificação desejada para as pelotas oxidadas, para uso em alto forno. Os minérios geralmente contêm um pequeno teor de aglomerante, da ordem de 0,5% de bentonita. Pode-se trabalhar sem aglomerante no caso de finos de minérios que apresentam certa plasticidade quando simplesmente umedecidos.

Mas, como o Eng. Bohomoletz costuma salientar, usa-se um mínimo de aditivos para não perder a vantagem do alto teor de ferro nas pelotas. Para tal é preciso entrar com o recurso de um alto grau de moagem para o minério, a fim de obter a resistência desejada para a pelota. Mas, desde que se aumente o teor de aglomerante, a exigência da finura granulométrica cai. É o caso da pelota reduzida, em que temos 20% de carvão com propriedades aglomerantes, de mistura com o minério.

De fato, o carvão de Apiaí se presta muito bem para isso; é destilado a temperatura um pouco mais baixa que 900°C e contém resíduo de alcatrão que atua como aglomerante. Temos neste caso 20% de aglomerante presente, enquanto que no caso referido pelo Prof. Pinto de Souza temos apenas 0,5%. Creio que isto esclarece sua dúvida.

Já expliquei que na fase de pré-aquecimento dessas pelotas, essa deficiência de resistência pode ser prejudicial. Mas isso pode ser corrigido com *aglomerantes especiais*.

L. C. Corrêa da Silva ⁽⁵⁾ — Em primeiro lugar, quero fazer uma observação a respeito do trabalho do Eng. Bohomoletz, a quem cabe o mérito de ter levantado este assunto de experimentação com pelotas no Brasil. Desejando resolver este problema naquilo que interessa à C.V.R.D., ele nos procurou em São Paulo, no I.P.T., e nos animou nesse setor. Isso coincidiu com a criação de uma nova Secção nesse Instituto, onde já estávamos com o plano de intensificar os estudos siderúrgicos.

Foi criada uma Secção de Matérias Primas Siderúrgicas, e outra de estudos sobre a Redução de Minérios de Ferro. A primeira está sendo chefiada pelo Dr. Carlos Dias Brosch, estando encarregada das pesquisas para a C.V.R.D. Não ficou claro no trabalho do Eng. Bohomoletz, que a ele cabe o mérito de ter promovido essas pesquisas e iniciado um plano que irá muito longe, tanto em São Paulo como em usinas de Minas Gerais e em Volta Redonda, procurando desenvolver resultados práticos de interesse para o País, com a aplicação da técnica da pelotização.

Estamos, na realidade, presenciando duas revoluções, quase que simultâneas ou muito próximas. Depois da revolução da sinterização, como já foi apontado pelos dois autores, veio a da pelotização, que é uma nova forma de aglomeração. E, agora, ao que parece, vamos ter uma nova revolução, talvez de repercussão ainda maior, que é a da possibilidade de produzir pelotas auto-redutoras. É assunto a cujo respeito talvez só no último ano, em 1962, se tenha falado do lado de cá da «cortina de ferro», eis que neste campo os russos têm prioridade, datando seus estudos de 1957, pelo menos.

Neste último caso, das pelotas auto-redutoras, essencialmente, já não temos simplesmente um processo de aglomeração; trata-se de um processo de aglomeração e de produção de ferro-esponja. As pelotas aqui referidas pelo Dr. Dias Brosch, colocadas 15 minutos ao ar, em 1.300°C, transformam-se em ferro-esponja. O problema agora é descobrir qual o melhor aparelho para utilizar essas pelotas. Talvez o próprio alto-forno possa executar uma boa parte desse ciclo de aquecimento, conforme experimentações já feitas; ou então outros aparelhos convenientes, que permitam às pelotas ciclos adequados de aquecimento e de redução.

Na última reunião do Conselho do Instituto Brasileiro de Siderurgia, à qual assisti como convidado, tive oportunidade de fazer uma afirmação afoita: a de que dentro de 10 anos será possível operar altos fornos sem a utilização do coque metalúrgico, com as características hoje exigidas. Usando pelotas autoreductoras no A.F. uma parte apreciável do carbono (cerca de 250 kg por tonelada de gusa) já estará sendo introduzido nas próprias pelotas. Outra parte do carbono poderá, conceivelmente, ser substituída por óleo injetado na região das ventaneiras, em conjunção com injeções de ar enriquecido com oxigênio. Assim sendo, a exigência máxima de carbono a ser carregado na carga será muito pequena e da ordem de apenas 100 kg/t de gusa, digamos.

Ora, dêsse momento em diante a contribuição do carvão para a sustentação da carga será subsidiária; o volume de carvão será relativamente pequeno em relação ao dos outros componentes da carga, aos quais caberá a função principal de resistir aos esforços decorrentes do peso dos materiais que enchem o A.F.

(5) Membro da ABM e de seu Conselho; Engenheiro e Doutor em Metalurgia; Chefe da Divisão de Metalurgia do IPT; São Paulo, SP.

Assim sendo, é concebível que os 100 a 150 kg/t de gusa de carvão não precisem apresentar aquelas características físicas e metalúrgicas hoje exigidas do «coque metalúrgico». É nesse sentido que se deve entender a nossa afirmativa. Também não pretendemos, nem de longe, que dentro de 10 anos não se use coque; dissemos, apenas, que o coque não será imprescindível. Em países como o Brasil, onde interessa economizar carvão, deverá ser possível, talvez em 1975, a operação de altos fornos sem uso do coque metalúrgico tal como hoje entendido. O carvão necessário talvez possa ser introduzido como briquetes ou, até, na forma de pelotas de carvão.

Já que o assunto é tão interessante, gostaria de mencionar resultados de algumas experiências em escala industrial, visando a comparação entre sinter, pelotas comuns e pelotas auto-redutoras.

Há um trabalho publicado no «Jornal of Metals», de abril de 1962, referente a experiências que datam de 1961, feitas na usina de Baton Rouge, da Ford. Temos aqui resultados comparativos do mesmo alto-forno em dois períodos: um período-base (em que foi usado sinter auto-fundente) e um período em que usaram 60% de pelotas, sendo o restante da carga constituído pelo mesmo sinter auto-fundente. Nesses períodos relativamente curtos, tiveram uma produção, em toneladas/dia, de 1.933 e 2.345, respectivamente. É possível que com melhorias da prática essa distância até aumente.

P. M. Bohomoletz — O Prof. Corrêa da Silva poderia dizer qual a dimensão do forno e o diâmetro do cadinho?

L. C. Corrêa da Silva — O diâmetro do cadinho era de 29 pés. O *coke rate* foi de 712 kg/t gusa, no período-base, e de 684 kg/t gusa no período em que se usaram pelotas. Quer dizer, o decréscimo do *coke rate* não foi marcante. Mas nota-se que houve um aumento apreciável de produção. Sabe-se que o aumento de produção está ligado a aumento do consumo de coque, outras condições mantidas constantes. A diferença não é tão flagrante no *coke rate*, porque a produção aumentou muito.

Quanto ao uso de pelotas auto-redutoras, há um outro exemplo, que o Eng. Dias Brosch não citou: o resultado de um alto-forno pequeno, experimental (U.S.B.M.). Trata-se da comparação de pelotas comuns com pelotas auto-redutoras. Está publicado no «Journal of Metals», de abril deste ano. No período-base, com pelotas comuns, a produção diária foi de 18 t, em forno experimental; com pelotas auto-redutoras (já pré-reduzidas fora do forno) foi de 27,4 t, tendo havido, pois, um aumento de mais de 51%. O *coke rate*, que era de 552, passou a 312 kg/t gusa.

F. Pinto de Souza — Justificando o meu ponto de vista, não contesto a possibilidade das pelotas virem a apresentar mais vantagens sobre o sinter. O fato de constituir uma carga com quase homogênea dimensão granulométrica, em comparação com a carga constituída de sinter, é sugestivo. Mas quero salientar ter muitas desconfianças quanto a exemplos isolados. Explico-me melhor: no exemplo citado pelo Prof. Luiz Corrêa da Silva fala-se em *pelota* e fala-se em *sinter*, mas não são adiantadas as características estruturais e químicas destes produtos, o que torna difícil uma comparação. Pelo menos até pouco tempo atrás grande número de usinas siderúrgicas americanas fabricavam péssimo sinter, sob o ponto de vista de redutibilidade, concentrando sua atenção na resistência à degradação. Os suecos, pelo contrário, não desprezando a resistência física do sinter, atentavam principalmente à boa redutibilidade do produto. Em essência, admito que a questão ainda

não amadureceu suficientemente, mas admito também que o dispêndio para se fabricar pelotas será sempre mais elevado que fabricar sinter e então torna-se necessário compensar este maior dispêndio com maior economia de seu emprego posterior nos altos fornos. Por outro lado, quem dispõe de concentrado já contendo 80% abaixo de 325 mesh não tem outra opção na escolha do processo, o que ocorre no caso americano.

De maneira que acho que o problema está em equação.

P. M. Bohomoletz — Em primeiro lugar pondero que a produção mundial de pelotas, em 1962, se não me engano, foi de 35 milhões de t/ano. O segundo reparo é o seguinte: disse V. Sa. que com minérios finos abaixo de 325 mesh não se faz sinter. Pois digo que se faz sinter, e excelente. Vi isso. A usina de Moirana, na Suécia, faz sinter utilizando 80% de concentrado que tem cêrca de 60% a 70% abaixo de 400 mesh; o sinter é de primeira ordem. Quanto à produtividade é que são elas. A instalação vai ser de 16 t por m², em 24 horas, contra uma média de 30 a 32 t. Mas é preciso levar em consideração vários fatores como a situação geo-econômica e outros fatores. Mas tecnicamente, faz-se sinter, e do bom.

F. Pinto de Souza — Eu sabia disso. Minha observação foi feita no terreno econômico.

C. D. Brosch — Com relação a sinter feito com minério fino, lembrei-me de estudos feitos no I.P.T., ainda no tempo em que o Prof. Souza Santos dirigia a Divisão de Metalurgia; referiam-se ao rendimento na sinterização. Na medida que se usa material mais fino, é preciso aumentar o teor de recirculado; quer dizer, cai a produção efetiva de sinter. Por isso foi então aconselhada uma granulometria adequada, isto é, não muito fina para o minério a ser sinterizado.

Quanto à pelotização, creio não ter deixado suficientemente claro o balanço térmico operacional. Farei um resumo, para explicar. O esclarecimento dado pelo Prof. Corrêa da Silva é certo. Quanto ao teor de coque em alto forno, será de fato possível descer o "coke-rate" até 150 kg/t de metal, o que ocorre no cubilô, que é um forno mais baixo. Quer dizer, a carga metálica de um cubilô seria substituída pelas pelotas metálicas. Quanto ao balanço térmico das pelotas auto-redutoras, resulta a necessidade de introduzir cêrca de 47.000 k calorías/t de pelota reduzida. Quer dizer, com um rendimento de 50%, usar-se-ia apenas cêrca de 10 kg de óleo combustível por tonelada de pelota produzida. Isso, se se fizesse tôdas as etapas de preparação das pelotas num mesmo forno, incluindo, portanto, a secagem da pelota, o preaquecimento e a redução. Mas, acho que isso seria pouco viável. As condições da cinética de aquecimento aconselháveis para cada fase operatória não se coadunam com a que resulta da velocidade de descida da carga por todo o forno. Acho que a secagem e o preaquecimento devam ser feitos em separado para, em seguida, serem introduzidas as pelotas no forno de redução. Nesse caso, pelo estudo do balanço térmico, bastaria escorvar a reação de redução; a introdução de ar preaquecido daria início à reação de oxidação do carbono contido nas pelotas.

F. Pinto de Souza — Mas qual será a resistência dêsse *pellet* na fase de aquecimento?

C. Dias Brosch — Basta que a resistência seja da ordem de 3 kg por pelota seca, feita para uso em fornos horizontais. Por isso há conveniência de se adotarem fornos verticais baixos para a redução das pelotas, ou fornos horizontais.

Quanto ao balanço térmico, quero esclarecer os dados das reações endotérmicas e exotérmicas, referidos a 1 t de pelotas. Vejamos em primeiro lugar as reações endotérmicas: secagem — 59.170 k calorias; preaquecimento — 427.200 k calorias; dissociação térmica — 70.000 k calorias.

Ficou comprovado em várias análises que a hematita brasileira contém alcalis em teores da ordem de 0,3% e pelo menos 0,1% de K_2O . É provável que esse pequeno teor do elemento K influa, favorecendo a dissociação térmica da hematita. A partir de 1.200°C as pelotas já se tornam magnéticas, mesmo não contendo carvão. Portanto, não se trata de reação de redução. No total, temos 556.370 k calorias absorvidas por tonelada de mistura úmida. Nas reações exotérmicas temos: combustão — 405.000 k calorias; reação de redução — 119.000 k calorias, num total de 524.000 k calorias desprendidas.

O balanço térmico será então da ordem de 32.370 k calorias por tonelada de mistura, ou seja, 47.600 k calorias por tonelada de metal contido na pelota reduzida. Se as reações exotérmicas tiverem lugar em separado, após secagem e preaquecimento, a reação de redução poderá, teoricamente, não consumir nenhum combustível externo; haverá apenas a queima do carvão contido nas pelotas.

J. Portes Bartolomeu (6) — Gostaria que esclarecessem a seguinte dúvida: num forno de 1.000 t/dia, onde o peso da carga é muito grande, haveria possibilidade de utilização das pelotas reduzidas? Pondero que o Prof. Corrêa da Silva acenou à possibilidade futura de se eliminar todo o coque. Teríamos então o alto forno dependendo totalmente da injeção de óleo?

L. C. Corrêa da Silva — Eu disse que, eventualmente, poderíamos eliminar todo o coque, mas não todo o carvão. Mencionei mesmo que de 100 a 150 kg de carvão deveriam ser adicionados. Mas seria um carvão com características menos rígidas do que as do atual coque metalúrgico.

(6) Membro da ABM; Engenheiro da Companhia Siderúrgica Nacional; Volta Redonda; RJ.