

## FATORES PARA A ESCOLHA ENTRE FORNOS SIEMENS - MARTIN E FORNOS ELÉTRICOS PARA A PRODUÇÃO DE AÇO. — SUAS APLICAÇÕES NO BRASIL (\*)

Eng.º Hildebrando A. Werneck (\*\*)

Em uma produção racional de aço para moldação ou lingotagem, a escolha entre os processos de refino em fornos Siemens-Martin ou elétricos depende de fatores econômicos que serão adiante detalhadamente examinados.

Inicialmente serão estudados os característicos de cada processo; a seguir a comparação desses processos em presença dos fatores econômicos relativos à usina, sua localização, grandeza, equipamento geral, programa de fabricação, etc.; finalmente as suas aplicações sob o ponto de vista brasileiro.

*Princípio:* O forno Martin é essencialmente um forno de soleira, em geral aquecido por combustível gasoso. Duas câmaras de recuperação estão colocadas de cada lado do forno e servem ao preaquecimento dos elementos de combustão, ar e gaz. De tempos em tempos é necessário inverter o sentido da corrente gasosa afim de que as câmaras, que trabalharam até então no preaquecimento dos elementos de combustão cedendo-lhes parte do seu calor e esfriando em consequência, sejam aquecidas pelo escoamento dos gases em alta temperatura que deixam o forno na direção da chaminé. Os gases usados no aquecimento devem ser ricos em poder calorífico afim de reduzir o volume dos produtos da combustão que deixam o forno.

Em fornos pequenos, quando não se dispõe de gases provenientes de fornos a coque ou de gazogênios, emprega-se também o aquecimento a óleo. Quando, porém, ha disponibilidade de

---

(\*) Trabalho apresentado à Primeira Reunião Geral do A.B.M., São Paulo, 28 de abril de 1944.

(\*\*) Membro da ABM, diretor técnico da Industrial WERCO Ltda., Rio de Janeiro; Presidente da Secção Regional do Rio de Janeiro.

gases de altos fornos, de poder calorífico relativamente baixo, há o recurso de um sistema mixto gás-óleo, onde a deficiência do poder calorífico do gás é compensada por uma alimentação independente e regulável de óleo. Este recurso é útil principalmente nos momentos que antecedem ao vazamento do forno, quando se fazem necessárias temperaturas muito elevadas.

Os fornos elétricos são também fornos de soleira, porém sem os equipamentos auxiliares necessários ao Siemens-Martin, como câmaras de recuperação, válvulas de inversão, chaminé, etc. O calor de fusão da carga é aí gerado pela abertura de um arco elétrico no interior do forno, sendo a energia necessária trazida do exterior para dentro do forno por intermédio de eletrodos de carvão ou mais comumente de grafita. A carga derretida pelo efeito do arco elétrico é sujeita às várias operações de refino cujos princípios são iguais aos dos fornos Siemens-Martin.

*Tamanho mínimo:* As unidades Siemens-Martin de 100 toneladas ou mais, por carga, são reconhecidas como as de maior eficiência. No Brasil existe em curso de montagem uma bateria de fornos de 150 toneladas, aquecidos a gás de coqueria, e já em funcionamento uma série de fornos de 40 toneladas empregando combustível mixto (gás de alto forno e óleo), e um número maior de fornos, variando entre 10 e 20 toneladas, aquecidos a óleo em sua quase totalidade. Tamanhos menores já foram ensaiados porém sem resultados satisfatórios, devido ao elevado consumo de combustível por tonelada de aço produzido.

Para os fornos elétricos não há praticamente tamanhos mínimos. Deixando de lado os fornos monofásicos que dificilmente são aceitos pelas companhias fornecedoras de energia elétrica, e que variam de 15 a 150 kg de capacidade, temos a linha de fornos trifásicos que cobre desde o tamanho de 250 kg até 100 toneladas por carga, com uma potência que varia de 200 a 24.000 KW. As unidades de 30 toneladas ou mais por corrida são as mais econômicas e não há praticamente diferença entre o preço de custo obtido num forno de 30 ou de 100 toneladas a não ser na parte relativa à mão de obra que naturalmente deverá ser menor neste último caso.

*Duração de uma corrida:* Nos fornos Siemens-Martin pode-se contar, em média, para os tamanhos de 10 a 20 toneladas e aquecidos a óleo, cerca de 4 a 4,5 corridas por 24 horas, descedendo esta cifra para de 2 a 3 em se tratando de fornos de mais

de 100 toneladas aquecidos a gás, e admitindo-se em qualquer caso o carregamento mecânico. Em fornos elétricos a duração média de uma corrida é de cerca de 2 horas com o carregamento pelo topo como se pratica em todos os fornos modernos. Como média mensal o forno elétrico pode fazer de 8 a 10 corridas por dia até os tamanhos de 12 toneladas, caindo depois para 5 a 6 corridas para fornos de 40 toneladas e mais.

Conclue-se pois que, para a mesma produção diária, o forno elétrico pode ter um tamanho de 2 a 2,5 vezes menor, compensando esta diferença por um maior número de corridas por dia.

*Instalação:* Como consequência imediata, os custos de instalação e as despesas decorrentes da amortização do capital empregado são menores com o forno elétrico. Com esta última instalação, as pontes rolantes necessárias serão de menor capacidade, as caçambas para o transporte do metal e a imobilização de material em lingoteiras no caso de lingotagem, e de caixas moldadas no caso de fundição, são menores. A estrutura do edifício poderá ser mais leve, visto como as colunas terão que suportar uma ponte rolante menor.

No caso de um forno Siemens-Martin de 10 a 12 toneladas trabalhando na produção de lingotes pequenos de 100 a 120 kgs torna-se obrigatória a fundição em placa, sendo impraticável a fundição pelo topo, devido a perda do calor do metal com a demora necessária ao enchimento individual de cerca de 120 lingotes. Fundição em placa significa consumo de tijolos de placa e perda de material nos canais distribuidores. No caso de fornos elétricos, sendo menor o tamanho da corrida, torna-se mais fácil o enchimento dos lingotes pelo topo da lingoteira com a economia tanto dos tijolos de placa, então desnecessários, como das perdas nos canais distribuidores.

E' verdade que a fundição de lingotes em placa dá um produto mais bem acabado, perfeito e sem gotas frias, embora essas vantagens não tenham grande influência no caso de lingotagem para transformação posterior em produtos para concreto armado como na quase totalidade dos casos.

*Aquecimento dos fornos:* No caso de fornos Siemens-Martin, o aquecimento do forno se faz pela combustão de uma determinada proporção de ar e gás, ar e óleo ou um sistema mixto de ar e óleo ou um sistema mixto de ar, óleo-gás. A combustão se dá no laboratório do forno, sendo a carga aquecida por intermê-

dio da escória, que acumula grande quantidade de calor, principalmente se for espessa ou volumosa, como no caso da marcha pelo processo ao minério (ore process). A consequência imediata é que enquanto o banho é aquecido através da escória, aquece-se também a abóbada a temperaturas tais que limitam a quantidade de calor admitida no forno, sob pena de curta vida para o revestimento refratário.

No caso de fornos elétricos, o calor é produzido no próprio banho metálico, pois devido à abertura do arco forma-se um sopro que afasta a escória. Esta tem então função contrária, isto é, impede a irradiação direta da superfície do banho protegendo a abóbada.

*Refratários:* O consumo de refratários por tonelada de aço é sempre maior em forno Siemens-Martin do que em forno elétrico.

Um forno Siemens-Martin de 12 toneladas, representa um peso imobilizado de tijolos, tanto no forno propriamente dito como nas câmaras de preaquecimento, de cerca de 100 a 200 toneladas, não levando em consideração as paredes desta câmara, os condutos e a chaminé de construção permanente. Esta é a quantidade de tijolos que se deve substituir em cada reparação.

Para um forno elétrico de igual produção em 24 horas, o peso total do revestimento é de cerca de 10 toneladas, ou seja 10 a 13 vezes menos.

O elevado consumo de refratário nos fornos Siemens-Martin é explicável tanto pelas altas temperaturas reinantes como ainda pelo desgaste mecânico, decorrente do movimento dos gases e da ação química dos elementos empregados na formação da escória, principalmente cal e minério cujas poeiras, aspiradas através das câmaras de preaquecimento, aí se depositam parcialmente e reagem sobre o empilhamento, formando escórias extremamente fluidas e corrosivas.

*Custo de instalação:* Para uma produção igual em 24 horas o custo inicial de instalação de um forno Siemens-Martin, com as suas fundações, aparelhos de inversão de gases, condutos, forno propriamente dito, chaminés, câmaras de recuperação, plataforma de carregamento, máquina de carregar, depósitos de combustível, compressores de ar, etc., é cerca de 2 vezes maior que o de uma instalação de forno elétrico, compreendendo a subesta-

ção de alta tensão inclusive a sua superestrutura, transformador principal, aparelhos de medida, quadro de comando, regulação automática dos eletrodos, refratários e dispositivo de carregamento pelo topo.

*Reparações:* Um forno, Siemens-Martin tem uma campanha média de 2,5 a 3,5 meses, dependendo da habilidade dos seus operadores e da qualidade do material manufaturado. Segue-se a esse período de trabalho, mais comumente chamado campanha, uma reparação geral em que, conservando-se apenas a estrutura metálica do forno, é substituído todo o refratário do nível da plataforma de carregamento para cima, incluindo as rampas de canalização para entrada e saída de gases e grande parte das vezes os empilhamentos das câmaras de recuperação. Esta reparação geral tem que se seguir ao resfriamento total do forno para permitir a entrada dos operários em seu interior. Este prazo de resfriamento é tanto maior quanto maior fôr a quantidade dos refratários empregados e muitas vezes atinge 2 ou 3 dias. De um modo geral, a reparação completa de um forno Siemens-Martin leva de 20 dias a um mez, seguindo-se o período de secagem e novo aquecimento de mais 4 a 6 dias. Portanto, a uma campanha de 3 meses, segue-se um período de estacionamento de um mês, o que, para uma usina que só disponha de um forno, representa falta de trabalho para as 3 turmas de operários especializados (cerca de 45 homens para um forno de 12 toneladas).

Grande é a diferença quando se trata de uma instalação de forno elétrico. O período de resfriamento com a remoção da abóbada é de cerca de 24 horas, sendo possível fazer uma substituição radical de todas as paredes laterais e do fundo (quando necessário) em cerca de 3 dias, havendo sempre em disponibilidade uma bóbada sobresalente e já revestida. O novo aquecimento até as temperaturas de trabalho incluindo a queima da nova soleira, precisa de mais de 1 dia. Resumindo: após campanha de 3 meses, segue-se um prazo para uma reparação geral de 5 dias, com maior aproveitamento das turmas especializadas em fusão e refino, neste caso muito menores (cerca de 24 homens para um forno de 5 toneladas). Ademais os fornos elétricos modernos são muitas vezes providos de corpos duplos intercambiáveis, cuja mudança se pode fazer em 1 hora. Nessas condições, após um funcionamento contínuo de cerca de 3 meses, dá-se apenas um estacionamento de 1 dia para a queima da nova soleira.

Um gráfico de produção faria resaltar ainda mais a diferença em favor do forno elétrico.

*Carga metálica:* Tanto uma instalação de fornos Siemens-Martin como de fornos elétricos pode ser operada pelos processos clássicos de carga sólida ou de carga líquida. Neste último caso, admite-se uma instalação próxima de altos fornos. Em qualquer caso a marcha do refino e as reações decorrentes são as mesmas, mas, como a quantidade de calor disponível por unidade de tempo é menor em fornos Siemens-Martin que em fornos elétricos, é mister compensar esta diferença usando nos primeiros uma carga metálica mais fusível e quimicamente mais quente, isto é, com ponderáveis quantidades de certos elementos que, por ocasião de sua posterior eliminação sob a forma de óxidos de formação exotérmica, desenvolvem calor que é aproveitado pelo banho. Estes elementos são o carbono, o silício e o manganês.

Recorre-se então ao emprego de determinadas quantidades de gusa, variando de 20 a 40 por cento do peso total da carga, obtendo-se uma carga ideal média com a seguinte composição:

Carbono .....	0,8 a 1,4
Silício .....	0,5 a 1,2
Manganês .....	0,8 a 1,2

Com o emprêgo de fornos elétricos, a fonte de calor é regulável à vontade do operador e não se torna necessário o emprêgo de quantidade tão grande de gusa, visto como temos como ideal a seguinte carga média enforada:

Carbono .....	0,5 a 0,7
Silício .....	0,2 a 0,6
Manganês .....	0,4 a 0,6

Se a sucata de aço é composta de peças de aço duro, meio duro ou trilhos, pode-se dispensar o emprêgo de gusa.

O abastecimento em gusa de 20 a 40 por cento do total da carga empregada no forno Siemens-Martin é oneroso quando não se dispõe de produção própria e se deve recorrer ao mercado. Ainda mais, o gusa em tempos normais tem mais valor que a sucata de aço, além de teôr inferior em ferro (92% de Fe no gusa contra 97/98% de Fe na sucata de aço).

*Carga sólida:* Como carga sólida se entende o processo do enformamento da carga em estado frio, podendo esta ser constituída parte de gusa e parte de sucata ou inteiramente de gusa ou sucata; nesse caso a sua fusão é processada no próprio forno. De um modo geral a carga sólida tende ao processo de sucata (scrap process).

Sob o ponto de vista da natureza física das cargas, é mais fácil e econômico tratar em forno elétrico uma carga de peças miúdas como, por exemplo, aparas de torno, por se tratar de um forno fechado, com pressão interna e atmosfera redutora; enquanto que, com fornos Siemens-Martin, a mesma carga acarretaria maiores perdas por oxidação devido ao ligeiro excesso do ar necessário à combustão.

*Carga líquida:* Denomina-se carga líquida o processo no qual a carga é previamente fundida, ficando para o forno sómente a parte de refino. A carga líquida conduz geralmente ao processo do minério (ore process).

Uma instalação de refino de aço trabalhando em seguimento a altos fornos e podendo receber a carga já em estado líquido é a solução mais adequada a uma instalação Siemens-Martin devido principalmente à economia do tempo de carregamento.

Semelhante carga, tratada em forno elétrico, necessita o emprego de potência reduzida, menor reatância de lastro, decorrendo melhores fatores de carga e de potência, e melhor taxa de demanda.

Tivemos conhecimento de um recente processo empregado nos Estados Unidos e ainda em regime de observação para o funcionamento em carga líquida: sobre a soleira do forno elétrico é colocada de uma única vez a quantidade de minério de ferro, teoricamente necessária para o refino da carga, e sobre este leito é adicionada a carga metálica líquida, geralmente gusa. É óbvio que a enorme quantidade de calor necessário ao rápido aquecimento do minério, é cedida pelo calor da carga enformada e compensada pelo emprêgo da potência total do forno sob pena de resfriamento seguido de solidificação da carga. Este primeiro período é portanto fortemente endotérmico, sendo necessário usar ao máximo a potência disponível do transformador. Em Siemens-Martin é o processo impraticável, pela impossibilidade de compensar a diferença do calor absorvido pela carga de minério, o que acarretaria a solidificação do banho metálico. Um característico interesante deste processo é a redução do teor em

carbono e silício da gusa enfundada para 0,3/0,4% de carbono e 0,2/0,3% de silício em cerca de 30 minutos. Obtem-se assim uma grande redução do período inicial pelo processo de carga líquida correspondente à eliminação do excesso de carbono e silício da carga enfundada para os teões finais desejados.

*Mão de obra:* Uma instalação Siemens-Martin exige mão de obra mais especializada do que o forno elétrico, porque, além do processo de refino propriamente dito, semelhante em ambas as instalações, temos ainda a inversão das válvulas, observação da temperatura nas câmaras de preaquecimento, regulação da tiragem pela chaminé, observação da chegada de gás ou da alimentação de óleo. A energia que, em dado momento, se pode admitir num forno Siemens-Martin é praticamente constante, enquanto que, em fornos elétricos, é regulável à vontade do operador, que agindo sobre a potência do transformador e a regulação dos eletrodos, pode aumentar ou reduzir o calor transmitido ao forno e assim manter facilmente a temperatura do banho, compensando a perda do calor absorvido por uma adição considerável de minério, de cal ou mesmo dos elementos finais de adição; ferro-liga, Spiegel, etc.

*Carregamento:* No Brasil para unidades até 12 a 15 toneladas, tem-se empregado o carregamento manual, quando se trata de funcionamento pelo processo de sucata. Este serviço, bastante fatigante, requer aproximadamente 1 a 1.1/2 horas, além de uma turma de operários, relativamente grande. Poucas instalações trabalham com máquinas de carregar e ainda com estas máquinas a duração do carregamento é reduzida apenas de 20 a 40%, com a grande vantagem, no entretanto, da economia de mão de obra, pela diminuição da turma necessária, e a de evitar o cansaço físico dos operários.

No caso do forno elétrico, todas as unidades modernas são carregadas pelo topo pelo deslocamento da abóbada, deixando completamente livre o laboratório do forno onde de uma só vez, por meio de uma caçamba com fundo removível, é colocada toda a carga anteriormente preparada. Este carregamento se faz em cerca de 5 minutos.

*Flexibilidade de produção:* Das várias considerações, acima feitas, conclue-se que o forno elétrico, para produções relativamente pequenas, tem muito mais flexibilidade de produção que uma instalação de fornos Siemens-Martin. É possível parar um

forno elétrico num sábado e reiniciar o serviço na segunda-feira, sem ser necessário mantê-lo aquecido, como no caso do Siemens-Martin. Partindo do forno praticamente frio, pode-se facilmente obter uma corrida cerca de 3 1/2 a 4 horas depois.

Em caso de crise industrial, é possível trabalhar com o forno elétrico durante o serviço diurno, ou mesmo reduzir a sua produção para 2 ou até 1 corrida por dia, sendo isso impraticável no Siemens-Martin.

*Condições econômicas de funcionamento dos fornos Siemens-Martin:* Uma instalação de fornos Siemens-Martin tem as suas condições ótimas de economia de produção à medida que aumenta o tamanho das unidades e tende a ultrapassar 100 toneladas de capacidade unitária. Para compensar as paralizações necessárias aos consertos gerais de cada forno, é aconselhável uma instalação compreendendo inicialmente um misturador, aquecido ou não, conforme o seu tamanho, seguido de 4 unidades Siemens-Martin, sendo 3 normalmente em trabalho e 1 em preparação e aquecimento. Assim, cada mês, com a saída de serviço de um forno para reparação geral, seria a sua turma transferida para o forno recentemente reconstruído e pronto para trabalhar. Não haveria solução de continuidade no trabalho da usina, e seria mantida a mesma produção média diária durante todo o ano.

Há também a estudar a questão do combustível. Uma instalação econômica de fornos Siemens-Martin precisa ter fácil abastecimento de gás pela proximidade de uma bateria de fornos a coque ou pelo menos contar com a sua instalação própria de gazogênios trabalhando a carvão mineral e produzindo um gás suficientemente rico e de elevado poder calorífico. Em instalações siderúrgicas completas abrangendo desde o alto forno até a laminação, os fornos Siemens-Martin são geralmente aquecidos pelos gases da coqueria, ficando reservados os gases dos altos fornos para o aquecimento dos fornos-poço e dos fornos contínuos e para a produção de energia elétrica em maiores instalações de fornos Siemens-Martin aquecidos a gás de alto forno cuja insuficiência calorífica é compensada por uma injeção secundária de óleo combustível.

*Condições econômicas de funcionamento dos fornos elétricos:* Em primeiro lugar, é necessário para o funcionamento perfeito de fornos elétricos que a instalação seja ligada a um sistema de capacidade pelo menos 5 vezes maior, afim de poder absorver com

facilidade as flutuações da corrente tomada pelo forno, principalmente no período de fusão da carga quando, não havendo ainda banho formado, os curtos circuitos são constantes e intensos. Na escolha do equipamento adequado para determinada produção, precisa-se examinar detalhadamente a quantidade disponível de energia, e determinar criteriosamente o tamanho dos fornos. Também não se deve esquecer a questão do preço da energia elétrica e sua influência no custo do produto a obter. Tomando como base de consumo para as operações comuns de fusão e refino a cifra de 700/800 Kwh para os fornos pequenos, de 600/700 para os médios e de 500/600 para os maiores, pode-se determinar prontamente a despesa de energia necessária e a porcentagem que a mesma representa no custo total do produto. À medida que a produção total vai aumentando, a diferença inicial indiscutível em favor do forno elétrico para instalações pequenas e médias vai tendendo a desaparecer até chegar ao ponto de usinas com instalações de altos fornos e coquerias, onde é mais econômica a utilização de fornos Siemens-Martin em baterias, afim de aproveitar os gases disponíveis.

Uma grande aciaria elétrica exige grande disponibilidade de energia o que, no momento, só se pode obter no Brasil nas proximidades dos principais centros industriais do Rio e São Paulo e onde, por motivos econômicos, não são instalados grandes usinas que procuram, de preferência, se localizar próximo ao minério, ao carvão ou onde a mão de obra seja mais fácil e barata.

*Conclusões:* Dificilmente no Brasil uma aciaria Siemens-Martin pode se dedicar exclusivamente à produção de peças em aço moldado, como é o caso de dezenas de instalações congêneres trabalhando na Europa e Estados Unidos. Com um tamanho mínimo de 10 toneladas por forno, representando uma produção de 40 a 45 toneladas em 24 horas, seria necessário recorrer à lingotagem como escoamento para sobras da moldação, visto como não há mercado para absorver tal produção moldada, principalmente levando em conta a concorrência existente.

O forno elétrico, de maior flexibilidade de produção e permitindo tamanhos de funcionamento econômico desde 1 tonelada por corrida, fornece a solução para uma instalação dedicada à produção de obras moldadas, havendo para isso mercado suficiente. Qualquer sobra pode ser utilizada em lingotagem de aço especial, para cujo fim é o equipamento ideal.

Comparemos agora os dois sistemas para o caso de uma produção mensal de:

até 1000 toneladas

de 1000 a 3000 toneladas

acima de 3000 toneladas.

1.º Caso: *Produção mensal até 1000 toneladas*: Para esta produção é inquestionável a economia de produção de um forno elétrico sobre o sistema Siemens-Martin, mesmo que este forno seja alimentado por carga líquida proveniente de alto forno da mesma organização.

Esta produção pode ser facilmente obtida com um forno elétrico de 4 toneladas, ou por um forno Siemens-Martin de 8 toneladas por corrida. Neste caso vão se tornar muito favoráveis ao forno elétrico, os itens de custo de instalação, amortização de capital, refratários, tempo de reparação, mão de obra, etc.

2.º Caso: *Produção mensal de 1000 a 3000 toneladas*: Esta produção (3000 ton.) pode ser obtida pela montagem de 2 fornos elétricos de 6 toneladas, ou uma bateria de 3 fornos Siemens-Martin de 10 toneladas. As condições econômicas de funcionamento já melhoram sensivelmente em favor da instalação Siemens-Martin; o prazo necessário às reparações já é menos crítico, embora ainda prevaleça um consumo maior de refratários e um equipamento básico mais oneroso, no que se refere a edifícios, caçambas, lingoteiras, etc.

3.º Caso: *Para uma produção mensal acima de 3000 toneladas*: Neste caso a diferença do custo de produção ainda mais favorável se torna em favor de uma bateria de fornos Siemens-Martin, embora isso não signifique forçosamente maior economia a seu crédito. Para instalações como as existentes em Monlevade, situadas por motivos econômicos na região do minério, e onde existe disponibilidade de carvão vegetal necessário à redução nos altos fornos, é indicado uma acieria Siemens-Martin para o aproveitamento do grande excesso dos gases dos altos fornos. Esta instalação compreende 4 fornos Siemens-Martin de 40 toneladas de capacidade cada um, que, para o nosso meio, já representam grande produção e unidades bastante econômicas.

Finalmente as novas instalações de Volta Redonda, cujo programa é de redução do minério em altos fornos com o emprego

de coque metalúrgico produzido nas próprias coquerias da usina, e em que ha portanto grande disponibilidade de gases de alto poder calorífico, e dado o tamanho de 150 toneladas por corrida escolhido para as unidades Siemens-Martin, representam a nosso ver, a solução mais econômica para uma usina com estes recursos.

Em qualquer hipótese e seja qual fôr o tamanho da instalação, certos característicos, inerentes aos fornos elétricos, subsistem sempre com vantagem, quando é possível empregá-los.

Concluimos pois que praticamente não são concorrentes as instalações de fornos Siemens-Martin e de fornos elétricos, tendo cada qual o seu campo de aplicação; uma completa a outra quando se consideram a ordem de grandeza da produção final e as condições econômicas locais quanto ao combustível e à energia elétrica.

O certo é que, com uma escolha ponderada que leve em conta os fatores acima apontados, ambos os fornos têm, no Brasil, um brilhante futuro.

---