

# OBSERVAÇÕES SÔBRE A UTILIZAÇÃO DE CARVÃO VEGETAL NO BAIXO FORNO ELÉTRICO DE ACESITA — PRECAUÇÕES PARA A MARCHA COM O GIRO DO CADINHO <sup>(1)</sup>

MAX FERNANDES ALVIM MACHADO <sup>(2)</sup>

## RESUMO

*O Autor trata da utilização do carvão vegetal no baixo forno elétrico de redução da Cia. Aços Especiais Itabira, em Acesita. Relata as vantagens e desvantagens do uso desse redutor; sugere modos de evitar as desvantagens. Menciona os benefícios advindos do trabalho com forno de cadinho rotativo; ressalta os cuidados necessários para a boa marcha do forno, quando o cadinho estiver sujeito a movimento giratório.*

## 1. INTRODUÇÃO

O B.F.E.R. de Acesita é de construção DEMAG; apresenta as seguintes características principais: diâmetro interno inferior do cadinho — 7,50 m; diâmetro interno superior do cadinho — 9,25 m; altura do cadinho — 4,00 m; diâmetro dos eletrodos — 2,25 m; diâmetro interpolar — 4,20 m. É operado com três transformadores monofásicos de 5.750 kVA, sendo a potência aparente do forno de 17.500 kVA.

A velocidade de movimento de giro do cadinho é regulável, importando em um máximo de 158 h e em um mínimo de 15 h para uma volta completa. O movimento, feito em dois sentidos, destrógiro e sinistrógiro, é limitado em 43°; a oscilação completa importa em 86°. O forno possui duas bôcas de corrida a 30° uma da outra, permitindo assim seja feita uma corrida em posição sempre mais conveniente em relação ao canal central de corrida.

---

(1) Contribuição Técnica nº 509. Apresentada na Comissão "H" do XVIII Congresso da ABM; Belo Horizonte, julho de 1963.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista pela Escola de Engenharia da UMG; da Cia. Aços Especiais Itabira; Acesita, MG.

O forno tem a abóbada completamente vedada, com integral aproveitamento do gás produzido, que é da ordem de 650 Nm<sup>3</sup>/t. O gás sai por uma tubulação lateral do forno, sendo então conduzido a uma outra tubulação na qual é esfriado por aspersão de água, ficando também parcialmente livre das partículas maiores de poeira. Depois disto passa por um lavador Theisen onde é limpo até 0,05 g/Nm<sup>3</sup>. Depois passa por um desumidificador mecânico, indo então para o gasômetro.

Análise do gás produzido é: CO<sub>2</sub> = 16,8%; O<sub>2</sub> = 0,2%; CO = 70,2%; CH<sub>4</sub> = 1,2%; H<sub>2</sub> = 8,9% e N<sub>2</sub> = 2,7%.

Como minérios usamos a hematita compacta, canga e minério de manganês. Como fundentes, quartzito, calcário e dolomita. Como redutores utilizamos carvão vegetal, perfazendo 60% da carga dos mesmos, nas granulometrias de 10 a 25 mm (30%) e de 5 a 150 mm (30%). Os 40% restantes são em coque nacional procedentes das usinas de Volta Redonda e Usiminas, nas granulometrias de 22 a 60 mm (15%) e de 5 a 22 mm (25%).

O forno consome, em média, 2.500 kWh/t de gusa produzido.

## 2. CARVÃO VEGETAL COMO REDUTOR

Pode o carvão vegetal ser considerado como um dos melhores redutores para o uso em baixos fornos elétricos de redução, pelas vantagens que trazem suas propriedades elétricas e químicas. Como propriedade elétrica vantajosa temos sua maior resistividade elétrica em relação à do coque, fazendo com que possamos obter uma carga mais resistiva e, portanto, um coseno fi melhor e também uma marcha mais quente do forno. Em Acesita temos obtido um gusa de 1,5% de Si e um coseno fi da ordem de 0,82. Às vezes o coseno fi piora; supomos que isso é devido às variações granulométricas dos componentes da carga e, mesmo, às variações da umidade dos redutores empregados, principalmente a do carvão vegetal.

Como propriedade química benéfica, temos seu alto teor de pureza dando-nos um gusa com uma percentagem de S bem menor do que quando utilizávamos 100% de coque como redutor. Para exemplo, citamos abaixo duas cargas com as análises dos gusas e basicidade das escórias resultantes.

CARGA TENDO APENAS COQUE COMO REDUTOR (kg)

|                          |      |                    |     |
|--------------------------|------|--------------------|-----|
| Hematita .....           | 1330 | Dolomita .....     | 160 |
| Minerério manganês ..... | 30   | Quartzito .....    | 210 |
| Canga .....              | 30   | Coque fino .....   | 240 |
| Calcário .....           | 240  | Coque grosso ..... | 140 |

Gusa: C = 4,00% ; Si = 1,20% ; Mn = 0,67% ; P = 0,073%  
e S = 0,046%.

*Basicidade da escória:*

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 0,99; \quad \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 1,13$$

CARGA COM 62% DOS REDUTORES EM CARVÃO VEGETAL (kg)

|                        |      |                             |     |
|------------------------|------|-----------------------------|-----|
| Hematita .....         | 1120 | Quartzito .....             | 210 |
| Canga .....            | 230  | Coque fino .....            | 130 |
| Minério manganês ..... | 30   | Coque grosso .....          | 70  |
| Calcário .....         | 240  | Carvão vegetal fino .....   | 150 |
| Dolomita .....         | 160  | Carvão vegetal grosso ..... | 170 |

Gusa: C = 4,20% ; Si = 1,56% ; Mn = 0,74% ; P = 0,083%  
e S = 0,019%.

*Basicidade da escória:*

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 0,96; \quad \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = 1,10$$

Nos meses de maio e junho, quando trabalhámos com 50% de carvão vegetal, obtivemos um gusa com até 0,016% de S, apesar de termos uma escória aproximadamente neutra. Também a alta reatividade (\*) do carvão vegetal pode ser considerada como vantajosa, porquanto tem menos tendência que o coque em formar as camadas de carvão dentro do cadinho, fazendo com que os eletrodos trabalhem alto e conseqüentemente a zona de fusão no forno deixe de ter uma temperatura ideal.

Econômicamente, há vantagem no emprêgo do carvão vegetal, particularmente em nosso caso, porquanto uma tonelada de coque é aproximadamente três vêzes mais cara que uma tonelada de carvão vegetal. Também a obtenção de di-

(\*) Alta velocidade de reação com o oxigênio, com o anidrido carbônico e com o vapor d'água.

visas para aquisição de coque no exterior apresenta dificuldades, ficando evidente, portanto, a economia feita com o uso do carvão vegetal, mesmo em percentagens médias.

\*

Algumas desvantagens apresenta o uso do carvão vegetal. Decorrem estas, de um modo geral, da sua alta capacidade higroscópica, da sua fragilidade e da dificuldade em se obter o mesmo dentro de uma faixa granulométrica determinada. Os baixos fornos elétricos de redução são extremamente sensíveis a pequenas variações do carbono fixo da carga. Devido à alta capacidade higroscópica do carvão vegetal, suas variações de umidade são em geral bruscas e relativamente grandes, o que nos tem trazido algumas dificuldades que estão relacionadas com o controle do carbono fixo da carga.

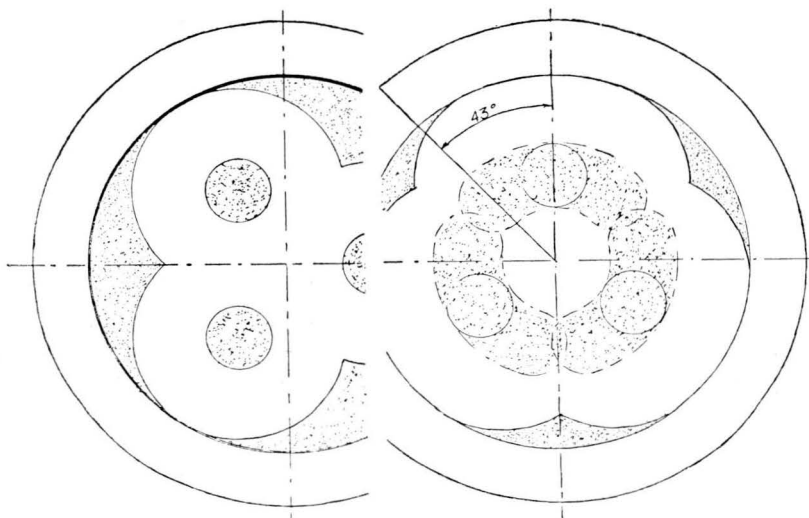
Pela sua grande fragilidade, deve o carvão vegetal ser manuseado o mínimo possível, para se tornar pequena a percentagem de pó e finos abaixo de 5 mm no mesmo. Por experiência própria sabemos das desvantagens de se ter na carga do forno materiais no estado pulverulento; uma percentagem em pó acima de 10% pode provocar erupções, que danificam eletrodos, abóbada e outras partes do forno.

Os efeitos negativos da umidade e da fragilidade do carvão vegetal podem ser diminuídos desde que contemos com dispositivos de manuseio e de obtenção do mesmo adequados a tal fim. Estes são fornos de fabricação do carvão junto ao local de consumo, bons silos para estocagem, sistemas de transportadores e peneiras, completamente protegidos contra as intempéries.

Outra desvantagem no uso do carvão vegetal é a dificuldade de se obter para o mesmo uma granulometria determinada. Tal dificuldade decorre da própria estrutura da madeira de que é feito. Por lhe faltar tal propriedade, o carvão vegetal tem tendência a segregar em certos pontos da carga, ocasionando uma resistência elétrica variável dentro do cadinho e formação de crostas que aparecem geralmente devido à falta de carbono em certos pontos da carga. Quando utilizamos carvão vegetal em granulometria acima de 80 mm e em grande proporção, as dificuldades acima não tardam a aparecer.

Devido ao baixo teor de cinzas do carvão vegetal e do baixo teor de alumina nas mesmas, o uso do carvão vegetal apresenta também o inconveniente da diminuição do teor de alumina na escória. Isto, porém, não tem importância, se trabalharmos com um minério rico em alumina.

Outra restrição ao uso do carvão vegetal em porcentagens elevadas no B.F.E.R. é a do caso de se ter uma longa parada (desligamento do forno), não programada, em que tenhamos de manter o forno aberto, com a carga do cadinho exposta ao ar. Neste caso, se a parada fôr de semanas corre-se o risco da queima do carvão vegetal da carga, dificultando e mesmo impedindo que se possa pôr o forno novamente em marcha regular.



Figs. 1 e 2 — Com o movimento do cadinho, a *zona de fusão* deixa a forma de trevo e quase assume a de um círculo. Ficam eliminadas também as *zonas mortas* que, com o tempo, em fornos de cadinho fixo, diminuem a zona de fusão do forno, trazendo irregularidades na marcha e decréscimo na produção.

### 3. GIRO DO CADINHO

Ao se pôr o cadinho do forno para girar, recomendam-se alguns cuidados para o bom êxito da operação.

1) Antes de ligar o sistema de giro do cadinho pela primeira vez, ou depois de alguma parada do forno, deve-se abrir a abóbada e inspecionar eletrodos e carga. Não deve haver formação de crostas nem trincas nos eletrodos.

2) Só se deve ligar o sistema de giro com uma potência superior a 80% da potência máxima e depois de um período mínimo de uma hora de funcionamento do forno nesta potência. Com uma potência inferior corre-se o risco de que-

brar eletrodos, pois os mesmos se deslocam na carga como se fôsem maçaricos de corte.

3) A granulometria das matérias-primas usadas no forno, principalmente as mais densas (hematita, canga, quartzo, calcário, dolomita, minério manganês), deve ser da ordem de 70 mm, no máximo. Componentes da carga em granulometria grossa também ocasionam quebra dos eletrodos.

4) Nos primeiros dias, o cadinho deverá girar com a velocidade mínima. Quanto às oscilações, devem ser gradativamente aumentadas, até se atingir o máximo permissível.

5) Desligar o sistema de giro do cadinho antes das corridas. Aproveitar e arriar os eletrodos neste intervalo.

6) Ligar o giro do cadinho somente meia hora após o fechamento da boca de corrida. O vedamento da boca estará mais firme.

7) Arriar os eletrodos, quando o cadinho estiver parado, evitando-se inclinações e quebra dos mesmos.

8) Uma caçamba de gusa e outra de escória deverão permanecer durante todo o tempo em seus lugares, porquanto, com o giro do cadinho, há tendência de o forno abrir-se sozinho.

O movimento do cadinho possibilita uma operação mais regular, pequeno aumento da produção e uniformidade do desgaste da parede lateral e sola do forno. Com o movimento do cadinho, a *zona de fusão* deixa a forma de trevo e quase assume a de um círculo (figs. 1 e 2). Ficam eliminadas também as zonas mortas que, com o tempo, em fornos de cadinho fixo, diminuem a *zona de fusão* do forno, trazendo irregularidade na marcha e decréscimo na produção.

#### 4. CONCLUSÕES

É difícil dizer se realmente compensa o uso do carvão vegetal, porquanto cada usina tem seus problemas específicos que não podem ser englobados em uma solução de caráter geral. Quanto ao cadinho rotativo parece-nos ser uma solução vantajosa; resolve em parte alguns problemas dos baixos fornos de redução.

#### BIBLIOGRAFIA

COLLIN, F. C. — *Features from the development of electric pig iron smelting.*

## DISCUSSÃO

**H. Kleinheisterkamp** (1) — Muito obrigado pela apresentação dessa contribuição a problemas que preocupam os que conduzem fornos elétricos de redução. Abrindo os debates, pondero que indicou na carga apenas 30 kg de canga e 1.300 kg de hematita para formar uma tonelada de gusa.

**M. A. Machado** (2) — Realmente. Seria conveniente que utilizássemos mais canga, porque trabalhamos com minério mais pobre. Mas acontece que a nossa canga tem muito pó, cerca de 30 a 40%. Nas primeiras vezes em que pusemos o forno em marcha, utilizamos cargas com maior percentagem de canga e tivemos alguns problemas. Principalmente porque não estávamos ainda com o sistema de giro do forno ligado, o que permite maior permeabilidade da carga, evitando que esse pó se acumule em certos pontos e provoque certas reduções. Então modificamos a carga.

**H. Kleinheisterkamp** — E o fósforo no gusa é igual a 0,07? A meu ver é muito alto. Na outra análise, usando carvão vegetal na carga, o senhor indica 0,08%. E isso com tão pouca canga? Existe o problema do carvão vegetal. Uma desvantagem que naturalmente no começo da operação os senhores não vão notar, mas depois de anos certamente vai surgir, é a do teor dos álcalis do carvão vegetal, o qual, nesta zona, tem pelo menos 6% de  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . O Dr. Waldyr S. Enrich forneceu-me uma análise média de junho deste ano para o carvão vegetal com 72,6% C, contendo: cinza, 2,4%;  $\text{K}_2\text{O}$ , 5,1% e finalmente  $\text{Na}_2\text{O}$ , 3,3%. Esse é um fator muito importante e também desvantajoso, não tanto agora, porque os blocos carbônicos estão colocados e firmes, mas no futuro. Portanto, permito-me sugerir que os senhores dêem atenção a esse aspecto. O consumo de kWh por tonelada de gusa foi indicado como sendo 2.500. Felicitamos o autor e a Acesita, pois esse índice para o começo da marcha é muito bom. Na medida em que o cadinho se ampliar pelo desgaste do revestimento e na medida em que se tornar mais profundo, acreditamos que as características serão melhores ainda. Nós, na Mannesmann, andamos já com cerca de 2.200 kWh/t.

**H. Walde** (3) — Esse dado da Acesita é formidável. Os senhores trabalham sem sinter? Pois, venho de Caracas, onde eles têm cifras de 2.500 a 2.600 kWh, com sinter. Ora, normalmente com sinter se economiza 10%. Assim, a diferença é muito boa. De modo que tenho que felicitá-los, porque o índice é muito bom. Em Caracas estão com um forno de 33.000 kWh, o que é praticamente o dôbro do da Acesita. Portanto a diferença é de quase 40%.

**H. Kleinheisterkamp** — Essas cifras dependem muito da composição e da preparação física da carga, como já foi mencionado pelo Eng. Walde. Dependem também do carvão redutor. É de suma importân-

(1) Membro da ABM e Presidente da Comissão; Diretor Industrial da Cia. Siderúrgica Mannesmann — Belo Horizonte — MG.

(2) Membro da ABM e autor do trabalho; Engenheiro da Cia. Aços Especiais Itabira-Acesita — MG.

(3) Doutor Engenheiro; da DEMAG, de Duisburg — Alemanha Ocidental.

cia, e nós fazemos o possível para localizar essas influências para cada fator. Com o processo da redução em forno elétrico, são mais de 12 os fatores que colaboram para o resultado; é muito difícil separá-los.

**P. Carvalho** (4) — Gostaria de saber aproximadamente qual a percentagem de finos de carvão, devido ao peneiramento dos altos fornos para o forno elétrico.

**M. A. Machado** — Todo o fino, rejeitado do alto forno, é passado numa peneira de 5 mm malha quadrada. Aproveitamos tudo acima de 5 mm. Mesmo assim, temos tido alguns problemas. Periódicamente, tenho aberto o forno; apesar do sistema de giro, tenho notado a formação de poeira, não tanto como antes de girar o forno, mas nas zonas chamadas «mortas». Esse pó pode ser proveniente do carvão vegetal. Mandei fazer duas análises do pó, mas não chegamos a resultados concretos.

**H. Kleinheisterkamp** — Deve ser pó fino do carvão vegetal úmido despreendido durante o aquecimento; a decrepitação produz finos. Ademais, há o fino do minério. — Qual a potência que os senhores aplicam quando obtêm esse consumo médio de 2.500 kWh?

**M. A. Machado** — A potência é da ordem de 12 mega-watts.

**P. Carvalho** — Qual a percentagem da separação pelo peneiramento?

**M. A. Machado** — Até 40% dos finos são aproveitados por nós, quer dizer, que estão acima de 5 mm. São finos não aproveitados no alto forno, cuja peneira é de 1". Esse rejeito do alto forno é novamente peneirado, em peneira de 5 mm, malha quadrada, e o que não passa pela malha é aproveitado.

**H. Kleinheisterkamp** — Vejamos então: o senhor tem 100 de carvão vegetal. O que está acima de 1" vai para o alto forno, e o que não passa na peneira de 5 mm vai para o forno elétrico. Isso que vai para o forno elétrico representa entre 30 e 40% do total? A pergunta é: qual a percentagem do fino empregada no forno elétrico?

**M. A. Machado** — Não poderia responder com precisão. Mas o que queria frisar é que o carvão que vai ser peneirado em 5 mm é que podemos tomar como índice 100. Isso tudo já passou pela peneira de 25 mm. Dêsse carvão peneirado em peneira de 5 mm malha quadrada, temos de 30 a 40% aproveitado no forno de redução; o restante, entre 60 e 70%, não é aproveitado, porque são finos abaixo de 5 mm.

**H. Kleinheisterkamp** — Seria interessante saber qual a percentagem que esse fino aproveitado no forno elétrico representa do carvão vegetal total carregado. Talvez uns 50%. Nossa experiência na Mannesmann é mais ou menos a seguinte: entramos com 100 de carvão numa peneira de 8 a 10 mm. E os finos que caem eliminam 12 a 14% do carvão total.

**P. Carvalho** — Na Belgo-Mineira registramos os nossos peneiramentos por semana; temos uma média de 20 a 25% sobre o carvão enforado. Talvez seja diferente dessa percentagem apresentada pela Acesita. Temos um manuseio muito grande, que repercute nos finos.

(4) Membro da ABM e Engenheiro da CSBM — Monlevade — MG.



**W. S. Emrich** <sup>(5)</sup> — É razoável supor que sim. No nosso caso a proporção de carvão vegetal na carga é muito pequena e temos também uma estocagem muito reduzida. Queria saber do autor qual o poder calorífico dos gases. Os senhores fazem diariamente seu cálculo?

**M. A. Machado** — O poder calorífico dos gases, que não calculamos diariamente, fica ao redor de 2.300 a 2.500 calorias.

**W. S. Emrich** — E trabalham com 48.000 a 50.000 Ampères e 12 mega-Watts?

**M. A. Machado** — Com 40.000 Ampères.

**W. S. Emrich** — Não compreendi bem quando o senhor afirmou que está tendo crostas com o carvão vegetal.

**M. A. Machado** — As crostas que estou tendo, em parte devidas ao carvão vegetal, são causadas pela falta de carbono fixo ocasionada pela variabilidade de umidade do carvão vegetal. A Acesita traz carvão de várias localidades, algumas até bem distantes da sede da usina e não podemos ter uma certeza do teor de umidade de cada remessa.

**W. S. Emrich** — E o senhor tem então temperaturas elevadas?

**M. A. Machado** — Quando a temperatura ultrapassa 400°C já é sinal de que estão começando a aparecer crostas.

**H. Kleinheisterkamp** — Isso é quase inexplicável. Porque ter crostas em consequência da umidade do carvão, se o carvão vegetal tem pouca cinza?

**M. A. Machado** — Justamente devido à oscilação da umidade do carvão vegetal, pomos cargas no forno com um carbono fixo abaixo do que era necessário.

**P. Carvalho** — Pode acontecer que quando o senhor recebe uma remessa de carvão molhado, não vai conseguir peneirar bem em peneira de 5 mm.

**H. Kleinheisterkamp** — O teor de carbono fixo se expressa mais na química do processo. Não compreendo porque será possível formar crostas. Quando se tem umidade excessiva, sim, vai faltar carvão redutor. Mas, isso vai se saber na análise.

**M. A. Machado** — A formação das crostas que tenho observado ocorre ao redor do eletrodo. Paro o forno e ponho um pouco de carvão em cima da crosta; depois de 3 ou 4 horas, a crosta desapareceu. Quando começa a faltar carbono na carga do forno, as primeiras crostas formadas são macias. O forno girando, consegue cortá-las. Mas se elas persistirem, vão endurecendo, tornando-se difíceis de serem quebradas. Creio que já tivemos uma quebra de eletrodo por causa das crostas.

**H. Kleinheisterkamp** — Nos anos passados sofremos por falta desse dispositivo giratório. Não podíamos quebrar as crostas movimentando

---

(5) Membro da ABM e Engenheiro da Cia. Siderúrgica Mannesmann — Belo Horizonte — MG.

lentamente o cadinho. Estamos convencidos, na Mannesmann, de que a formação de crostas se deve mais às características dos redutores, do minério e da granulometria respectiva e, especialmente, ao excesso de finos dos minérios e fundentes, juntamente com temperaturas elevadas abaixo da abóbada. Não acredito que o carvão vegetal possa produzir crostas por si só.

**H. Walde** — Se os eletrodos estão mais baixos ou mais altos, isso poderia causar alguma influência?

**M. A. Machado** — Essa é uma observação que ainda não tive oportunidade de fazer. O que quero frisar quanto às crostas é que, quando começam a aparecer, ponho carvão vegetal e elas desaparecem. Aumentando o carvão fixo (10 kg/t de gusa) elas têm desaparecido. Pode ser que essa nossa providência tenha apenas contornado a solução definitiva do problema.

**W. S. Emrich** — A formação da crosta não é resultado do carvão vegetal; também não é devida apenas ao minério. É questão da distribuição do carbono na carga. Esse é o ponto básico, creio. Se se trabalha com carvão vegetal molhado, há concentração de pós em uma zona e má granulometria em outra; então falta na operação o carbono necessário para possibilitar uma boa condutibilidade. Mas a formação de crostas começa no pé do eletrodo; depois os gases aumentam a temperatura e vão sinterizar a superfície da carga. Estamos vencendo isso com a perfeita distribuição granulométrica do carbono na carga. A granulometria criteriosa da carga seria, a meu ver, o ponto básico.

**M. A. Machado** — Concordo em que a granulometria seria o ponto básico, justamente porque a resistibilidade da carga é função da granulometria — cito isso no meu trabalho — e como uma desvantagem do carvão vegetal. A não ser que estejamos dispostos a ter uma grande perda de carvão, moendo-o e calibrando-o.

**H. Kleinheisterkamp** — Para finalizar esta sessão gostaria de frisar que estamos convencidos de que, com a produção em baixos fornos elétricos, poderíamos um dia chegar, com as nossas instalações da Mannesmann, que são mais ou menos as mesmas da Acesita, a 2.000 kWh/t de gusa, sem sinter. Esse progresso será consequência de uma preparação muito boa e cada vez melhor no campo físico da carga. É interessante que há 30 anos aprendi essa tese com o Prof. Durrer, que citava o Dr. Wagner, o qual já em 1925 falava na necessidade de preparação física da carga. E agora constatamos, passados tantos anos, que esse é realmente um fator de suma importância, também nos baixos fornos elétricos. A par disso, há a questão da construção do forno. No próximo ano estaremos capacitados a resumir dados que surgem agora, quando os nossos dois fornos forem reformados, quando pretendemos modificar as dimensões atuais. Além disso, talvez possamos tentar até lá modificar o círculo primitivo dos eletrodos em proporção ao diâmetro do cadinho. Isso vai se refletir no revestimento dos fornos. É um complexo de problemas que demanda muitos anos para ser resolvido. Congratulo-me com os colegas da Acesita, que estão nessa luta e também fazendo investigações cuidadosas. Ela exige muita observação e método sistemático, além de grande colaboração entre nós, para ser levada de vencida.