

O PROCESSO "H y L": SEU PRESENTE E SEU FUTURO ⁽¹⁾

JOSEPH F. SKELLY ⁽²⁾

RESUMO

O processo HyL produz ferro esponja a partir de minério bruto ou mesmo de aglomerados. Podem ser utilizados gás natural ou nafta como fonte do agente redutor. São apresentados os custos de operação e investimentos, juntamente com uma discussão do papel desempenhado pelo processo na produção de aço e as situações para as quais o mesmo se presta especialmente.

1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O minério de ferro bruto, ou o aglomerado, é reduzido a ferro esponja pelo contato com um gás redutor contendo monóxido de carbono e hidrogênio. Muitos tipos de minérios (hematita, magnetita etc.), podem ser tratados, e os pedaços de minério podem ser formados por simples moagem, ou por pelotização, sinterização, extrusão etc.

Em operações comerciais atualmente existentes, o gás redutor é produzido na usina submetendo-se gás natural ao processo de reforma por vapor. Contudo, se as condições locais o permitirem, isto pode ser feito pelo sistema de reforma de nafta, pela gaseificação de carvão, ou por outros meios capazes de produzir uma mistura CO-H₂. Este gás é aquecido antes de ser introduzido na câmara de reação contendo os "lumps" de minério, onde o óxido de ferro é reduzido a 1600-1900°F. Uma vez que esta temperatura é inferior ao ponto de fusão do ferro, o material não se derrete mas é reduzido a ferro esponja pela difusão de gás no sólido.

O processo utiliza um número de reatores descontínuos, cada um dos quais leva 12 horas para efetuar o tratamento completo de uma carga de minério. Para assegurar uma operação cons-

(1) Contribuição Técnica n.º 529. Apresentada ao XIX Congresso Anual da ABM; São Paulo, julho de 1964.

(2) Engenharia da Swindell — Dressler Company, Divisão da Pullman, Inc., Pittsburgh, Pa., USA.

tante, a unidade utiliza uma bateria de quatro reatores idênticos, de modo que uma nova carga de ferro esponja é produzida de 3 em 3 horas. A unidade completa opera continuamente, 24 horas por dia, 7 dias por semana. O processo e a unidade foram descritos extensivamente na literatura a qual nos referimos para esclarecimentos complementares ⁽¹⁾.

2. HISTÓRIA DO PROCESSO E SUAS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Há cerca de 20 anos, quando a industrialização do México começou a se desenvolver, surgiu em Monterrey grande falta de produtos planos de aço. Com as importações restringidas por imposição da Segunda Grande Guerra, os homens de El Norte voltaram-se para seus próprios recursos e organizaram uma nova companhia siderúrgica, a Hojalata y Lamina S.A. A primeira instalação produziu chapas pela re-laminação de produtos importados semi-acabados. Fazendo uma integração ao reverso, a companhia instalou seu primeiro forno elétrico em 1945, de modo a poder produzir seus primeiros lingotes fundindo sucata importada. Sua capacidade foi ampliada em 1948, com a adição de novos fornos, quando a obtenção de sucata estrangeira se tornou cada vez mais difícil e dispendiosa.

Como é característico nas economias que se desenvolvem rapidamente, a sucata doméstica era escassa e o problema de suprimento do ferro era muito difícil. A Hojalata y Lamina enfrentou esta situação com a instalação de seus próprios meios para a produção de ferro, continuando destarte sua política de integração vertical do processo, do produto acabado para a matéria-prima. Todavia, como a capacidade de produção de suas instalações era, naquela ocasião, muito baixa para justificar um alto forno, a companhia decidiu produzir a quantidade desejada de ferro esponja por um processo de sua própria invenção.

A usina-piloto para o novo processo iniciou sua operação em fins de 1955, retirando gás redutor de um reformador por vapor-metano projetado pela M. W. Kellogg Company, que é uma divisão da Pullman. Inc.. Ao findar-se o ano, a operação piloto mostrava-se tão satisfatória que a Hojalata Y Lamina S.A. resolveu construir uma usina industrial, com capacidade para produzir 200 toneladas diárias pelo novo processo HyL. Com a assistência da Kellogg, esta usina foi projetada, construída e posta em operação em novembro de 1957, um período de tempo extremamente reduzido para chegar-se à materialização em escala industrial de um novo processo. A Kellogg foi então designada agente licenciador do processo em todo mundo, e iniciou

os trabalhos referentes a uma segunda usina, esta maior, de concepção melhorada, com capacidade de 500 toneladas de ferro esponja por dia ⁽²⁾. Esta nova usina começou a produzir em 1960, dando à Hojalata y Lamina S.A. a maior aciaria integrada do mundo baseada no ferro esponja como fonte primária de metal. Em 1963, a Kellogg juntou-se à Swindell-Dressler Company, que é também uma divisão da Pullman, para implementar o desenvolvimento e aplicação do processo HyL.

3. MATÉRIAS PRIMAS

Nos processos químicos e metalúrgicos, é geralmente verdadeiro que quanto melhor a matéria prima, melhor é a operação da usina. A redução de minério de ferro não é exceção a esta regra, tanto no alto forno como nos processos de redução direta. Os minérios de ferro contêm misturas complexas de compostos de ferro e muitas outras substâncias químicas. Estas últimas (que podem compreender sílica, alumina, enxôfre, fósforo e titânio) são indesejáveis no produto acabado e devem ser consideradas como impurezas a serem removidas durante a sequência do processo, na qual os compostos de ferro são convertidos em aço. O processo HyL remove a maior parte do oxigênio presente no minério como óxido de ferro, e grande parte do enxôfre. O processo não remove sílica, alumina, e substâncias não ferrosas similares. Estas impurezas devem ser retiradas nos tratamentos do minério, que precedem o processo, ou na manufatura do aço, que se lhe segue.

Para cada caso específico deve ser feito um minucioso cálculo de custo para determinar se o beneficiamento do minério deve ser feito antes ou depois da redução. Contudo, é inarredável o fato de que as impurezas contidas no minério fazem aumentar o custo da produção de aço, qualquer que seja o processo utilizado. Daí a importância da utilização de bom minério, obtido seja por beneficiamento, seja pela seleção de depósitos naturais de alto grau de qualidade.

Outra característica do minério que apresenta importantes consequências econômicas é a sua redutibilidade. Esta abrange todos aqueles atributos do minério que determinam o tempo e a temperatura necessários para a redução, juntamente com as propriedades físicas do ferro esponja resultante. Conquanto todos os minérios possam ser reduzidos no processo, alguns são convertidos em metal ferrífico muito mais prontamente que outros, com o efeito consequente nos custos de produção e de capital. A redutibilidade de um minério não pode ser determinada por uma simples análise química (como no caso de impurezas), mas

deve ser estabelecida pela redução de uma amostra do minério em uma unidade de produção ou em uma usina piloto, onde êle seja submetido a tôdas as condições que prevaleçam no processo industrial.

Uma propriedade final do minério que deve ser aqui mencionada é a referente a sua granulometria. Para o processo HyL, o minério deve ter a forma de "lumps" ou pedaços cujos tamanhos se incluam numa escala moderada, entre 1/8 a 2 polegadas. Tais "lumps" podem resultar da moagem do minério natural, ou podem ser formados pela pelotização, sinterização ou outras técnicas usuais de aglomeração. Os minérios pulverizados, ou os que se apresentem em pó como estado natural, não podem ser usados diretamente; contudo, excelentes resultados podem ser obtidos com concentrados aglomerados, de alta pureza.

Deve ser notado que os efeitos gerais acima atribuídos às impurezas, redutibilidade e tamanho não são restritos ao processo HyL. Consequências semelhantes surgem em outros processos de redução, inclusive no alto forno.

4. A REDUÇÃO DE MINÉRIO E A PRODUÇÃO DE AÇO

A escolha do processo de redução de melhor adaptação a um dado local tem sido às vêzes prejudicada por bases discrepantes de comparação. Para evitar esta dificuldade, é interessante considerar a redução do minério meramente como um componente de um sistema completado por uma série de processos individuais e interligados. A seleção do processo de redução é então determinada pelo efeito que possa ter sôbre o processo fundamental adotado pelo sistema geral.

Partido dêste ponto de vista, a redução do minério é uma componente na conversão do minério de ferro e da sucata em aço acabado. O minério de ferro passa por cinco estágios, como enumerado a seguir:

Estágio do processo	Função
1. Beneficiamento	Modificações na composição por meios físicos.
2. Redução	} Modificação na composição por meios químicos.
3. Refino	
4. Fundição	} Produção de formatos, tamanhos e superfícies.
5. Modelação	

O custo da produção de aço em qualquer local dado é indicado pela soma dos custos dos estágios acima, e tal custo deverá variar de acôrdo com as características do local considerado. Por exemplo, a extensão e o tipo das impurezas encontradas no minério pesam de maneira acentuada no custo da produção de aço. Consequentemente, de modo geral, é melhor utilizar minérios de alto grau de pureza se os mesmos se acharem disponíveis, mesmo que os minérios de baixo teor sejam ligeiramente mais baratos. O segundo tipo de matéria prima elementar compreende a sucata de aço e ferro. Uma importante fonte de sucata encontra-se na própria usina, onde ela é inevitavelmente formada em muitos lugares na operação. Ela é usada novamente na própria usina, e se eleva a cêrca de 30 por cento do pêsso dos produtos acabados. ⁽⁵⁾

A sucata de usina pode ser complementada por sucata adquirida fora da usina uma vez o respectivo preço seja convidativo. Para uma capacidade de produção especificada, as compras de sucata fazem diminuir o investimento de capital necessário para a redução do minério, mas fazem aumentar as necessidades em moedas estrangeiras, se a sucata tiver de ser importada.

O suprimento de energia deve ser tratado como um terceiro ingrediente no processo fundamental. Trata-se usualmente de um *combustível "carbonado"* (carvão, óleo, gás natural, linhita etc.), uma porção do qual é *transformada quimicamente em agente redutor* para a renovação do oxigênio do minério no estágio de redução. Uma outra porção do combustível deve ser *convertida em vapor ou eletricidade* para atender a vários serviços de energia, a um custo que deve ser incluído no custo total de produção. Finalmente, algum combustível é *queimado diretamente para fornecer calor* a vários fornos, na usina. Energia hidrelétrica, pode ser empregada, se suficientemente barata, mas deve ser suplementada por algum material carbonado para fazer o agente redutor.

O custo da demanda total em energia é substancial e é importante selecionar equipamento e processos que possam utilizar a mais barata fonte de energia disponível. Os processos de redução têm sido desenvolvidos para cada tipo principal de combustível e haverá em muitas instâncias uma forte razão econômica para a escolha do processo em função do custo do combustível. ⁽⁶⁾ A mesma consideração deverá exercer influência na seleção do processo ótimo de refino. Outros fatores devem ser considerados na elaboração de um projeto final para uma instalação siderúrgica, mas o que foi dito acima ilustra o fato de que a redução do minério é apenas um componente em um sistema complexo de unidades de energia e processamento de materiais.

A escolha do processo de redução deve portanto ser baseada em um ponto de vista sobre o sistema no qual o *custo total*, a *eficiência*, e a *flexibilidade* da produção de aço são supremos. ⁽⁷⁾

5. USOS PARA O FERRO ESPONJA

O ferro esponja é mais comumente usado como um dos ingredientes carregados no forno, no estágio de refino, ⁽⁸⁾ sendo que o mesmo é utilizado em certas localidades como parte da alimentação normal para fornos Siemens-Martin e fornos elétricos a arco. Parece não haver razão metalúrgica séria pela qual êle não possa ser usado em qualquer forno de refino, para todos os tipos de aço. As considerações principais têm caráter econômico, e elas se aplicam com pêsôo igual ao processo Hyl e a tôdas as outras fontes de ferro. Embora cargas bem sucedidas hajam sido feitas usando-se 100% de esponja fria para alimentar o forno, é comum a utilização de alguma sucata, gusa etc., como venha a ser determinado pelos fatores econômicos que se apresentem na situação. É tècnicamente fácil (e muitas vêzes proveitoso economicamente) utilizar 50-70% de ferro esponja com 50-30% de sucata como carga normal.

Do mesmo modo que o ferro esponja pode ser convertido em aço em todos os tipos de fornos, êle também pode ser transformado numa grande variedade de produtos acabados. Pode-se produzir facilmente chapas e fôlhas de aço doce enquanto os tipos para estampagem profunda são excelentes. Presentemente se fazem, a partir do ferro esponja, aços para rolamentos, tubulações, lâminas para barbear e outros produtos de qualidade, além de aços inoxidáveis. Em verdade, quando o ferro esponja é feito de minérios de alto grau de pureza e quando a sucata contaminada é excluída, o aço resultante apresenta geralmente propriedades superiores em virtude de seu baixo teor de impurezas. O valor do ferro esponja para a manufatura de produtos de primeira qualidade é enorme, merecendo a maior atenção dos metalurgistas mais progressistas.

Presentemente, os produtores de ferro esponja usam a maior parte do produto em seus próprios fornos situados na vizinhança. Algum ferro esponja é vendido para utilização em outras localidades, sendo provável que um alentado comércio dêste gênero venha a se desenvolver. *O ferro esponja Hyl pode ser transportado a granel por navio ou ferrovia, sem embalagem especial, e pode ser convertido em aço ao chegar a seu destino.*

Nos anos recentes foram ativados muitos depósitos novos de minérios de alto grau de pureza, daí resultando que o mercado

mundial de minérios apresenta agora as condições clássicas de excesso de oferta. Em tais situações, não são comuns os contratos de alta margem de lucro nem os compromissos a longo prazo. O mercado tende a ser dominado por transações isoladas de pronta liquidação, declínio de preços, altos custos de venda, e outros elementos prejudiciais aos interesses dos produtores de matérias primas. Se tais condições persistirem, os pequenos fornecedores serão compelidos a retirar-se do mercado.

Os remédios clássicos que se apresentam ao produtor consistem em baixar seus preços ou melhorar seus produtos. Felizmente, as tendências observadas ultimamente na manufatura de aço possibilita a um produtor alerta a consideração de novo método para a melhoria do produto. O crescente interesse de parte dos operadores de altos fornos na utilização de cargas pré-reduzidas oferece à indústria de ferro esponja uma oportunidade para a melhoria de sua produção. O processo HyL é bem adaptável à preparação de minério pré-reduzido e está sendo seriamente considerado para esta aplicação.

6. CUSTOS TÍPICOS DE OPERAÇÃO E INVESTIMENTOS PARA AS UNIDADES HyL DE FERRO ESPONJA

Os dados publicados referem-se a uma usina HyL de ferro esponja com capacidade de 500 toneladas por dia ou 165.000 toneladas metricas por ano. A base para os cálculos foi fornecida por experiência real, vivida na usina de Monterrey, da Hojalata y Lamina. ⁽⁹⁾ As especificações são:

<i>Minério:</i>	60 por cento Fe; geralmente como os outros minérios usados em Monterrey: 6-9 por cento de sílica.
<i>Gás:</i>	Poder calorífico 935BTU/pé ³ , no mínimo; enxôfre, menos de 5 "grains"/1000 pés ³ ; pressão de 150 libras por polegada quadrada.
<i>Redução do Minério:</i>	85 por cento de metalização.
<i>Produção da Unidade:</i>	330 dias por ano.

Considerando a produção de 165.000 toneladas por ano de ferro total na esponja os dados de custo são apresentados nos Quadros 1 e 2 em dólares U.S..

QUADRO 1

Custo de Operação para 165.000 Toneladas de Fe por Ano

Item	Quantidade por ano	Quantidade por t	Custo por ano US\$	Custo por t Fe US\$	Custo Unit. US\$	Unidade de Medida
Gás natural ..	3.465.000	21.0	1.040.00	6.30	0.30	1000 pés ³
Sistema água .	194.500	1.18	5.300	.03	0.027	1000 Gal.US.
Catalizadores e prod. químicos	—	—	40.000	.24	—	—
Mão - de - obra operacional ..	54.000	0.33	43.200	.26	0.80	Homem/Hora
Supervisão	9.000	0.055	11.200	.07	1.25	Homem/Hora
Manutenção ...	—	—	245.000	1.48	—	—
Administração Geral	—	—	54.000	.33	—	—
Suprimentos diversos	—	—	30.000	.18	—	—
"Royalty"	—	—	165.000	1.00	—	—
Custo líquido de operação			1.634.000	9.91		

QUADRO 2

<i>Custo de Investimento</i> — 165.000 Toneladas de Fe por Ano.	
	U.S. Dólares
Total	\$ 6.100.000
Total por tonelada da Produção Anual ..	\$ 37.00

Deve ser particularmente notado que êstes valôres de custo não contém um número de itens cuja magnitude pode variar grandemente de um local para outro, tais como: sobressalentes, suprimentos de depósito, terrenos, limpeza e preparação do local, despesas com fundações especiais, linhas de suprimento de utilidades fora do local da planta, direitos alfandegários, fretes terrestres, vila residencial etc.. Os custos incluem: fornos de reforma de gás; reatores para redução do minério; trocadores de calor;

tubulação, transportadores; instrumentos de controle; equipamento para distribuição de utilidades e energia na unidade de ferro esponja; edifícios de administração.

A maioria das bombas e outras máquinas na usina é acionada por vapor gerado na própria unidade de ferro esponja. Em verdade, a unidade gera algo mais do que necessita, de modo que uma quantidade de vapor (cêrca de 80 kg/t de ferro) fica disponível para utilização em outro local da usina. Correspondentemente, pequena quantidade de eletricidade se faz necessária para lâmpadas, instrumentos de controle, e uns poucos motores (cêrca de 10,5 kWh por tonelada de ferro). No quadro 1, não está creditada a produção de vapor, nem está debitada a eletricidade. Ambos êstes fatôres estão incluídos na discussão dos custos de produção de aço abaixo apresentada. ⁽¹⁰⁾

7. CUSTO DA PRODUÇÃO DE AÇO UTILIZANDO FERRO ESPONJA HyL

Tendo-se em mente o efeito dos fatôres locais no custo da produção de aço, será útil considerar um projeto para uma usina integrada completamente nova. Êste projeto é baseado no processo HyL de redução do minério, seguida pelo refino do aço em fornos elétricos a arco, utilizando gás natural como fonte primária de energia. ⁽¹¹⁾ Serão usados os dados de custo de investimento e de operação acima enumerados para uma unidade HyL de ferro esponja. Aplicam-se as seguintes especificações complementares:

<i>Produção:</i>	250.000 toneladas de produto por ano.
<i>Produto:</i>	Tarugos de baixo carbono de 6" × 6".
<i>Carga no forno:</i>	60% de ferro esponja 40% de sucata.

São as seguintes as instalações complementares incluídas na análise:

- Linhas e desvios ferroviários.
- Pátio de armazenamento de minério.
- Unidade de redução HyL.
- Fundição — 3 fornos elétricos a arco de 17 pés.
- Máquina de lingotagem contínua.
- Guindastes, painéis, caçambas para escoria etc..
- Unidade de energia elétrica — 50.000 kW.
- Laboratório de controle e edifício de administração.
- Oficina de manutenção.
- Tratamento de água e de resíduos.
- Depósito para sobressalentes e suprimentos.
- Depósito de escória e refugos.
- Área para futura ampliação.

Q U A D R O 3

Custo de operação: 250.000 toneladas de aço de baixo Carbono — 1 Ano

Item	Quantidade por ano	Quantida- de por to- nelada de aço	Custo por Ano US\$	Custo p/t de Aço US\$	Custo Unit. US\$	Unidade de Medida
Ferro Esponja — Quadro	165.000	0.66	1.634.100	6.54	9.91	Tonelada
Fundição de Lingotamento Gás Natural	775.000	3.10	232.000	0.93	0.30	1000 pés ³
Água	125.000	.50	3.400	.01	0.027	Gal. US
Mão Obra Op.	640.000	2.56	512.000	2.05	0.80	Homem-hora
Supervisão	9.000	0.036	11.200	.04	1.25	Homem-hora
Manutenção	—	—	320.000	1.28	—	—
Administr.	—	—	523.200	2.09	—	—
Eletrodos	2.090	.00836	1.250.000	5.00	600.00	Tonelada
Fund. Ligas	—	—	1.030.500	4.13	—	—
Refrat. e Materiais	7.370	.0295	1.067.000	4.27	145.00	Tonelada
Oxig. Suprim. Diversos	—	—	138.000	.55	—	—
Total Aço	250.000		5.087.300	20.35		Tonelada
Casa de Fôrça — 50.000 kW						

Água	525.000	2.10	14.200	.06	0.027	1000 pés ³
Mão Obra Op.	75.000	0.30	60.000	.24	0.80	Homem-hora
Supervisão	16.000	0.064	20.000	.08	1.25	Homem-hora
Manutenção	—	—	65.000	.26	—	—
Administr.	—	—	56.000	.22	—	—
Total Energia	204.000.000	816.00	1.120.200	4.48		kWh
Inst. Complementares						
Mão de Obra	125.000	.50	100.000	.40	0.80	Homem-hora
Supervisão	9.000	.036	11.200	.04	1.25	Homem-hora
Supr. Diversos	—	—	50.000	.20	—	—
Manutenção	—	—	64.000	.26	—	—
Administr.	—	—	111.200	.44	—	—
Total			336.400	1.34	—	—
Custo Líquido de Operação	250.000		8.178.000	32.71		Tonelada
Minério de Ferro 60% Fe	275.000	—	3.300.000	13.20	12.00	Tonelada
Sucata	115.000	—	5.180.000	20.72	45.00	Tonelada
Custo Direto Total de Produção ..	250.000		16.658.000	66.63		Tonelada

Q U A D R O 4

250.000 t — 1 Ano — Tarugos de 6" × 6"

	Investimento Capital		Custo de Operação por Tonelada de Aço	
	US\$	%	US\$	%
Redução (Processo HyL)	6.100.000	24.7	6.54	9.8
Refino (Fôrno Eelect. Arco Lingotagem (Cont.)	8.000.000	32.4	20.35	30.6
Casa-de-Fôrça	6.500.000	26.3	4.48	6.7
Instalações Complementa- res	4.100.000	16.6	1.34	2.0
Subtotal	24.700.000	100%	32.71	49.1
Minério de Ferro a \$ 12 a t			13.20	19.8
Sucata a \$ 45 a t			20.72	31.1
Total	24.700.000	100%	66.63	100%

Esses números não incluem o custo dos terrenos, laminadores, a limpeza e a preparação do terreno, e os outros itens excluídos da análise de custo da unidade de ferro esponja previamente apresentada. O projeto é completamente integrado e a casa-de-fôrça fornece tôda a eletricidade necessária. O excesso de vapor gerado na unidade de ferro esponja, é, como foi dito acima, usado na casa-de-fôrça para suplementar o suprimento de energia de gás natural. O Quadro 3 apresenta a análise completa do custo de operação para esta instalação hipotética. É importante notar que êste projeto cobre apenas a obtenção do produto semi-acabado. Trata-se de tarugo de 6" × 6" que deve passar através da laminação e das linhas de processamento antes do aparecimento do produto acabado. Êstes últimos estâgios foram aqui omitidos mas é possível estabelecer-se uma comparação realista dos custos dos diferentes processos de redução de minério procedendo-se a uma análise de seus efeitos sôbre o custo da produção de barras de 6" × 6". O quadro leva em conta o beneficiamento do minério através do fator preço do minério.

A importância relativa dos estágios mostrados em minúcia no Quadro 3 é resumida no Quadro 4. Daí se tornará aparente que uma alteração de 10% no investimento necessário para a redução do minério produz uma alteração de cerca de somente 2,5% no investimento total para a usina siderúrgica. Uma alteração de 10% no custo de operação da redução alterará similarmente o custo total de operação em cerca de 1%. Conquanto isto não apareça diretamente da leitura dos quadros, o custo de produção é marcadamente afetado pela eficiência da produção de ferro esponja. Se esta cair em 10% (devido a dificuldades com processos não experimentados, por exemplo), a compra adicional de sucata necessária para manter a produção de aço faria aumentar o custo total de operação em cerca de 4,5%. A importância da eficiência do processo utilizado é, pois, muito grande.

8. CONCLUSÃO

O processo HyL pode ser seriamente considerado em situações em que haja disponibilidade de bom minério, "lumps" ou aglomerado, e onde o gás natural ou a nafta de petróleo constituam uma fonte econômica de energia. Suas vantagens especiais são:

1. Operação comercial comprovada na maior instalação para ferro esponja do mundo.
2. Variedade em tamanhos, uma vez que já foram construídas usinas para 200 e 500 toneladas diárias de esponja.
3. Facilidade de ampliação de capacidade porque podem ser acrescentados, como desejado, reatores e fornos de reforma adicionais.
4. Uma extensa linha de tipos de "lumps" e aglomerados de ferro podem ser convertidos em esponja.
5. Um serviço experimentado de engenharia e consultoria acha-se disponível para projeto, construção e operação inicial.

BIBLIOGRAFIA

1. CELADA, J.; MADER, C. K.; LAWRENCE, R.; *The HyL Sponge Iron Process*; Iron and Steel Engineer, (January 1960).
STARRETT, F. W. — *Sponge Iron by the HyL Process*; Journal of Metals; 315-318 (May 1959).

- FITZGERALD, E. J. — *Sponge Iron for the Electric Furnace*; Journal of Metals; 437-442 (June 1963).
- M. W. KELLOGG CO. — *Steelmaking with Gas*; brochure, August, 1962.
2. STARRETT, F. W. — *Steel for Mexico's Economic Development*; Journal of Metals; 421-428 (June 1963).
CELADA, J.; MADER, C. K.; LAWRENCE, R.; op. cit.
 3. *Some Problems of Industrial Management Reported by Technical Assistance Experts*; Industrialization and Productivity, Bulletin 2; 53-57 (March 1959). (UN)
 4. *The Modern Men of Old Monterrey*; Chemical Week; 26-29 (18 March, 1961).
 5. *Long Term Trends and Problems of the European Steel Industry*; ECE, Geneva (1959) (ST/ECE/Steel 1). (United Nations).
 6. SKELLY, J. F. — *Iron Ore Reduction*; Trans. New York Academy of Sciences; 518-523 (April 1959).
 7. SKELLY, J. F. — *How to Choose the Best Metallurgical Reactor — A System Viewpoint*; Journal of Metals; 841-3 (December 1959).
 8. FITZGERALD, E. J., op. cit.
 9. M. W. KELLOGG CO.; op. cit.
 10. M. W. KELLOGG CO. — *The HyL Sponge Iron Process — A New Step to Steel*; brochure.
 11. M. W. KELLOGG CO. — *Steel-Making with Gas*; brochure; August 1962.