

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 54

OS TRAÇOS PRINCIPAIS DA EVOLUÇÃO
DAS NORMAS DE PRODUÇÃO NA SIDERURGIA

Cândido Guerra Ferreira

Julho de 1989

anpec

associação nacional
de centros de
pós-graduação
em economia

Esta publicação foi impressa
com a colaboração da ANPEC
e o apoio financeiro do PNPE

Programa Nacional de

PNPE

Pesquisa Econômica

669.1 Ferreira, Cândido Guerra.
F383t. Os traços principais da evolução das normas de produção na
1989 siderurgia/Cândido Guerra Ferreira. - Belo Horizonte:CEDEPLAR/
UFMG. 1989.

88p. - (Texto para discussão/CEDEPLAR; 54)

1. Siderurgia. I. Título. II. Série. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL

CEDEPLAR

OS TRAÇOS PRINCIPAIS DA EVOLUÇÃO DAS NORMAS DE PRODUÇÃO
NA SIDERURGIA

*
Cândido Guerra Ferreira

* Do Departamento de Ciências Econômicas e do CEDEPLAR/UFMG.

Julho de 1989

SUMÁRIO

	Página
Introdução	1
1. A História da Grande Indústria Siderúrgica - os dois elementos fundamentais	2
1.1 - O processo de formação da grande indústria siderúrgica: o desenvolvimento tecnológico durante os séculos XVIII e XIX	2
1.2 - Expansão da produção e renovação da base técnica ao longo do século XX	8
2. A Tendência à Integração na Trajetória da Mudança Técnica	12
2.1 - Estabilidade e mutações dos "sistemas técnicos" - o papel dos equilíbrios e das interdependências tecnológicas	13
2.2 - As principais mudanças técnicas na usina siderúrgica integrada	17
3. A Tendência ao "Gigantismo" (a importância das "economias de escala")	30
4. Linhas de Produção e "Fileiras Técnicas"	38
4.1 - A diferenciação dos produtos e dos mercados	39
4.2 - As "fileiras técnicas"	40
4.3 - Os processos técnicos "alternativos"	43
5. As Mutações do Espaço Siderúrgico	50
5.1 - As estratégias de localização das unidades produtivas	50
5.2 - Da supremacia britânica à hegemonia americana	52
5.3 - A internacionalização da produção no pós-Guerra	56
NOTAS	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	85

OS TRAÇOS PRINCIPAIS DA EVOLUÇÃO DAS NORMAS DE PRODUÇÃO NA SIDERURGIA (1a)

Cândido Guerra Ferreira
Depto. de Economia e CEDEPLAR/UFMG

Em trabalho anterior, caracterizamos o processo de trabalho na indústria siderúrgica - de uma maneira geral e no estágio atual do desenvolvimento da tecnologia e da divisão do trabalho naquela indústria - como um processo de tipo "semi contínuo", caracterização esta que se baseia, fundamentalmente, na configuração técnico-material e na economia de tempo prevalecente hoje neste processo de produção (1b). O aprofundamento da análise, com base no exame do processo histórico que - através da evolução das normas de produção - engendrou a forma produtiva atualmente dominante na indústria do aço, constitui o objeto do presente texto.

Com esse objetivo traçaremos, em primeiro lugar, um rápido retrospecto histórico visando situar os dois momentos fundamentais da história da grande indústria siderúrgica (2a), estabelecendo uma distinção entre o processo de formação e o movimento de renovação da base técnica de produção. Analisaremos, em seguida, a evolução das normas de produção, tentando ressaltar os traços principais desse movimento. Deste quadro, destacar-se-á a existência - ao mesmo tempo - de desenvolvimentos cuja orientação dominante aponta no sentido de uma homogeneização das normas de produção (trata-se, em especial, das tendências - que, de resto, se encontram fortemente entrelaçadas - à integração do fluxo produtivo e à ampliação das escalas de produção), e de outras evoluções que representam uma certa tendência à diferenciação, tanto no tocante às alternativas tecnológicas quanto ao espaço siderúrgico. O modo de exposição adotado neste capítulo apoia-se, portanto, num enfoque predominantemente temático da questão, considerado mais adequado, tendo em vista a problemática deste

trabalho. De fato, a preocupação principal deste capítulo não é a de proceder a uma reconstituição detalhada do encadeamento cronológico das mudanças verificadas nos métodos e nas estruturas produtivas (2b), mas sim a de dar conta das grandes linhas destas mutações, e de tentar captar a lógica desse processo (3).

1. A História da Grande Indústria Siderúrgica - os dois momentos fundamentais

Examinando a história da grande indústria siderúrgica do ponto de vista da evolução das normas de produção, podemos assinalar dois grandes momentos - ou fases - distintos: o processo de constituição da base técnica no quadro da Revolução Industrial, e o movimento de renovação desta base técnica durante o século XX.

1.1 - O processo de formação da grande indústria siderúrgica: o desenvolvimento tecnológico durante os séculos XVIII e XIX

O desenvolvimento da tecnologia de produção do ferro e do aço no período que vai de meados do século XVIII ao final do século XIX, engendrou - em seus traços essenciais - a configuração técnico-material do processo de produção siderúrgico, tal qual ela subsiste até os dias de hoje. As mutações técnicas representaram a transição da manufatura do ferro à grande indústria do aço: os métodos artesanais empregados na manufatura do ferro e do aço foram substituídos por técnicas industriais que se constituíram numa base mais adaptada à produção em massa, a custos reduzidos.

Tal processo transcorreu no contexto da Revolução Industrial no seio do qual a siderurgia desempenhou um papel crucial, erigindo-se em um dos principais alicerces da nova estrutura industrial que se formou à época. O desenvolvimento siderúrgico

gerou, em particular, importantes estímulos para a expansão de setores estratégicos, tais como: construção pesada, máquinas e outros bens de equipamento, estradas de ferro, construção naval, etc. (4).

A mecanização crescente dos meios de trabalho constituiu o pano de fundo para o desenvolvimento da tecnologia siderúrgica; e vale ressaltar que foi sobre essa base, representada pelo progresso da mecanização, que surgiram novos métodos que iriam revolucionar o processo de produção. Com efeito, o emprego cada vez mais generalizado da máquina à vapor - e, mais tarde, da energia elétrica - em substituição à força hidráulica e humana, tornou possível a ampliação da capacidade dos equipamentos, e maior regularidade e continuidade da produção. Por outro lado, assinala-se igualmente que a expansão da oferta do ferro e do aço (que não só substituíam com vantagens os materiais utilizados em larga escala até então, mas abriam ainda novas possibilidades de utilização), cujos preços diminuíram consideravelmente, significou um forte estímulo para o desenvolvimento da mecanização da produção em geral, e dos transportes.

O processo de gênese da grande indústria siderúrgica compreende, por sua vez, dois momentos, que se distinguem tanto pela intensidade das transformações quanto pela orientação das principais inovações técnicas no que se refere às etapas do processo de produção integrado (5). Os progressos técnicos verificados ao longo do século XVIII e da primeira metade do século XIX, introduziram mudanças progressivas que afetaram principalmente a produção de ferro. Enquanto que, durante a segunda metade do século XIX, ocorreu um processo intenso de mutação que se traduziu, sobretudo, na introdução e rápida difusão de novos processos técnicos para a fabricação do aço (6).

Assim é que, nos primórdios, a grande mudança consistiria na passagem de um processo de fabricação do ferro baseado na utiliza-

ção do carvão vegetal, para a siderurgia à coque. Durante o século XVIII (à partir das experiências pioneiras de A. Darby na Inglaterra, por volta de 1709 (7)), desenvolveu-se a tecnologia de produção de gusa em altos-fornos (AF) à coque, cuja efetiva difusão na Inglaterra realizar-se-à somente a partir de meados daquele século e, só bem mais tarde (em meados do século XIX), nos principais países do continente europeu, onde ainda por longo tempo predominou o gusa produzido em altos-fornos empregando o carvão vegetal (8).

Embora o funcionamento dos dois tipos de AF seja bastante semelhante, as características técnicas do coque como agente redutor permitem um aumento substancial das dimensões - e, portanto, da capacidade de produção - do equipamento. Por outro lado, o método de redução a carvão vegetal implicava num grande consumo de recursos florestais, o que colocava a ameaça de um esgotamento das reservas florestais nos principais países produtores da Europa (evidentemente, em graus diversos segundo o país). O emprego de carvão mineral contornava este obstáculo e abria caminho para a expansão da produção do ferro. No final do século XVIII e início do século XIX, surgiram assim as primeiras grandes concentrações industriais com base na atividade siderúrgica, localizadas ao redor das reservas de carvão mineral e de minério de ferro na Europa, e sobretudo na Inglaterra.

A tecnologia de fabricação do ferro-gusa em AFs à coque predomina ainda hoje amplamente, tendo sido objeto, ao longo desse período (como veremos abaixo), de importantes aperfeiçoamentos que propiciaram, em especial, uma formidável ampliação do tamanho dos AFs. Por outro lado, a siderurgia a carvão vegetal tem uma participação bastante reduzida na produção mundial de ferro-gusa, e seu desenvolvimento se restringe a alguns países do terceiro-mundo onde há abundância de recursos florestais e escassez de carvão metalúrgico (9). O

desenvolvimento de uma alternativa à tecnologia de redução do mineral de ferro em AFs, só ocorrerá após a Segunda Guerra Mundial: trata-se do processo de redução direta que conheceu uma difusão significativa durante as últimas décadas (ver abaixo).

No que concerne ao refino do ferro, o método dominante, desde o final do século XVIII até meados do século seguinte, foi a técnica de "pudlage", introduzida na Inglaterra, nos anos 1780, associada a um processo rudimentar de laminação. Este método de refino era muito lento e intensivo em mão-de-obra, o que implicava em custos excessivamente elevados. Cabe entretanto assinalar que a combinação destes métodos - redução em AFs, "pudlage" e laminação rudimentar - deu lugar, já desde essa época, a um primeiro esboço da usina siderúrgica integrada, embora esta ainda estivesse assentada, em grande parte, em técnicas inadequadas à produção em grande escala e a custos reduzidos. O desequilíbrio então existente entre a tecnologia de redução e a de refino foi acentuado com os aperfeiçoamentos introduzidos, durante a primeira metade do século XIX, nos AFs à coque, os quais tornaram possível a produção do ferro-gusa em escalas cada vez maiores.

Tal desequilíbrio só seria definitivamente removido com o surgimento dos novos métodos, que revolucionaram a produção do aço na segunda metade do século passado. Estas inovações - notadamente, os processos Bessemer, Thomas e Siemens-Martin (vide boxe sobre os novos processos técnicos de aciaria) -, que possibilitavam a fabricação do aço em grandes quantidades e a custos bastante inferiores (10), tiveram uma difusão extremamente acelerada nos últimos anos do século passado, quando a produção e o consumo do aço superaram rapidamente os do ferro: "Desde 1874, o trilho de aço superava o trilho de ferro, que praticamente desaparece em 1885. As chapas de aço suplantaram as chapas de ferro a partir de 1891" (11).

Foi portanto durante este período que surgiram as duas grandes alternativas técnicas para a elaboração do aço, existentes ainda nos dias de hoje: os métodos de refino em fornos (processo Siemens-Martin e aciaria elétrica) e os métodos de produção em convertedores (processos Bessemer e Thomas).

A técnica dos fornos Siemens-Martin - embora o processo de refino nesses equipamentos seja mais lento em comparação com o ciclo de fabricação em convertedores - oferece vantagens no tocante à flexibilidade em relação aos insumos (os fornos possibilitam, em particular, o emprego de uma proporção maior de sucata) e à gama de tipos de aço que se pode obter. Além do mais, a lentidão do processo de fabricação permite um controle mais estrito da qualidade do produto (12). Estas características explicam a difusão extremamente rápida do forno Siemens-Martin. Em 1880, a participação dos processos Bessemer e Thomas na produção mundial de aço era de 86%, enquanto que a do processo Siemens-Martin era de 12%. Em 1912 a situação invertia-se: 61% para os fornos Siemens-Martin e 38% para os convertedores Bessemer e Thomas (13). A supremacia mundial do processo Siemens-Martin, seguido do Bessemer/Thomas, mantém-se até os anos 1950/60, quando então esta situação seria profundamente alterada pela rápida propagação dos convertedores à oxigênio puro e, em menor proporção, pelo desenvolvimento da tecnologia dos fornos elétricos.

No que tange à conformação final do metal - última etapa da fabricação de produtos siderúrgicos -, o progresso técnico foi estimulado pelo crescimento sustentado da demanda e pela expansão das capacidades de produção de aço em virtude da introdução das novas tecnologias de aciaria, durante a segunda metade do século XIX. Tais progressos se traduziram, em especial, no desenvolvimento do processo de laminação, tanto para os produtos "planos" quanto para os produtos "não-planos". Até o limiar do século XX, o equipamento central empregado na laminação, era o laminador "manual". Este tipo de

Os novos processos técnicos de aciaria (segunda metade do século XIX):

- o convertedor Bessemer - por volta de 1856, na Inglaterra, foi inventado um método para se obter aço líquido a partir do refino do ferro-gusa em convertedores, nos quais injetava-se ar atmosférico sob pressão. Produzido desta forma, o aço se tornava bem mais barato do que o ferro obtido através da "pudlage": porém este método não se adaptava à utilização do gusa obtido a partir de minerais fosforosos, o que representava uma considerável restrição à sua difusão.
 - o processo Thomas - este inconveniente foi contornado com o aparecimento do método Thomas (por volta de 1876), o qual introduzia modificações no convertedor concebido por Bessemer, tornando possível a eliminação do fósforo contido no mineral de ferro, no decorrer do processo de refino.
 - o forno Siemens-Martin - a terceira técnica importante de aciaria surgida nesta época, foi o processo Siemens-Martin (desenvolvido na França nos anos 1860) de fabricação de aço em fornos; mais tarde, este método foi adaptado também ao gusa fosforoso.
 - os fornos elétricos - o leque de alternativas técnicas completou-se como o desenvolvimento da tecnologia de elaboração do aço em fornos elétricos (a primeira corrida de aço obtido nesse tipo de aciaria, data de 1900).
-

laminador era, de fato, movido por uma máquina à vapor ou um motor elétrico, mas a realização das operações de carga/descarga do equipamento, bem como a regulagem dos cilindros, dependiam da intervenção direta dos trabalhadores. Estas operações manuais foram progressivamente mecanizadas no decorrer deste período e, na virada do século, foram introduzidos, nos Estados Unidos, os primeiros laminadores "contínuos" - cuja utilização difundir-se-á primeiramente naquele país e, mais tarde (sobretudo a partir da Segunda Guerra Mundial), na Europa.

1.2 - Expansão da produção e renovação da base técnica ao longo do século XX

O processo de mutações tecnológicas que se desencadeou a partir do século XVIII e se intensificou, particularmente, nas últimas décadas do século passado, engendrou a usina siderúrgica integrada - conjunto integrado de meios de trabalho para a fabricação do ferro-gusa, do aço e dos produtos laminados -, que constitui o instrumento por excelência da produção em massa na siderurgia. Esta "fileira clássica" (baseada na usina integrada) da moderna indústria do aço é, ainda nos dias de hoje, largamente dominante no plano mundial, e foi submetida, ao longo de nosso século, a um processo de renovação bastante intenso, através da introdução de importantes inovações. Paralelamente, outras técnicas foram desenvolvidas, permitindo a emergência de fileiras alternativas (14).

Este processo de renovação técnica teve como pano de fundo uma situação de considerável dinamismo da produção mundial de aço (ver Quadro no. II.1). O ritmo desta expansão foi, todavia, desigual ao longo desse período (15): após uma fase inicial de crescimento relativamente fraco no início do século, a produção se acelerou, sobretudo durante os anos 1920, sofrendo em seguida uma queda brutal em decor-

QUADRO No. II.1

PRODUÇÃO MUNDIAL DE AÇO BRUTO (1890 - 1980)

(em milhões de toneladas)

Anos	Produção	Anos	Produção
1890	12,48	1940	140,6
1900	28,3	1941	153,8
1901	31,0	1942	151,4
1902	34,5	1943	159,6
1903	36,1	1944	151,2
1904	36,3	1945	113,1
1905	44,9	1946	111,6
1906	51,2	1947	136,0
1907	53,0	1948	155,3
1908	41,4	1949	160,0
1909	54,2	1950	191,6
1910	60,3	1951	211,1
1911	60,5	1952	211,6
1912	72,8	1953	234,8
1913	76,4	1954	223,8
1914	60,4	1955	270,0
1915	66,6	1956	283,5
1916	78,2	1957	292,5
1917	82,0	1958	274,3
1918	77,2	1959	305,7
1919	58,5	1960	346,4
1920	72,5	1961	351,3
1921	45,2	1962	360,1
1922	68,8	1963	387,1
1923	78,3	1964	433,4
1924	78,5	1965	454,0
1925	90,4	1966	472,7
1926	93,4	1967	497,0
1927	101,8	1968	529,7
1928	110,0	1969	574,6
1929	120,8	1970	595,3
1930	95,1	1971	582,4
1931	69,6	1972	630,1
1932	50,7	1973	698,1
1933	68,0	1974	708,8
1934	82,4	1975	645,8
1935	99,5	1976	676,5
1936	124,3	1977	673,1
1937	135,7	1978	715,35
1938	110,0	1979	745,35
1939	137,1	1980	717,80

FONTE: E. DOURILLE (1981), p. 11.

rência da crise de 29. A recuperação só viria efetivamente com a corrida armamentista, nos anos que precederam e no decurso da Segunda guerra mundial. No pós-guerra, a indústria siderúrgica cresceu a um ritmo sustentado (as oscilações do nível da produção foram pouco importantes, a nível mundial), até a crise atual. Os últimos anos estiveram marcados pela ruptura do crescimento e pela instabilidade (bruscas flutuações do volume da produção), ao mesmo tempo.

Este crescimento do pós-guerra é explicado pela forte progressão do consumo de aço - total e per capita - verificada em praticamente todas as grandes regiões do mundo (ver Quadro no. II.2). No que concerne aos países capitalistas industrializados, este crescimento da demanda de aço inseriu-se no contexto da expansão do consumo de massa. Com efeito, a emergência e consolidação de regimes de acumulação intensiva no quadro do desenvolvimento do "fordismo", provocaram o crescimento do mercado para a siderurgia, no âmbito das economias centrais. Ressalte-se, em particular, o dinamismo da indústria de bens de consumo duráveis (automóveis, eletrodomésticos, etc.) e da construção civil, que gerou importantes efeitos de encadeamento sobre a produção de bens de equipamento. Mas não se deve tampouco esquecer (sem omitir, evidentemente, a corrida armamentista que cria um mercado sempre importante para o aço) o desencadeamento do processo de industrialização em diversos países, de vez que a siderurgia ocupa, invariavelmente, lugar central no processo de construção de uma base industrial (voltaremos mais adiante a essa questão).

Se é bem verdade que uma significativa renovação tecnológica associada à expansão da indústria, ocorreu, ao longo deste século (intensificando-se, como vimos, no pós-guerra), é necessário, no entanto, observar que as inovações introduzidas nesse período não representaram uma "revolução técnica, pelo menos da envergadura daquela re-

QUADRO No. II.2
CONSUMO DE AÇO SEGUNDO AS GRANDES REGIÕES MUNDIAIS - EM 1952 e 1974

	1952		1974		
Regiões ou Países	Quantidade em milhares toneladas	em kg per Capita	Quantidade em milhares toneladas	em %	em kg per Capita
América do Norte	88.413	502	159.778	22,6	680
Estados Unidos	81.225	515	144.120		690
Ásia	10.342	8	132.537	18,5	64
Japão	4.927	58	75.753		688
Europa Ocidental	57.347	175	160.163	23,5	399
C.E.E. (9 países)	47.343	228	128.011		492
Europa Oriental	45.083	162	188.862	26,5	528
URSS	33.448	179	137.551		545
América Latina	4.480	24	30.840	4,2	100
Brasil	1.257	23	12.799		165
Venezuela	545	101	2.734		235
México	941	34	6.112		105
África	3.156	15	12.967	1,7	37
África do Sul	1.753	121	6.494		232
Oriente Médio	853	11	10.987	1,5	96
Israel	166	103	1.114		337
Oceania	2.589	198	8.842	1,2	429
Austrália	2.292	263	7.483		561
Total Mundial	210.263	82	704.996	100	182

Fonte: E. DOURILLE (1981), p. 146

gistrada durante a segunda metade do século passado. Na verdade, os métodos de fabricação siderúrgica não sofreram transformações profundas em seus princípios básicos. Tal fato se revela concretamente, por exemplo, quando se constata que os grandes equipamentos que constituem o núcleo principal das diversas "fábricas" da usina siderúrgica integrada (os altos-fornos na produção de ferro-gusa, os convertedores e os fornos na aciaria, e os laminadores na laminação), embora tenham todos sido consideravelmente aperfeiçoados (e até mesmo, em certos casos, como no do convertedor, os aperfeiçoamentos tenham sido de grande importância), não foram transformados no tocante aos princípios fundamentais de funcionamento.

Foi, portanto, sobre uma base tecnológica que permaneceu estável nos seus fundamentos, que foram introduzidas as mudanças técnicas que provocaram, dentre outros efeitos interdependentes: aumento do tamanho dos equipamentos e das velocidades de fabricação, redução dos custos unitários de produção, aprimoramento da qualidade dos produtos, etc.

Acrescente-se a isto, o surgimento de inovações que abriram novas alternativas técnicas de produção, mas que não chegaram a ameaçar de forma significativa a hegemonia detida pela "fileira clássica" no seio da indústria. Como pano de fundo para este desenvolvimento tecnológico - principalmente no que se refere às técnicas mais recentes -, situam-se os progressos na via da automação da produção (introdução progressiva de dispositivos de regulação automática do fluxo produtivo).

2. A Tendência à Integração na Trajetória da Mudança Técnica

Do exame do desenvolvimento tecnológico na siderurgia, um traço característico destacou-se de forma bastante nítida: a procura, sempre renovada, de um certo equilíbrio - em termos de capacidades e

de tempos de fabricação - entre as diversas etapas do processo de produção. Esse fenômeno põe em evidência a necessidade de se assegurar uma certa "homogeneidade técnica" no âmbito do aparelho de produção integrado. Nesse sentido pode-se notar que a introdução de mudanças técnicas em um setor (provocando desta forma a ruptura do equilíbrio anteriormente existente), constitui um poderoso estímulo para a aceleração da inovação nos segmentos situados para frente e/ou para trás, no fluxo produtivo. É lícito, assim, afirmar que, grosso modo, os estímulos que incidem sobre o progresso técnico, partindo do sistema sócio-econômico em geral, em direção ao aparelho de produção (no caso em questão, trata-se essencialmente da usina integrada), tendem a transferir-se de um setor a outro, de modo a promover uma certa "coerência" da base técnica. Tal dinâmica traduz, aliás, o peso do imperativo de integração do fluxo produtivo (que constitui um dos aspectos cruciais da economia do tempo que prevalece neste tipo de processo de trabalho (16)), ao nível da trajetória da mudança técnica.

2.1. Estabilidade e mutações dos "sistemas técnicos" - o papel dos equilíbrios e das interdependências tecnológicas

De uma perspectiva mais global, a constatação da existência de uma tendência ao estabelecimento de um certo equilíbrio ou coerência no contexto do movimento geral do progresso técnico (a qual se encontra, de resto, frequentemente ligada à idéia da existência de uma interdependência ou complementaridade entre as diferentes inovações e estruturas técnicas existentes em dado momento) está presente em estudos recentes sobre a evolução histórica das técnicas. Tal visão está, por exemplo, inscrita na noção de sistema técnico sugerida por B. GILLE em um ensaio sobre a história das técnicas: "Isto quer dizer que, no limite e em regra muito geral, todas as técnicas são, em graus

diversos, dependentes umas das outras, e que é necesario que haja en-
 elas uma certa coerência: este conjunto de coerências nos diferentes
 níveis de todas as estruturas, de todos os complexos e de todas as
 fileiras, compõe o que podemos chamar de uma sistema técnico" (17).

Estes dois imperativos - interdependência e coerência
 entre as técnicas - constituem, como vimos, fatores estruturantes no
 âmbito de um sistema técnico que se estabiliza em determinado momento
 histórico. Por outro lado, tais tendências desempenham também um papel
 central na dinâmica das mutações técnicas, isto é, na evolução dos
 sistemas técnicos: "Com efeito, se - como tentamos demonstrar - todas
 as técnicas são solidárias umas das outras, caso se atinja um limite
 em um dado setor, isto pode bloquear todo um sistema técnico, isto é,
 bloqueá-lo em sua evolução geral" (18); e mais adiante, o autor
 observa, neste mesmo sentido, que: "É certo que a inovação responde,
 como é o caso também da própria invenção (e pelas mesmas razões), a
 exigências técnicas: restabelecer o equilíbrio destruído no interior
 de uma dada fileira, restabelecer ou estabelecer a coerência dentro de
 um sistema técnico, etc." (19).

Esta dinâmica de ruptura-restabelecimento do equilíbrio da
 base técnica no âmbito do conjunto ou - a um nível mais restrito - de
 um segmento do aparelho produtivo, enquanto um dos vetores da mudança
 técnica, já havia sido assinalada, diga-se de passagem, por S. KUZNETS
 em artigo publicado em 1929: "Technically a branch of production is a
 series of separate operations that lead in a invariable sequence from
 the raw material to the finished product. Once an important process in
 this chain is revolutionised by an invention, a pressure is exercised
 upon the other link of the chain to become more efficient. Any
 disparity in performance at the different stages precludes a full
 exploitation of the innovation just made. Many important inventions
 have come in response to this pressure" (20).

Convém, no entanto, ponderar que, se as considerações aqui feitas indicam que podemos detectar - até certo ponto - uma lógica "endógena" ao domínio da tecnologia, isto não significa, de forma alguma, que haja uma dinâmica "autônoma" das mutações técnicas. Lembremos (ver capítulo I, acima) que, na realidade, este processo se insere numa complexa rede de determinações que o vinculam ao movimento sócio-econômico global. Fato que, aliás, reconhece B. GILLE ao assinalar a existência de uma interação entre o "sistema técnico", de um lado, e o "sistema econômico" e o "sistema social", de outro (21).

Voltando à trajetória do desenvolvimento tecnológico no caso da siderurgia, podemos apontar vários exemplos de encadeamentos de inovações que corroboram as teses sustentadas pelos autores acima mencionados. Como já havíamos assinalado, o surgimento de novos métodos de fabricação do aço, na segunda metade do século XIX, abriu caminho à superação do obstáculo representado pelo desequilíbrio existente, até então, entre a tecnologia de redução do minério de ferro (notadamente, a difusão e os aperfeiçoamentos introduzidos na técnica dos AFs à coque, ao longo da primeira metade do século passado, possibilitaram uma rápida expansão da produção de ferro-gusa), de um lado, e a tecnologia de refino do ferro (que até então era pouco adaptada à produção em massa), de outro lado. A propagação dos processos Bessemer, Thomas e Siemens-Martin, ao restabelecer o equilíbrio entre os setores de redução e aciaria, abriu caminho para a expansão da indústria do aço (22).

No que se refere ao processo de renovação das normas de produção siderúrgica no decorrer do século XX, pode-se igualmente perceber, de forma bastante nítida, o papel do imperativo de integração do fluxo produtivo, a partir do exame do encadeamento das principais inovações técnicas. Este traço característico é enfatizado por Ph. ZARIFIAN: "Este rápido retrospecto da história das técnicas na

siderurgia (23), que levou à constituição da fileira da usina integrada, revela um certo número de características essenciais: a trajetória no sentido "do fim para o começo" (do fluxo de produção) mostra que existe uma necessidade muito forte de coordenação entre os diferentes aparelhos e setores de produção, tendendo à realização de uma transformação contínua da matéria, condição para um ganho de tempo de produção e para uma economia de capital circulante em proporções inéditas, em comparação com os métodos anteriores" (24).

De tal forma que, na origem desta trajetória das inovações, no sentido "do fim para o começo" do fluxo produtivo, no contexto da "fileira clássica", encontramos as mudanças nas técnicas de laminação e, em particular, o desenvolvimento dos trens laminadores de chapas grossas ("wide strip mills"), introduzidos inicialmente nos Estados Unidos, sobretudo a partir dos anos 1920, e, mais tarde, nos principais países produtores. As mudanças concentraram-se em seguida na aciaria, onde sobressai o desenvolvimento, nos anos 1950, da tecnologia de elaboração do aço em convertedores à oxigênio (considerada como a principal inovação do pós-guerra, na siderurgia), ao que se acrescentará, posteriormente, o desenvolvimento da técnica de "lingotamento contínuo". Os progressos obtidos na fabricação de aço bruto e de produtos laminados, em decorrência da difusão dos novos métodos, constituíram um forte estímulo ao progresso técnico na produção de ferro-gusa, o qual se traduzirá, particularmente, numa espetacular ampliação do tamanho dos AFs e numa sensível melhoria no desempenho deste equipamentos (o que se explica sobretudo pela difusão e aperfeiçoamentos verificados nas técnicas de preparação da carga dos AFs).

2.2 - As principais mudanças técnicas na usina siderúrgica integrada

Faremos aqui uma síntese das principais mudanças introduzidas na base técnica da "fileira clássica" da siderurgia, durante o presente século (25). Deve-se observar que a difusão destas inovações, ao nível mundial, revela uma tendência à homogeneização internacional das normas técnicas na indústria do aço (26).

A ordem adotada para essa exposição, seguirá a trajetória do progresso técnico durante esse período: "do final para o começo". Isto é, serão abordadas as principais mudanças técnicas que afetaram os grandes setores de fabricação, numa sequência inversa à do fluxo produtivo: da laminação para a produção de ferro-gusa.

2.2.1 - os progressos na laminação

No que concerne à laminação, os principais progressos técnicos consistem no desenvolvimento das técnicas de laminação em contínuo (os trens laminadores "contínuos") e na utilização crescente da informática (os laminadores automatizados), durante as últimas décadas (27).

No começo do século, até a Primeira guerra mundial, os laminadores "manuais" (ver acima) - herança do século passado - predominavam no plano mundial. As operações de carga/descarga e de regulagem dos cilindros do laminador serão progressivamente mecanizadas; o predomínio mundial deste laminador mecanizado perdurará até o final da Segunda guerra mundial.

A despeito dos progressos verificados na mecanização, este tipo de laminador não respondia, de maneira satisfatória, às necessidades criadas pelo crescimento da demanda de produtos laminados - sobretudo de produtos "planos" - verificada a partir dos anos 1910, e acentuada nos anos 20. Esta pressão da demanda manifestou-se de

forma mais vigorosa nos Estados Unidos devido, em particular, ao crescimento espetacular da indústria automobilística, em decorrência da revolução engendrada na produção pela implantação dos métodos fordistas (introdução da linha de montagem em 1913). Foi portanto neste país, durante a década de 1920, que foram difundidos os primeiros trens contínuos para a laminação a quente de produtos "planos" ("hot strip mill"), adaptados, em seguida, também à laminação a frio ("cold strip mill"). Porém, a verdadeira difusão do laminador contínuo em escala mundial, dar-se-á, somente após a Segunda guerra mundial. A introdução destes trens laminadores de chapas grossas constituiu, aliás, a principal inovação na siderurgia, durante o período do entre-guerras (28).

O emprego do laminador "contínuo" permitia um aumento considerável das velocidades de laminação e, ademais, reduzia as necessidades de reaquecimento dos semi-produtos, no decorrer do processo de laminação, entre os trens desbastadores e os trens acabadores (economia de energia e de tempo).

No pós-guerra, e paralelamente à difusão mundial do laminador contínuo, deve-se ressaltar a introdução progressiva da informática (controle da laminação por computador) nos equipamentos mais modernos. O laminador automatizado desenvolve as vantagens do sistema de laminação "em contínuo", notadamente no tocante à velocidade de fabricação, à confiabilidade do equipamento, às economias de mão-de-obra e energia, etc.

Além destes melhoramentos técnicos verificados no equipamento central do processo de laminação, podemos também assinalar numerosos aperfeiçoamentos introduzidos no instrumental auxiliar (fornos de aquecimento dos lingotes e semi-produtos, bobinadeiras, sistemas de resfriamento, dispositivos de controle de qualidade, etc.) e nos processos de tratamento dos produtos laminados (estanhagem, galvanização, zincagem, etc.).

2.2.2 - o processo LD (29)

Na aciaria (se considerarmos que esta etapa engloba não apenas o processo de refino do ferro, mas também o lingotamento) produziram-se profundas mudanças técnicas, sobretudo no pós-guerra. Os avanços tecnológicos mais notáveis consistiram no surgimento do convertedor a oxigênio puro (que se tornou o método dominante a nível mundial), nos progressos na técnica dos fornos elétricos (30), e no desenvolvimento do sistema de lingotamento contínuo (31).

O processo LD constitui, com certeza, a inovação mais importante introduzida neste século no setor da aciaria. A origem da idéia do refino do ferro com o emprego do oxigênio puro é bastante antiga; já por ocasião da descoberta do processo Bessemer (anos 1850-60), seu inventor considerava a possibilidade de utilização do oxigênio puro nos convertedores. Porém, o desenvolvimento desta tecnologia ficou bloqueado, e por muito tempo ainda, em virtude do elevado custo de produção do oxigênio puro, em quantidades industriais. Um método econômico de produção de oxigênio em grande escala (o processo Linde/Frankl) só será viabilizado no final dos anos 1920/início dos anos 30. Com o aparecimento desta inovação, os obstáculos técnicos existentes, até então, para o desenvolvimento da aciaria a oxigênio, foram praticamente removidos (32). A partir deste momento, várias tentativas foram feitas nessa direção. O primeiro ensaio bem sucedido de fabricação de aço a oxigênio, em escala experimental, foi realizado em Linz, na Austria, pela empresa VOEST-Alpine em 1949, e a experiência pioneira de operação deste método, em escala industrial, ocorreu na mesma usina em 1952. No ano seguinte, um convertedor análogo foi instalado na usina da VOEST, em Donawitz (donde a denominação "LD" = Linz e Donawitz). Em sua concepção original, o processo LD não era adaptado ao emprego de minérios de ferro com elevado teor de fósforo, o que dificultava sua difusão em diversas regiões. Esta restrição foi superada mediante

sucessivas adaptações da técnica à utilização daquele tipo de minério (processos LD/AC, OLP, etc.). A partir de sua invenção, a tecnologia da aciaria a oxigênio sofreu numerosos aperfeiçoamentos, os quais permitiram tanto a ampliação da capacidade de produção dos convertedores, quanto o aumento da flexibilidade do processo, adaptando-o ao emprego de diferentes tipos de matérias-primas e à elaboração de uma vasta gama de tipos de aço.

A difusão mundial do processo LD foi extremamente rápida (ver Quadro no. II.3). Esta técnica foi substituindo progressivamente os processos Bessemer/Thomas e Siemens-Martin, arrebatando a este último, durante a década de 1960, a supremacia mundial na produção de aço.

Tal rapidez na difusão se explica, sobretudo, pela clara superioridade do LD em comparação com os principais métodos utilizados à época (Bessemer/Thomas e Siemens-Martin). A introdução desta nova tecnologia representou a instauração de novas normas técnicas para a produção do aço, correspondendo, em particular, a uma elevação considerável da produtividade do trabalho. Com efeito, em confronto com as alternativas técnicas então existentes, o LD permitia uma forte economia de tempo: a duração do ciclo de elaboração do aço em convertedores a oxigênio é de 30 a 50 minutos, ao passo que no forno Siemens-Martin (o processo mais utilizado na época da introdução do LD) são necessárias de 4 a 8 horas; ao que se soma ainda a possibilidade de utilizar equipamentos com grande capacidade de produção (33). Tais progressos traduzem-se evidentemente, em custos unitários de produção significativamente mais baixos, tanto no que se refere ao custo de investimento (para instalações com capacidade análoga), quanto em relação aos custos operacionais (incluindo economia de mão-de-obra). A estas vantagens, podemos acrescentar outras no que concerne, por exemplo, a economia de energia (em relação ao forno Siemens-Martin), de material refratário, etc.

QUADRO No. II.3
PRODUCAO MUNDIAL DE ACO POR PROCESSO TECNICO - 1913-1978

(X)

Anos	Bessemer/Thomas	Siemens-Martin	Oxigênio	Elétrico	Diversos
1913	37,9	61,4	-	0,3	-
1937	18,4	77,3	-	4,2	-
1955	13,8	77,9	0,3	8,0	-
1960	11,8	71,8	4,1	11,0	1,3
1970	4,0	39,4	41,1	14,7	0,8
1974	1,8	30,9	50,3	16,9	0,2
1978	0,3	25,0	54,5	20,2	0,7

Fonte: F. YACHIR (org.) (1981), p. 34;
E. DOURILLE (1981), p. 72.

Tais características fazem dos convertedores a oxigênio um meio de trabalho perfeitamente adaptado às necessidades da produção em massa, e a custos reduzidos, de aço. No Quadro no. II.4, apresentamos os resultados de um estudo comparativo, realizado em 1962 (portanto na fase inicial da difusão do LD), entre este processo, o forno Siemens-Martin e o forno elétrico. Pode-se constatar que os custos monetários de produção por tonelada de aço eram menores para o LD, e que tal vantagem se verificava para todas as escalas de produção entre 100 mil toneladas e 1,5 milhões de tons. (Mt.) (o que neutralizava a eventual ocorrência de efeitos de escala diferenciados).

Porém, é necessário, evidentemente, relativizar este tipo de comparação genérica, que não leva em consideração as condições locais de produção. Diversos fatores de ordem econômica e social podem modificar tais resultados, quando se tem em vista a rentabilidade de investimentos industriais concretos. Dentre estes fatores econômicos, podemos destacar o papel dos preços relativos dos insumos (por exemplo: a relação entre o preço do minério de ferro e o preço da sucata) e a situação do mercado de produtos siderúrgicos. Neste sentido, é muito importante ter em conta a questão da flexibilidade de um processo técnico em, pelo menos, dois aspectos: no tocante às possibilidades de emprego de diferentes insumos (por exemplo: as proporções entre sucata e ferro-gusa que ele pode acomodar, os tipos de minério de ferro que se pode utilizar, ou a possibilidade de escolha entre diferentes fontes de energia), e a amplitude da gama de tipos de aço que se pode fabricar com bons resultados, em termos de qualidade. Quanto a este aspecto - de acordo com os resultados do estudo comparativo mencionado (ver Quadro no. II.5) - observa-se, primeiramente, que as técnicas de fornos (Siemens-Martin e elétricos) possuem uma clara vantagem quanto às possibilidades de utilização de sucata: os

QUADRO No. II.4
COMPARAÇÃO DE DIVERSOS PROCESSOS TÉCNICOS DE ACIARIA SEGUNDO
DIFERENTES CAPACIDADES PRODUTIVAS (dólares americanos ao preço de 1962
mil toneladas de lingotes)

Processos e elementos ! de custo	Produção anual de aço bruto						
	! 100	! 200	! 400	! 500	! 800	! 1000	! 1.500
Fornos Siemens-Martin							
. Custos salariais	8.07	6.98	4.10	3.73	3.28	3.08	2.56
. Custos Totais Di- retos	78.14	71.62	64.30	62.41	60.24	59.17	57.39
. Despesas de Capi- tal	6.74	6.24	5.34	4.80	3.86	3.37	2.75
. Custos Totais	84.88	77.86	69.64	67.21	64.10	62.54	60.14
Fornos Elétricos							
. Custos Salariais	6.50	5.23	3.06	2.78	2.42	2.26	1.97
. Custos Totais Di- retos	71.73	65.65	59.09	57.43	55.44	54.77	53.06
. Despesas de Capi- tal	5.78	5.34	4.73	4.26	3.54	3.21	2.71
. Custos Totais	77.51	70.99	63.82	61.69	58.98	57.98	55.77
Convertedores LD							
. Custos salariais	5.38	4.62	2.84	2.54	2.20	2.07	1.75
. Custos Totais Di- retos	71.09	64.31	58.20	56.61	54.12	53.00	51.38
. Despesas de Capi- tal	4.52	4.10	3.44	3.12	2.58	2.26	2.00
. Custos Totais	75.61	68.41	61.64	59.73	56.70	55.26	53.38

Fonte: G.S. MADDALA et P.T. KNIGHT (1967), p. 538.

QUADRO No. II.5
CARACTERISTICAS DE FLEXIBILIDADE DOS PROCESSOS TECNICOS DE ACIARIA

	! Fornos ! Siemens-Martin	! Fornos ! Elétricos	! LD e Métodos ! Derivados
Flexibilidade em relação à sucata (proporção pos- sível na carga)	20 - 80%	30 - 100%	0 - 30%
Flexibilidade em relação ao minério de ferro	qualquer tipo de minério	qualquer tipo de minério	qualquer tipo de minério
Flexibilidade quanto ao tipo de produto	aços carbono e vasta gama de ligas	quase to- dos os ti- pos de aço	todos os tipos de aço carbono e uma vasta ga- ma de ligas (com no máximo 5 a 6% de elementos de liga).

Fonte: G.S. MADDALA et P.T. KNIGHT (1967), p. 540.

QUADRO No. II.6
DIFUSÃO DE LINGOTEAMENTO CONTINUO DE 1955 a 1978

Anos	! Capacidade Mundial de Lingo- ! teamento Contínuo ! (em milhões de toneladas)	! Participação do lingoteamento ! Contínuo na produção mundial ! de Aço
1955	0,38	0,1%
1960	1,65	0,5%
1970	57,40	9,6%
1975	140,0	21,5%
1978	155,0 (produção)	26,2%

Fonte: E. DOURILLE (1981), p. 82.

fornos podem funcionar com uma carga de 100%, ou quase isso, de sucata, enquanto que nos convertedores, o gusa líquido deve constituir a principal componente da carga, ficando a proporção de sucata limitada ao teto de 30% (atualmente esse limite pode chegar até 40%). Segundo aspecto, os métodos examinados são igualmente flexíveis em relação aos tipos de minério de ferro, vale dizer, eles podem empregar (se necessário, através de algumas modificações nos processos) todos os tipos de minério. Quanto ao terceiro aspecto, a gama de produtos ("product flexibility"), a superioridade constatada, naquela época, das técnicas de fornos (adaptadas a uma maior variedade de tipos de aço, e permitindo obter uma qualidade melhor) sobre os convertedores a oxigênio (que, no início de sua difusão eram mais apropriados à produção em massa de tipos de aço para o consumo corrente), foi-se reduzindo progressivamente, em virtude dos aperfeiçoamentos introduzidos no LD (por exemplo, o controle informatizado do funcionamento dos convertedores, que aumenta a confiabilidade das instalações).

Tais elementos devem ser levados em consideração, ao lado dos aspectos referentes estritamente ao rendimento técnico que teoricamente se pode esperar, quando se trata da escolha de técnicas tendo, concretamente, em vista a implantação de unidades industriais, submetidas aos imperativos de rentabilização dos investimentos.

2.2.3 - o lingotamento contínuo

O terceiro grande avanço tecnológico no setor da aciaria (34), e uma das inovações mais importantes deste século no campo da siderurgia, consiste no desenvolvimento da tecnologia do lingotamento contínuo. Este método permite produzir, de modo contínuo, semi-produtos (placas, blocos, tarugos) a partir do aço bruto líquido.

A idéia do lingotamento contínuo remonta às primeiras décadas da segunda metade do século passado. Nesta época, H. Bessemer

concebeu uma máquina de lingotamento muito rudimentar e inadequada para a produção industrial. O método foi desenvolvido em escala industrial primeiramente (por volta dos anos 1920), para a produção de metais não-ferrosos (chumbo, ligas de cobre e de alumínio). As primeiras experiências, com relativo sucesso, na siderurgia datam dos anos 1930. Mas a efetiva difusão desta tecnologia só se iniciará nos anos 50. Seu emprego era então restrito quase que exclusivamente à elaboração de aços especiais em pequenas quantidades; aperfeiçoamentos introduzidos posteriormente permitiram a aceleração da velocidade de fabricação e a melhoria da qualidade da produção em grandes quantidades, tornando, assim, esta técnica adaptada também à produção em massa. As primeiras máquinas de lingotamento contínuo eram do tipo vertical, o que exigia instalações com uma altura considerável (mais de 20 m.); este problema foi atenuado com a introdução (por volta de 1965) de máquinas com lingoteiras curvas (em "S"), desenvolvidas pela firma CONCAST AG. Outras restrições ao emprego desta técnica foram sendo progressivamente eliminadas com a incorporação de numerosos aperfeiçoamentos: atualmente pode-se lingotar, nestas máquinas, quase todos os tipos de aço, e obter semi-produtos em todas as dimensões adequadas às etapas posteriores de laminação (aumento da flexibilidade do método em relação à gama de produtos).

O lingotamento contínuo substitui todas as operações que integram o ciclo do lingotamento convencional (solidificação em lingoteiras, "estripamento" dos lingotes, transporte dos mesmos para os fornos PITs de reaquecimento), e a primeira etapa da conformação do metal (reaquecimento dos lingotes nos fornos PITs, desbaste). Isto significa um ganho importante em termos econômicos, em comparação com os métodos substituídos; dentre as vantagens da nova tecnologia, resalta-se:

- redução do custo de investimento: os sistemas de lingotamento contínuo requerem, em geral (para capacidades de produção análogas), um investimento menor do que o necessário para o conjunto de equipamentos substituídos (lingoteiras, fornos de reaquecimento, laminador desbastador, etc.).
- redução dos custos operacionais: a diminuição do número de operações necessárias permite uma economia considerável de tempo de fabricação, de energia e de mão-de-obra.
- aumento do rendimento metálico (produção efetiva de metal em relação ao aço bruto empregado), em virtude da diminuição - de 12 a 15% aproximadamente - das perdas de metal (geração de sucata).

No que diz respeito à economia de tempo, cabe destacar que esta inovação ocupa um lugar exemplar em relação à trajetória do progresso técnico na siderurgia, a qual - como vimos - tende a reforçar a integração entre os diversos segmentos do processo de produção, aproximando-o, desta forma, sempre mais do fluxo contínuo. Efetivamente, a introdução do lingotamento contínuo provoca, senão a eliminação, pelo menos uma significativa redução em um dos principais pontos de descontinuidade existentes na produção (aumento da integração entre a aciarria e a laminação) (35).

A difusão mundial do lingotamento contínuo, a partir dos anos 60, foi extremamente rápida (ver Quadro no. II.6) e esteve ligada à expansão de todas as "fileiras técnicas" da indústria siderúrgica. Em virtude de sua superioridade técnica em relação ao processo de lingotamento convencional e de sua grande flexibilidade, a escolha do lingotamento contínuo vem se impondo, seja em se tratando da minisiderurgia (neste caso, esta tecnologia está frequentemente associada aos fornos elétricos), seja nos grandes complexos siderúrgicos (em geral, associada aos grandes convertedores a oxigênio).

2.2.4 - progressos na tecnologia dos altos-fornos

Na etapa da redução do minério de ferro para a fabricação do gusa, existem atualmente duas grandes alternativas tecnológicas: a técnica dos altos-fornos (integrante da "fileira clássica") e os processos de redução direta (que estão no centro de uma fileira técnica alternativa, como veremos abaixo). Entretanto, a despeito do desenvolvimento recente dos métodos de redução direta, o AF é ainda - e de longe - o equipamento fundamental nesta etapa do processo produtivo siderúrgico: ele representa, de fato, mais de 95% da capacidade instalada de redução, na atualidade.

Se é verdade que, no tocante ao princípio de base, a tecnologia dos AFs não sofreu transformações radicais no decorrer deste século (a concepção do equipamento e do processo de fabricação permanece inalterada em seus fundamentos), é forçoso, no entanto, constatar que esta tecnologia foi objeto de importantes desenvolvimentos. Tais progressos foram introduzidos sobretudo no pós-guerra, e suscitados, em boa medida, pela difusão das aciarias LD. Com efeito, a evolução da tecnologia dos AFs foi relativamente lenta durante a primeira metade do século. A partir dos anos 50, porém, a rápida difusão dos convertedores a oxigênio (que utilizam uma grande proporção de gusa líquido na carga) e a ampliação das capacidades de produção de aço, resultaram num importante crescimento da demanda de ferro-gusa, o que constituiu um forte estímulo para o desenvolvimento da tecnologia dos AFs.

Em resposta a esta expansão da demanda, as mudanças técnicas foram orientadas principalmente no sentido do aumento da quantidade produzida, procurando, ao mesmo tempo, reduzir o custo de produção do gusa. Tais resultados foram obtidos, em particular, através da ampliação das dimensões dos equipamentos e da elevação do rendimento das instalações (volume produzido/capacidade instalada) e das matérias-primas (baixa do consumo por tonelada de aço). No que concerne à ele-

vação do rendimento do equipamento, numerosos aperfeiçoamentos foram introduzidos, tanto na tecnologia propriamente dita, quanto nos métodos de operação dos AFs. Entre estes aperfeiçoamentos, podemos citar: melhorias no sistema de resfriamento e nos revestimentos refratários; adoção do funcionamento à contra-pressão elevada; injeção de combustíveis auxiliares (gás natural, óleo combustível, etc.); informatização crescente do controle do funcionamento dos AFs, etc.

Mas, os progressos mais importantes para a melhoria do rendimento do processo de produção nos AFs referem-se, sem dúvida, do desenvolvimento e generalização do emprego de técnicas de enriquecimento das matérias-primas (preparação da carga para os AFs), notadamente: os avanços na fabricação do coque (aperfeiçoamentos nas coquearias) e no tratamento prévio do minério de ferro (sobretudo, os processos de aglomeração e de pelotização).

Neste domínio da preparação do minério de ferro, convém destacar, primeiramente, o desenvolvimento das técnicas de pelotização. A produção mundial de "pellets", que era nula em 1955, atingiu 174 Mt. em 1975, sendo a metade dessa produção obtida através de processos contínuos (36). A produção e o consumo de aglomerados ("sinters") desempenham um papel ainda mais importante na indústria siderúrgica moderna, fazendo com que este método seja considerado, nos grandes países produtores de aço, como a principal técnica de preparação do minério de ferro. Em 1977, a produção total de aglomerados nos 3 principais países produtores (Japão, URSS e Estados Unidos) superava 380 Mt. (37); a produção mundial encontrava-se, à época, em rápida expansão. Quanto à tecnologia de aglomeração, a principal mudança introduzida consistiu na substituição, quase total, dos processos descontínuos (Greenwalt, HIB, Smidth) pelas linhas de produção contínua Dwight-Lloyd, método que recebeu, nas últimas décadas, vários melhoramentos técnicos.

Todos esses aperfeiçoamentos no desempenho dos AFs, que acabamos de assinalar, provocaram (sendo estes os resultados mais espetaculares) a ampliação das capacidades produtivas (ver próximo item) e a queda do consumo de coque (economia de energia), no decorrer do processo de redução (38). Portanto, os avanços obtidos no domínio das técnicas de redução do minério de ferro, vêm completar o ciclo de renovação tecnológica da "fileira clássica", no contexto da indústria siderúrgica.

3. A Tendência ao "Gigantismo"

(a importância das "economias de escala")

A tendência à ampliação do tamanho das instalações produtivas constitui um segundo traço característico importante - de resto, intimamente ligado ao imperativo de integração dos diferentes segmentos do processo - da evolução histórica desta indústria. Destaca-se com frequência o papel particularmente importante das chamadas "economias de escala" (39), como motor deste movimento em direção à expansão das capacidades de produção. As normas referentes à capacidade das instalações (normas de dimensão) ocupam, portanto, um lugar central no conjunto das normas técnicas de produção na siderurgia.

Com efeito, ao longo da história desta indústria, importantes esforços em matéria de desenvolvimento tecnológico foram orientados no sentido do aumento das dimensões dos equipamentos e da aceleração das velocidades de fabricação, do que resultou uma considerável ampliação da capacidade das unidades de produção, que faz da siderurgia, nesse aspecto, um caso notável dentro do conjunto do sistema industrial.

Para se ter uma idéia da importância desta tendência, basta examinar a evolução da capacidade produtiva dos principais equipamentos, em particular daqueles que constituem o núcleo central dos grandes setores da moderna usina integrada:

. Primeiramente, no tocante aos altos-fornos, a tecnologia da redução à base de coque - surgida no século XVIII - foi aperfeiçoada no decorrer do século passado (40), provocando uma expressiva elevação da capacidade dos equipamentos: no início do século passado, um AF produzia aproximadamente 30 toneladas/dia, ao passo que já no final daquele século, um grande AF podia atingir uma produção média de 500 tons./dias. Após um período de relativa estagnação durante a primeira metade do século XX, a tecnologia dos AFs conheceu um progresso intenso no pós-guerra, que se traduziu, em particular, num aumento espetacular da capacidade dos equipamentos - ver o quadro no. II.7. Hoje em dia, os AFs gigantes instalados nos grandes complexos siderúrgicos integrados, atingem a capacidade de mais de 10.000 tons./dia (o que corresponde, em termos anuais, a um potencial de produção de mais de 3 Mt. de gusa, para cada um destes aparelhos!) (41) (42).

. As grandes aciarias modernas equipadas com convertedores a oxigênio puro, atingem também capacidades impressionantes. Por um lado, as capacidades unitárias dos convertedores LD aumentaram sensivelmente: os primeiros equipamentos deste tipo possuíam uma capacidade de 30 a 80 toneladas de aço; hoje em dia, convertedores de 300 tons. são correntes, podendo mesmo alcançar mais de 400 tons. Por outro, os progressos verificados no controle do processo de refino através da introdução da informática (controle por computador do funcionamento das instalações, em tempo real), provocaram uma diminuição do tempo de elaboração do aço. Como resultado desses avanços, pode-se atingir atualmente, nas grandes aciarias dotadas, por exemplo, de 2 convertedores (esquema de

QUADRO No. II.7
EVOLUÇÃO DAS DIMENSÕES DOS ALTOS FORNOS (DE 1955 a 1970)

Anos	! Diâmetro do cadinho ! (em m.)	! Volume Util ! (em m3)	! Taxa Média de Produção (em tons./dia)
1955	8,5	1.280	1.500
1965	9,7	1.980	4.000
1970	12,2	2.830	6.000

Fonte: E. DOURILLE (1981), p. 66.

QUADRO No. II.8
CARACTERÍSTICAS DA PRODUÇÃO EM CONVERTEDORES A OXIGÊNIO (MARCHA CONTÍNUA, i.e. 2 CONVERTEDORES INSTALADOS)

Conteúdo em tons.	! Número de Corridas ! ! praticadas ("Clas- ! isicas" e as mais ! rápidas*)	! Duração da elabo- ! ração (de Corrida- ! a corrida)	! Produção ! ton./hora ! ! Mt/ano !
60 tons.	10.000 a 12.500	51 mn a 41 mn	70 a 87 0,6 a 0,75
200 tons.	10.000 a 12.500	51 mn a 41 mn	290 a 333 2,0 a 2,50
300 tons.	10.000 a 12.500	51 mn a 41 mn	350 a 435 3,0 a 3,75
400 tons.	10.000 a 12.500	51 mn a 41 mn	465 a 580 4,0 a 5,00

Fonte: D.A.F.S.A. (1980), p. 14

(*) por ano.

funcionamento contínuo) de 300 a 400 tons., uma capacidade anual de produção de 3 Mt. a 5Mt. (43) - ver o Quadro no. II.8.

. As máquinas de lingotamento contínuo, inicialmente utilizadas somente na produção em pequenas escalas, conheceram desenvolvimentos tecnológicos semelhantes - aceleração das velocidades de fabricação e ampliação do tamanho dos equipamentos - que tornaram este processo perfeitamente adaptado à produção em larga escala. De fato, a capacidade das máquinas de lingotamento contínuo que, há alguns anos atrás, mal chegava a 50.000 toneladas por mês, atinge atualmente a produção mensal de mais de 200.000 toneladas (44).

. Finalmente, no que se refere à laminação, a ampliação das capacidades de produção dos trens laminadores tem-se mostrado compatível com a evolução registrada nas outras etapas do processo siderúrgico integrado. Progressos notáveis foram obtidos, em particular no sentido da aceleração das velocidade de laminação, com o desenvolvimento da automação. Durante a primeira fase (primeira metade do século) do desenvolvimento das técnicas de fabricação de produtos laminados em grande escala, marcada sobretudo por inovações introduzidas na siderurgia norte-americana, ressalta-se, em especial, o desenvolvimento do trem "contínuo" para chapas grossas (ver acima).

Os maiores equipamentos deste tipo, instalados nos Estados Unidos no decorrer dos anos 30, alcançavam uma capacidade máxima de 900.000 tons. por ano (45). A evolução das capacidades produtivas nos últimos anos, foi considerável em diversos tipos de laminadores - ver o Quadro no. II.9 -; deve-se salientar, em particular, os progressos obtidos nos "trens desbastadores" ("blooming-slabbing") (46) e nos trens para chapas grossas, os quais atingem atualmente potencial de produção compatível com a capacidade das grandes aciarias e dos AFs gigantes.

QUADRO No. II.9
EVOLUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS LAMINADOS (DE 1960 a 1978)

Tipo de Laminador	Capacidade Máxima (em Mt/ano)	
	1960	1978
Blooming-Slabbing	1,5	6,0
Trens contínuos para tarugos		2,0
Trens para perfis pesados	0,4	1,2
Trens para perfis médios		1,7
Trens para perfis leves		0,8
Trens para fio-máquina	0,35	1,0
Trens para chapas grossas	2,30	5,5 - 6,0
Trens para chapas laminadas a frio		2,5

Fonte: D.A.F.S.A. (1980), p. 16.

QUADRO No. II.10
PARTICIPAÇÃO DOS PRODUTOS PLANOS NO TOTAL DA PRODUÇÃO DE LAMINADOS

Em %	1960	1970	1974	1978
Europa Ocidental	41,80	47,50	48,90	50,30
onde: C.E.E.	42,50	48,90	50,00	50,50
Europa Oriental	32,50	38,70	40,70	41,90
onde: URSS	33,00	39,00	40,00	42,20
Estados Unidos	65,40	60,70	63,10	64,20
Japão	52,30	62,00	63,00	59,70
Mundo	42,00	47,30	48,60	50,30

Fonte: D.A.F.S.A. (1980), p. 35.

A esta expansão das escalas de produção engendrada por progressos nos processos tecnológicos, deve-se acrescentar os casos de ampliação das capacidades produtivas suscitada por mudanças técnicas realizadas no interior das unidades de produção, as quais não requerem, em geral, investimentos pesados em capital fixo (trata-se, portanto, sobretudo, de progressos técnicos "não-incorporados" nos equipamentos originais). A importância destas modalidades "endógenas" ou "localizadas" de mudança técnica foi ressaltada, particularmente, em dois estudos de caso realizados em usinas siderúrgicas na América Latina: um na usina de Rosário (Argentina) da ACINDAR S.A. (ver Ph. MAXWELL (1977)); e o outro na USIMINAS (ver C.J. DAHLMAN (1978) e o capítulo V do presente trabalho) (47).

Os desenvolvimentos relativos às normas de dimensão dos principais processos técnicos da "fileira clássica", se refletem, evidentemente, no tamanho das usinas siderúrgicas integradas: "O tamanho médio dos complexos siderúrgicos evoluiu, assim, de 600.000 toneladas, nos anos 1950, para 2 milhões de toneladas, e para mais de 5 milhões de toneladas em 1975 !" (48). As maiores plantas em funcionamento na siderurgia mundial contemporânea, chegam até mesmo a superar a capacidade de 10 Mt./ano (49).

Se, como vimos, é possível estabelecer de maneira bastante clara o carácter dominante da tendência ao "gigantismo" na siderurgia, tal tendência, no entanto, não deve ser considerada como sendo única e exclusiva. Como veremos a seguir, no curso das últimas décadas surgiram alternativas técnicas adaptadas à produção em pequenas e médias escalas. O que não impede, todavia, que, mesmo no caso destas tecnologias alternativas, se possa detectar uma certa evolução no sentido da ampliação do tamanho das instalações. Efetivamente, no que se refere, por exemplo, à redução direta, as primeiras instalações deste tipo não chegavam a atingir uma capacidade de 200.000 tons./ano; hoje em dia

são implantados módulos de redução direta que chegam a 600.000/700.000 tons. anuais. Fenômeno análogo se verificou em relação aos fornos elétricos, que atingem dimensões muito maiores do que no passado. Até mesmo o tamanho médio das chamadas "mini-plantas" (ver abaixo) elevou-se nos últimos anos.

A forte tendência à concentração técnica da produção, corresponde uma considerável centralização do capital produtivo (50) (a qual remonta, aliás, aos primórdios da grande indústria siderúrgica). Em bom número de países, este movimento de concentração encontra-se estreitamente ligado a uma importante intervenção dos Estados nacionais neste ramo industrial. Esta intervenção estatal - que se intensificou particularmente a partir do final da Segunda guerra mundial - materializa-se de formas diferentes, mas, em especial, através de participação direta nas atividades produtivas (voltaremos a esse ponto mais adiante).

Como foi assinalado no início, a tendência ao gigantismo explica-se, ao menos em parte, pela importância das "economias de escala", isto é, pela redução dos custos unitários de produção (em termos de capital e de trabalho), decorrente da expansão da escala das atividades produtivas. Com efeito, em termos, por exemplo, de custos de investimento (montante de capital necessário por ton. de capacidade instalada), observa-se que: "Processo de AF + aciaria a oxigênio: o efeito de dimensão (ou "economias de escala") é sensível. Se, a uma instalação de 5 milhões de tons. por ano, atribui-se o índice 100, teremos os seguintes índices para capacidades de produção inferiores: 3 Mt/ano = 110; 2 Mt/ano = 115; 1 Mt/ano = 129; 0,5 Mt/ano = 155; 0,3 Mt/ano = 180 e 0,2 Mt/ano = 213. Estes números são bastante eloquentes para explicar a preferência por centros de produção cada vez mais importantes" (51). Os efeitos de dimensão são igualmente consideráveis no tocante às economias de mão-de-obra, como mostram

estes dados sobre os efetivos necessários segundo a capacidade de
 produção (em milhões de tons.) (52):

Capacidade:	1 Mt	2 Mt	3 Mt	4 Mt	5 Mt	6 Mt
Efetivos:	10.000	14.000	17.000	16.000	18.500	19.800

A opção pela via da construção de grandes complexos integrados implica, contudo, na necessidade de pesados investimentos em capital fixo (53), o que não deixa de acarretar alguns problemas, problemas estes que se viram, de resto, sensivelmente acentuados no atual contexto de crise grave da siderurgia (54). "Pode-se afirmar que o princípio das economias de escala, apesar de haver permitido uma redução dos custos unitários de produção em um período de forte crescimento da demanda, conduziu à construção de sistemas de produção que requerem uma imobilização de capital de tal monta, que jamais se logrou rentabilizar tais investimentos. Isto já era verdadeiro durante o período de crescimento; esta situação se tornou flagrante a partir de 1975" (55).

De sorte que, segundo este autor, o impacto da crise atual sobre a siderurgia, contribuiu de forma decisiva para colocar em evidência os limites do princípio das economias de escala; tais limites se manifestam sob diferentes aspectos (56). Em primeiro lugar, a rentabilização dos investimentos em grandes complexos requer taxas elevadas de utilização da capacidade instalada. Nos últimos anos, entretanto, a retratação da demanda de aço provocou o aparecimento de capacidade ociosa em praticamente todas as regiões do mundo. Além do mais, um período de tempo considerável tem se revelado necessário para colocar em operação, e controlar efetivamente, a produção no âmbito destas usinas gigantes: "Os prazos de ajustamento do funcionamento dos complexos siderúrgicos revelaram-se da ordem de três ou quatro anos, o que hipoteca amplamente as vantagens teoricamente esperadas" (57).

Acrescente-se a isso, que as dificuldades de controle do funcionamento destes complexos não se colocam apenas na fase inicial; o andamento regular da produção exige, de forma permanente, "uma mobilização dos conhecimentos e vínculos entre os trabalhadores, que são inteiramente inéditos".

Diante de tais restrições às vantagens que se poderia esperar da aplicação do princípio da economias de escala na siderurgia, não é surpreendente que se assista, nos últimos anos, a um surto de alternativas produtivas mais "flexíveis" (notadamente, aquelas adaptadas à produção em escalas mais reduzidas) (58). O que parece indicar a busca de adaptação a uma conjuntura marcada por bruscas flutuações da demanda de aço, e pela existência de importantes capacidades ociosas ao nível mundial (59).

4. Linhas de Produção e "Fileiras Técnicas"

As tendências à integração do fluxo produtivo e à ampliação da capacidade das instalações - que examinamos acima -, estão portanto no centro de um processo de homogeneização das normas de produção. Embora estas tendências sejam claramente dominantes no plano da evolução global da siderurgia, não se deve, contudo, considerá-las como tendências exclusivas. Com efeito, outros desenvolvimentos importantes - e simultâneos - direcionam a evolução desta indústria predominantemente no sentido do estabelecimento de uma certa diferenciação das normas e das estruturas de produção. Examinaremos, em primeiro lugar os processos de diversificação das possibilidades ao nível dos produtos (as "linhas" de produção) e da tecnologia de fabricação (as "filerias técnicas"). Estes processos abrem caminhos alternativos tanto em relação ao movimento no sentido da integração do fluxo (é o caso, em particular, da "fileira não-integrada"), quanto no que se

refere à elevação das capacidades produtivas (por exemplo, o desenvolvimento de técnicas adaptadas a pequenas e médias escalas, ligadas ao surto das "mini-usinas").

4.1 - A diferenciação dos produtos e dos mercados

No que concerne à gama de produtos laminados, é usual dividir-se a indústria siderúrgica em duas grandes "linhas" de produção: a de produtos "planos" e a de produtos "não-planos" (60).

A evolução da estrutura da demanda no pós-guerra, determinou um crescimento mais acelerado dos aços "planos" em relação aos aços "não-planos", o que se traduziu num aumento do peso daquele tipo de produtos siderúrgicos na estrutura produtiva do ramo ao nível mundial (ver o Quadro no. II.10). O predomínio dos produtos "planos" tende, de resto, a ser mais acentuado nos países mais desenvolvidos, onde o modo de desenvolvimento industrial do pós-guerra - notadamente em um contexto de regimes de acumulação marcados pela hegemonia do "fordismo" - tendeu a reforçar o dinamismo de setores que consomem maciçamente este tipo de produtos siderúrgicos.

O peso dos diferentes ramos industriais na composição do mercado para o aço varia, evidentemente, em função do nível de desenvolvimento econômico do país. De uma maneira geral, os principais ramos consumidores são: construção civil e construção metálica, automóvel e outros transportes (material ferroviário, construção naval, etc.), construção mecânica, máquinas elétricas, etc. Nota-se, porém, que - grosso modo - o peso dos ramos da construção mecânica (automóvel e outros transportes, construção elétrica e eletro-mecânica, etc.) tende a ser maior nos países mais industrializados, enquanto que a parte da construção civil na demanda de produtos siderúrgicos é, em geral, mais importante nos países subdesenvolvidos (61). Tal fato

corroborar, aliás, a observação feita a respeito da presença mais intensa dos aços "planos" na estrutura produtiva do ramo, no caso das economias desenvolvidas; enquanto que, no segundo grupo de países, o peso dos produtos "não-planos" tende a ser proporcionalmente maior (62).

4.2 - As "fileiras técnicas"

Convém, antes de mais nada, precisar o que designamos aqui como "fileira técnica". Tal precisão torna-se ainda mais oportuna, quando se tem em conta o fato de que o desenvolvimento recente das análises em termos de "fileiras", no campo da economia industrial, deu lugar a uma considerável variedade de definições e, portanto, de utilizações desta noção (63).

Neste sentido, é necessário, em primeiro lugar, assinalar que se trata de fileiras técnicas, ou seja, que retemos aqui apenas uma dentre as várias dimensões (ou "inflexões conceituais" (64)) possíveis desta noção. Observe-se, em seguida, que a utilização que fazemos desta noção é próxima daquela proposta por B.GILLE: "As fileiras técnicas constituem sequências de conjuntos técnicos destinados a fornecer o produto desejado, cuja fabricação se faz, com muita frequência, em muitas etapas sucessivas" (65). Esta mesma idéia está presente na definição sugerida por P. GARROUSTE: "Uma fileira técnica é um conjunto de processos técnicos, cuja aplicação permite fabricar um determinado produto. É possível definir a estrutura e a função de uma fileira técnica. A estrutura de uma fileira técnica é o conjunto das relações existentes entre os processos técnicos desta fileira" (66). Em nosso caso, entretanto, a ênfase estará posta nas diferentes alternativas tecnológicas de produção (apreendidas em termos de encadeamentos possíveis de processos técnicos) existentes no interior de um determinado ramo industrial.

Isto posto, podemos detectar, no interior da indústria siderúrgica, três esquemas alternativos para a elaboração do aço. Estas fileiras técnicas definem-se, principalmente, em relação às escolhas realizadas no tocante à redução do minério de ferro (o que pode comportar inclusive a ausência dessa etapa da fabricação, como no caso das usinas não-integradas que empregam sucata), mas também em relação ao processo técnico adotado para a aciaria.

a) a "fileira clássica" (também conhecida como "processo longo")

Esta fileira, baseada no AF. como equipamento central para a produção do ferro-gusa e em métodos de aciaria e de laminação adaptados à produção em massa, é - como já assinalamos - dominante no plano mundial. O coque é, de longe, o principal combustível/redutor empregado nos AFs. A siderurgia a carvão vegetal constitui portanto uma "sub-fileira" (ou "fileira" diferente) muito marginal em termos de produção mundial, e sua existência limita-se praticamente a algumas regiões do terceiro-mundo dotadas de recursos florestais abundantes e pobres em carvão metalúrgico (neste sentido, ela pode ser considerada como uma "tecnologia apropriada" (67)).

Esquema da "fileira clássica"

	-----		-----		-----	
	! A.F. !	! ACIARIA !	! !			
MATERIAS	! A coque ou !	! Convertedores! !LAMINADORES!				Produtos
PRIMAS	!carvão vegetal!	! ou fornos !	! !			Laminados
	-----	-----	-----			

A usina integrada constitui o suporte de produção típico desta fileira. Na aciaria, podem ser utilizadas as tecnologias de convertedor (Bessemer, Thomas, LD) ou os fornos Siemens-Martin ou elétrico; atualmente, os convertedores à oxigênio (processos LD) predominam

sobretudo nas usinas maiores e mais produtivas. O lingotamento convencional do aço em lingoteiras está sendo gradualmente substituído pelas máquinas de lingotamento contínuo (68).

No atual estágio do desenvolvimento tecnológico da "fileira clássica", a imagem da usina siderúrgica integrada moderna, corresponde - quanto aos processos de base utilizados - ao seguinte encadeamento: grandes AFs - aciarias à oxigênio - lingotamento contínuo - laminação a altas velocidades (a quente e a frio) (69).

b) a "fileira redução direta"

Como sua denominação já indica, esta fileira é caracterizada pelo emprego dos processos de redução direta (RD) do minério de ferro (que examinaremos mais detalhadamente a seguir), em lugar dos AFs.

Esquema da "fileira RD"

MATERIAS	! PROCESSOS !	! ACIARIA !	! LAMINADORES !	PRODUTOS
PRIMAS	! DE "RD" !	! ELETRICA !	! !	LAMINADOS

Da mesma forma que a "fileira clássica", a RD está, em geral, baseada na usina integrada, porém a escala média de produção é consideravelmente inferior àquela registrada na fileira precedente. Na maior parte destas usinas, adota-se os fornos elétricos a arco para a elaboração do aço a partir do mineral pré-reduzido ("esponja de ferro", principalmente).

c) a "fileira semi-integrada"

Nesta terceira alternativa, há supressão da etapa de redução (produção de gusa ou de "ferro-esponja"). Para fabricar o aço a partir da sucata, utiliza-se geralmente o forno elétrico a arco.

Esquema da usina semi-integrada

SUCATA	----- !ACIARIA ELETRICA! -----	----- !LAMINADORES! -----	PRODUTOS LAMINADOS (em geral, "não-planos")
--------	--------------------------------------	---------------------------------	--

Estas usinas semi-integradas, geralmente de pequena dimensão ("mini-usinas" (70)), em comparação com os complexos siderúrgicos integrados, empregam cada vez mais o lingotamento contínuo, e são especializadas principalmente em produtos não-planos.

Estas três fileiras técnicas apresentam, em razão de seus diferentes conteúdos tecnológicos, características econômicas particulares, que são determinadas notadamente por: diferentes possibilidades quanto à utilização de matérias-primas (minério de ferro, sucata, carvão/coque, eletricidade, gás natural, etc.); flexibilidade do "mix" de produtos intermediários (gama de tipos de aço bruto) e acabados (gama de produtos laminados); rendimento obtido segundo as diferentes escalas de produção, etc. Tais características condicionam as possibilidades econômicas de adaptação destas fileiras às condições de produção dos países ou regiões: dotação em recursos naturais, densidade e configuração da estrutura industrial, capacidade de mobilização de mão-de-obra qualificada, acesso às tecnologias de ponta, disponibilidade de capitais, etc. Elas determinam, por outro lado, certas especificidades quanto às condições de elevação da produtividade e de rentabilização dos investimentos (em particular, as questões - já levantadas anteriormente - das economias de escala e da flexibilidade dos aparelhos produtivos).

4.3 - Os processos técnicos "alternativos"

Os fornos elétricos e os métodos de redução direta constituem as duas principais alternativas tecnológicas para os processos atualmente dominantes nos setores de aciaria (ou seja, os convertedo-

res a oxigênio) e de redução do minério de ferro (isto é, os AFs a coque). Estas tecnologias encontram-se, por conseguinte, no coração das fileiras técnicas alternativas à "fileira clássica".

4.3.1 - a aciaria elétrica

Existem dois métodos básicos para a elaboração do aço em fornos elétricos (71):

- a técnica de indução cujo emprego é muito restrito (custo de produção elevado), sendo reservada quase que exclusivamente à fabricação de aços de alta qualidade;
- os fornos elétricos a arco que têm uma utilização muito mais ampla.

Esta técnica surgiu no final do século XIX/início do século XX, sendo que, nos primeiros tempos, foi destinada sobretudo à elaboração de aços especiais em pequenas quantidades. Sua difusão permaneceu muito restrita até o final dos anos 1960. Somente a partir desta data, em consequência do desenvolvimento dos fornos elétricos a arco com alta potência (UHP = Ultra High Power), é que ocorreu uma aceleração da propagação desta tecnologia. Tal inovação permitiu uma diminuição da duração do processo de refino em fornos elétricos (72), o que - combinado ao aumento do tamanho destes equipamentos (73) tornou esta técnica adaptada também à produção em massa.

Devido a suas características técnicas, o forno elétrico constitui um instrumento de trabalho de notável flexibilidade (ver o Quadro no. II.5, acima), adaptável a uma grande diversidade de condições de produção. Dentre estas características, podemos ressaltar:

- . a flexibilidade em relação aos insumos: o forno elétrico pode operar economicamente com ferro-gusa (sólido ou líquido), sucata ou até mesmo "ferro-esponja", em proporções bastante elásticas (ele pode funcionar, por exemplo, com 100% de sucata). Acrescente-se a esta vantagem a

utilização da energia elétrica (cujo preço vem conhecendo uma tendência global decrescente no decorrer deste século) como principal fonte de energia.

- . a flexibilidade em relação à escala de produção: os fornos elétricos adaptam-se tanto às pequenas e médias escalas (estes equipamentos são particularmente utilizados em "mini-plantas"), quanto às grandes escalas de produção.

- . a flexibilidade em relação aos "outputs": pode-se, igualmente, produzir com estes equipamentos, uma ampla variedade de tipos de aço, dos aços comuns aos aços especiais.

Com tais características, os fornos elétricos podem, em determinadas situações, concorrer vantajosamente com os convertedores. Alguns fatores favorecem, em particular, a escolha deste método; por exemplo:

- . a disponibilidade (e o baixo preço relativo) de sucata e de energia elétrica.

- . devido às amplas possibilidades de utilização de ferro-esponja, os fatores que determinam a escolha das técnicas de redução direta (ver em seguida) favorecem também a adoção do forno elétrico.

- . as condições de mercado que tornam desejável uma grande capacidade (e rapidez) de adaptação às flutuações da demanda de produtos siderúrgicos (tanto do ponto de vista do volume quanto da composição desta demanda).

Nas últimas décadas, esta tecnologia vem conhecendo uma considerável difusão e vem se tornando o segundo processo de aciaria mais empregado mundialmente, ocupando assim, progressivamente, o lugar do processo Siemens-Martin como principal técnica de elaboração de aço em fornos (ver o Quadro no. II.3, acima).

4.3.2 - a redução direta (RD)

A tecnologia de RD concerne aos processos de redução do minério de ferro que não utilizam AF. O minério é transformado diretamente em "esponja de ferro" (minério pré-reduzido) pela ação de agentes redutores gasosos ou sólidos (gás natural, óleo combustível, carvão de qualidade inferior, etc.) que não o coque, permitindo, dessa forma, evitar o estágio do gusa líquido nas usinas integradas. O desenvolvimento desta tecnologia é bastante recente e sua participação na produção siderúrgica mundial ainda pequena (74), embora ela tenha conhecido uma difusão bastante rápida (especialmente no terceiro-mundo) nos últimos tempos. De fato, a capacidade total de produção das instalações de RD, que era da ordem de 560.000 t./ano em 1960, já havia alcançado 23 Mt./ano em 1978, comparada a uma produção mundial de gusa de 496 Mt. neste último ano, e a um consumo de sucata pelos 3 principais países produtores siderúrgicos (Japão, URSS e Estados Unidos), de cerca de 170 Mt. em 1977.

A idéia da redução direta do minério de ferro é bastante antiga, sendo que desde 1800 já se registrou a invenção de mais de 300 processos de RD. Contudo, só recentemente conseguiu-se colocar efetivamente em operação, em escala industrial, instalações deste tipo. A usina considerada como pioneira na produção de ferro-esponja sem utilização de coque, é a planta da HYLSA em Monterrey/México (1957), a qual empregava o processo HYL (75).

Existem, na atualidade, 4 tipos de processos de RD (76):

i) à alimentação progressiva e forno giratório (processos principais: SL-RN, Krupp, Kawasaki) - utiliza gás natural, gás de coqueria, óleo combustível ou carvões não-coqueificáveis;

ii) à alimentação descontínua e leitos fixos (HYL) - utiliza redutores gasosos (gás natural, gás de coqueria ou hidrogênio), e a capacidade unitária de produção pode atingir 700.000 t./ano;

iii) à alimentação progressiva e forno vertical (Midrex, Purofer, Armco) - utiliza gás natural, de coqueria ou proveniente da gaseificação de óleo combustível ou de carvão, os "módulos" de produção podem chegar a uma capacidade de 600.000 t./ano;

iv) à alimentação progressiva e leitos fluidificados (FIOR, HIB) - de utilização industrial ainda muito limitada, este método coloca certos problemas técnicos.

Os processos mais difundidos em 1980 eram (participação na produção mundial): Midrex (53%), HYL (25,5%), SL-RN (5%), Armco (3,5%) e HIB (3%); os demais métodos eram muito pouco empregados (77).

Dois aspectos devem ser ressaltados no tocante à evolução técnica destes processos: a diversificação das fontes de energia utilizáveis (atualmente, as instalações à base de gás - principalmente o gás natural - são amplamente predominantes) e o aumento das capacidades unitárias de produção. Quanto a este último aspecto, deve-se entretanto frisar que, a despeito da elevação das capacidades dos módulos de RD (que atingem atualmente 600.000/700.000 t./ano), eles ainda estão bastante abaixo das capacidades dos AFs gigantes em operação. A solução possível tendo em vista a utilização deste processo nas grandes usinas integradas, consiste na justaposição de vários módulos (78). No que concerne à integração para frente, as possibilidades de combinação com os fornos elétricos, são bastante amplas, mas muito limitadas em se tratando de convertedores LD (79). Com efeito, cerca de 90% da produção de ferro-esponja são destinados às aciarias elétricas.

Tendo em conta estas características técnicas, é possível indicar os principais fatores econômicos que podem conduzir à escolha da técnica da RD (80):

- a escassez e/ou preço elevado da sucata (sobretudo a de boa qualidade (81));
- o investimento inicial em capital fixo é menor para uma instalação de RD do que para um complexo coqueria/AF com capacidade de produção equivalente;
- a escassez e/ou preço elevado de carvão metalúrgico;
- a adaptabilidade da tecnologia de RD à produção em pequenas e médias escalas pode tornar essa escolha interessante no caso de países que decidem iniciar a implantação de uma indústria siderúrgica com o objetivo de abastecer um mercado interno de dimensões modestas;
- a abundância de certos recursos naturais (gás natural, por exemplo), o que pode tornar vantajosa a introdução dessa tecnologia com vistas à produção para o mercado interno e/ou para exportação (82).

Estes elementos fazem da "fileira RD" uma alternativa tecnológica singularmente apropriada às condições de produção de um bom número de países subdesenvolvidos (notadamente: escassez de carvão metalúrgico e baixo nível de industrialização da maior parte deles, o que, de um lado, reduz a disponibilidade de sucata e, de outro, recomenda tecnologias com bom desempenho em pequenas ou médias escalas de produção) e, em especial, àqueles dotados de abundantes recursos energéticos (hidrocarbonatos, por exemplo). Isto explica a considerável difusão deste processo em regiões menos desenvolvidas - ver o Quadro no. II.11. Note-se que, em 1980, a América Latina, o Oriente Médio e a África, reunidos, concentravam mais de 53% da capacidade de produção mundial de RD. Este dado torna-se ainda mais eloquente se levarmos em conta que a participação destas regiões na produção mundial de aço era de apenas 6% na mesma época.

QUADRO No. II.11
DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DAS CAPACIDADES DE REDUÇÃO DIRETA

A) (em milhares de toneladas/ano)

Anos	! América do ! Norte	! América ! Latina	! Europa ! Oriental	! Europa ! Ocidental	! Oriente Médio e ! África do Norte	! Resto da ! África	! Sudeste ! Asiático	Total
1960	65	225	-	260	-	-	10	560
1970	465	735	-	410	-	480	235	2.325
1976	2.870	5.270	-	820	1.530	870	1.670	13.030
1978	2.870	7.790	2.600	1.620	4.030	870	3.070	22.850
1980	4.070	10.190	5.000	3.720	7.230	1.120	3.470	34.800

B) em %

1960	11,60	40,20	-	46,40	-	-	1,80	100
1970	20,00	31,60	-	17,60	-	20,60	10,10	100
1976	22,00	40,40	-	6,30	11,70	6,70	12,80	100
1978	12,60	34,10	11,40	7,10	17,60	3,80	13,40	100
1980	11,70	29,30	14,40	10,70	20,80	3,20	10,00	100

Fonte: C.E.E. (1979), p. 12.

Tal observação coloca, portanto, em evidência o fato de que o processo de diferenciação tecnológica no seio da siderurgia - notadamente, a emergência de processos e fileiras técnicas alternativas - está ligado a um movimento de diversificação do espaço siderúrgico que vem se processando durante as últimas décadas (e que examinaremos a seguir). Efetivamente, estas alternativas técnicas oferecem aos novos países produtores de aço, opções que podem se mostrar - como acabamos de ver - mais adequadas às condições locais, em termos de capacidades de produção em relação ao tamanho do mercado local, de disponibilidade de recursos naturais, ou de outras condições sócio-econômicas.

5. As Mutações do Espaço Siderúrgico

A evolução histórica da indústria siderúrgica apresenta uma dimensão espacial cuja importância não deve ser negligenciada. Esta evolução engendrou, em especial, uma diversificação do espaço geográfico de produção. Tal diversificação compreende diversos aspectos interdependentes, que vão da localização das unidades produtivas (o que poderíamos chamar de "micro-localização") ao movimento de internacionalização da indústria (ou "macro-localização") : mudanças na hierarquia das siderurgias nacionais (notadamente, deslocamento da hegemonia), emergência de novos países produtores, etc.

5.1 - As estratégias de localização das unidades produtivas

A este respeito, B. STORA aponta o que ele chama de principais "componentes do espaço estratégico das empresas siderúrgicas" (83):

- as regiões carboníferas
- as regiões onde existem jazidas de ferro

- os entrocamentos interiores (seja perto dos mercados, seja no entrocamento das principais vias internas de transporte - navegação fluvial, estradas de ferro, etc.)
- as zonas litorâneas. O autor distingue dois tipos de implantações litorâneas: as zonas próximas aos portos de embarque das principais matérias-primas, e a "siderurgia sobre a água stricto sensu", a qual se situa "em um ponto de convergência das rotas marítimas de produtos brutos, nas proximidades dos mercados de consumo ou de um local de re-expedição de produtos siderúrgicos" (84).

No que se refere à concentração da produção, a importância relativa dos diferentes tipos de região mudou ao longo do tempo, em função das estratégias das empresas relativamente à localização dos centros de produção. Em uma primeira fase, a estratégia de implantação privilegiava a proximidade das fontes das principais matérias-primas. De tal forma que as primeiras regiões de concentração da siderurgia foram aquelas onde havia abundância de recursos florestais (em razão, evidentemente, do emprego do carvão vegetal como agente redutor) e de minério de ferro de fácil exploração. O desenvolvimento da siderurgia à base de coque - a partir do final do século XVIII - trouxe uma modificação na localização destas atividades, as quais tenderam cada vez mais a se concentrar nas proximidades das grandes jazidas de carvão metalúrgico e - em menor proporção - das zonas ferríferas dos principais países produtores. Tal escolha dos locais de produção estava associada a uma nítida orientação estratégica no sentido da integração vertical "para trás" (em particular, o controle das fontes de matérias-primas) colocada em prática por estas empresas desde os primórdios da grande siderurgia.

Após esta fase inicial, a estratégia dominante mudou progressivamente de orientação. Verificou-se, efetivamente, um "deslocamento lento e progressivo do espaço siderúrgico, a partir do

começo do século XIX até os dias de hoje, das regiões carboníferas e ferríferas em direção a regiões litorâneas, amplamente abertas para a rede de comunicações marítimas de todo o planeta" (85). O fenômeno bem conhecido do desenvolvimento da siderurgia "sobre a água", durante as últimas décadas, é explicado sobretudo pela evolução dos custos relativos de transporte dos insumos e dos produtos siderúrgicos: a sensível redução do custo total dos transportes marítimos, em relação aos outros meios de transporte (86), torna particularmente atrativa a implantação de usinas em zonas litorâneas. Assinale-se, notadamente, que 82% da capacidade de produção da siderurgia japonesa (considerada como a mais eficiente na atualidade) estão localizados à beira-mar (87).

5.2 - Da supremacia britânica à hegemonia americana

Durante a fase de formação da grande indústria siderúrgica, as principais inovações técnicas foram - na maior parte - introduzidas e difundidas primeiramente na Inglaterra (ver acima). A superioridade da siderurgia inglesa, construída no decorrer do século XVIII, manteve-se durante quase todo o século XIX. Somente nas últimas décadas do século passado é que o volume da produção britânica seria alcançado, e em seguida superado, pelas indústrias alemã e americana (ver o Quadro no. II.12, abaixo). A virada do século marcou, portanto, também no caso da indústria siderúrgica, a passagem da supremacia britânica à liderança dos Estados Unidos. Esta superioridade da siderurgia americana traduzir-se-á, notadamente, num maior dinamismo tecnológico durante o começo deste século.

Como se pode constatar, com base nos dados sobre a evolução da produção, a expansão americana foi fortemente acelerada a partir do final da Guerra de Secessão. Entre os fatores que contribuíram para esta rápida expansão, podemos destacar:

QUADRO No. II.12
EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇO - INGLATERRA, ESTADOS UNIDOS E ALEMANHA
(1880, 1890 e 1900)

Países	1880		1890		1900	
	Quantidade		Quantidade		Quantidade	
	(1000 t.)	Índice	(1000 t.)	Índice	(1000 t.)	Índice
Inglaterra	3.730	100	5.301	142	5.981	160
Estados Unidos	1.267	100	4.345	343	10.300	813
Alemanha	2.018	100	3.791	188	7.377	366

Fonte: B. GILLE (1966), p. 123.

QUADRO No. II.13
EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE AÇO BRUTO, POR REGIÃO - ANOS DE 1952 e 1974

Grandes Regiões e países	1952		1974	
	%		%	
	Produção em milhões de toneladas mundiais	Produção regional	Produção em milhões de toneladas mundiais	Produção regional
Europa Oriental	45,643	21,5	185,055	26,1
URSS	34,500		136,20	74
Ásia	9,976	4,7	157,728	22,3
Japão	6,988		117,131	74,2
Europa Ocidental	63,383	30	186,719	26,3
Europa dos Nove (CEE)	58,693		155,618	83
América do Norte	87,880	41,4	145,598	20,6
Estados Unidos	84,521		131,992	90
América Latina	1,833	0,8	17,715	2,5
Brasil	0,896		11,253	63
África-Oriente Médio-Oceania	3,510	1,6	15,938	2,2
África do Sul	1,306		5,339	33
Austrália	1,647		7,813	49
Total do Mundo	213,235	100	708,753	100

Fonte: E. DOURELLE (1981), p.30.

. a abundância de recursos em carvão metalúrgico e minério de ferro. As ricas jazidas da região do Lago Superior foram colocadas em exploração por volta de 1850. Observe-se que a metade destas reservas era constituída por minério de ferro não fosforoso, o que favorecia a difusão do processo Bessemer (88).

. a introdução quase que imediata e a rápida difusão das novas técnicas de fabricação do aço: o processo Bessemer já havia sido introduzido nos anos 1860 e, por volta de 1880, a produção dos convertedores atingia mais de um milhão de toneladas. O forno Siemens-Martin foi introduzido por volta de 1870, e sua difusão foi ainda mais rápida: em 1890 já estavam em operação 110 convertedores e 167 fornos Siemens-Martin nos Estados Unidos. No que concerne à participação destes dois processos na produção total de aço, temos os seguintes dados:

- em 1890: Siemens-Martin: 12,2%

 Bessemer: 87,8%
- em 1913: Siemens-Martin: 65,5%

 Bessemer: 34,5%

. a siderurgia americana tomará a dianteira sobre os demais países produtores, também no tocante à tecnologia de laminação. Foi neste país que se desenvolveu e se introduziu na produção os primeiros trens laminadores "contínuos", nos últimos anos do século XIX e primeiras décadas do século XX.

. igualmente, no que se refere à produção de ferro-gusa, a siderurgia americana registrou importantes progressos, notadamente nas técnicas de preparação da carga para os altos-fornos. Ressalte-se, quanto a este aspecto, o desenvolvimento e difusão dos processos de aglomeração. Efetivamente, as primeiras máquinas de produção de "sinter" foram desenvolvidas nos Estados Unidos: primeiramente o sistema descontínuo

"Greenwalt" (final do século XIX) e, em seguida, o sistema contínuo "Dwight Lloyd" (1908). O emprego destas técnicas de preparação da carga suscitou um importante aumento do rendimento na produção do ferro-gusa nos altos-fornos (90).

Além disto, deve-se assinalar o forte movimento de centralização do capital que muito cedo se desencadeou na siderurgia americana: já em 1901 foi constituída a U. S. Steel, uma "holding" que controlava várias empresas do setor (Carnegie Steel, Federal Steel, etc.), e tinha então uma capacidade de produção de aproximadamente 10 milhões de toneladas/ano, o que correspondia a perto de 60% do total nacional. Alguns anos depois (1905), foi fundada a Bethlehem Steel, o segundo maior grupo siderúrgico americano (91).

A partir dos anos 1910 até a crise de 29, o dinamismo da siderurgia nos Estados Unidos vai decorrer, em boa parte, da demanda criada pela expansão extremamente rápida da indústria automobilística: "Em 1923, cerca de 3,9 milhões de toneladas de produtos laminados, ou 11% da produção da indústria siderúrgica, foram consumidos pela indústria automotriz. Esta tendência se manteve até o final da década. Em 1929, cerca de 7,3 milhões de toneladas de produtos laminados, ou 16% da produção de aço bruto, foram expedidos para a indústria automotriz" (92). Esta demanda em expansão orientava-se sobretudo para os produtos "planos", o que explica os progressos significativos introduzidos na laminação deste tipo de produto e, em especial, o desenvolvimento dos trens laminadores "contínuos" para chapas grossas.

As vésperas da grande crise, a supremacia americana na indústria do aço já era bem nítida. A produção dos Estados Unidos foi de 63 milhões de toneladas em 1929, o que correspondia a 52% da produção mundial de aço bruto, contra cerca de 30% para o conjunto dos países da Europa Ocidental (93).

5.3 - A internacionalização da produção no pós-guerra

No início dos anos 1950, o aparelho produtivo da indústria siderúrgica apresentava elevado grau de concentração, a nível mundial. Em 1952, em apenas cerca de 20 países o volume de produção superava um milhão de toneladas/ano, e somente 5 dentre eles (Estados Unidos, União Soviética, Grã-Bretanha, Alemanha Ocidental e França) ultrapassavam o nível de 10 Mt./ano. A produção destes países representava aproximadamente 77% do total mundial (94).

Esta situação de forte concentração no plano mundial, sofrerá uma progressiva alteração no decorrer dos anos subsequentes. Assinale-se, primeiramente, o avanço da siderurgia soviética. Este ramo ocupou um lugar central dentro da estratégia de desenvolvimento industrial implementada naquele país à partir dos anos 1920, a qual dava prioridade à indústria pesada. Ainda mais espetacular foi o progresso da siderurgia japonesa, que ocupa atualmente posição de liderança mundial no ramo. Deve-se frisar, finalmente, o processo de extensão da siderurgia a novas regiões produtoras. Estas mudanças engendraram uma nova configuração mundial da indústria. Com efeito, em meados dos anos 1970, a siderurgia mundial apresentava um panorama de maior diversificação do ponto de vista da distribuição internacional das capacidades de produção (ver o Quadro no. II.13). Note-se, em particular, o declínio relativo da siderurgia americana (cerca de 40% da produção mundial em 1952 e aproximadamente 18% em 74) e o avanço do Japão (pouco mais de 3% em 52 e quase 17% em 74).

O movimento de internacionalização da siderurgia não se baseou, todavia, na internacionalização do capital. As estruturas de produção permaneceram fundamentalmente nacionais, controladas por capitais e/ou Estados nacionais (95). Os investimentos internacionais

desempenharam um papel marginal neste processo: "Em cada país capitalista desenvolvido, o controle das capacidades de produção é assegurado, no essencial, por capitais nacionais; os investimentos externos são muito pouco importantes. A ausência de circulação internacional do capital (na siderurgia), em particular entre as economias capitalistas desenvolvidas, está ligada às taxas de lucro relativamente baixas verificadas no ramo, ao caráter estratégico desta indústria, mas também à existência generalizada de oligopólio" (96).

Por outro lado, no que se refere à circulação das mercadorias e das técnicas (incorporadas ou não aos bens de equipamento), o movimento de internacionalização mostrou-se mais significativo.

De fato, em relação ao primeiro aspecto, constatou-se que - embora os mercados internos continuem amplamente dominantes - o comércio mundial de produtos siderúrgicos cresceu a um ritmo mais rápido do que a produção: "De 10% da produção mundial no início dos anos 1950, as exportações atingiram 20% em 1970 e 25% em 1979" (97).

O papel do comércio de produtos semi-acabados neste crescimento das exportações tem sido por vezes ressaltado. Tal fenômeno remete, aliás, ao desenvolvimento de uma certa segmentação do aparelho produtivo ao nível mundial. Quanto a este aspecto, cabe lembrar as análises sobre a "decomposição internacional dos processos produtivos" (DIPP), a qual constitui - segundo B. LASSUDRIE-DUCHENE - uma modalidade significativa do movimento de internacionalização da produção em diversos ramos industriais. "A divisão internacional dos processos produtivos (DIPP), ou segmentação internacional da produção corresponde ao simples fato de que a produção de um produto final é separada em operações distintas efetuadas em diferentes países" (98). O aprofundamento da DIPP implica, portanto, na intensificação da circulação internacional de bens intermediários, de um modo geral (estes bens

(estes bens intermediários revestem, evidentemente, formas diferentes, segundo o ramo industrial considerado). No caso da siderurgia, esta modalidade de internacionalização - embora tenha desempenhado um certo papel - não parece ter revestido a importância que certas avaliações lhe atribuíram, e que o lançamento de alguns grandes projetos internacionais de usinas especializadas em determinados segmentos siderúrgicos, parecia tender a reforçar (por exemplo, o projeto da usina de Tubarão, implantada no Brasil com a participação de grandes grupos siderúrgicos internacionais - capital japonês e italiano). Ao examinar a estrutura do comércio mundial de produtos siderúrgicos, durante as últimas décadas, constatamos, de imediato, que a parte dos lingotes e dos semi-acabados no total do comércio aumentou, efetivamente, de 8,4% em 1950 para 16,8% em 1970 e 17% em 78 (99). Mas esta participação manteve-se em níveis relativamente modestos (100) e, além do mais, ela estagnou em decorrência da crise. Os efeitos do agravamento da crise sobre este tipo de especialização interna à indústria, manifestam-se, no caso da siderurgia, de forma eloquente, através de uma rarefação, nos últimos anos, de novos grandes projetos deste tipo, mas também através das dificuldades enfrentadas por aqueles projetos que já haviam sido desencadeados (ver, por exemplo os problemas enfrentados pelo projeto Tubarão até a sua concretização (101)).

Por outro lado, no que concerne à circulação internacional da tecnologia, deve-se assinalar sua importância no processo de internacionalização do ramo: "O processo de internacionalização desenvolve-se com maior intensidade no contexto do mercado mundial das técnicas e dos equipamentos siderúrgicos" (102). Observe-se, em particular, que a incorporação de novos países produtores ao espaço da siderurgia mundial, cria uma demanda considerável para os bens de equipamento e os "serviços" técnicos, de uma maneira geral. Este mercado tende a ser

mercado tende a ser dominado por grupos pertencentes aos principais países produtores, principalmente Japão, Alemanha Ocidental e Estados Unidos. Tais grupos controlam, desta forma, e em grande medida, a difusão internacional da tecnologia siderúrgica.

Dois traços marcantes do processo de internacionalização na siderurgia do pós-guerra, merecem ser examinados mais detidamente. O primeiro refere-se a reestruturação que se produziu no pólo dominante do ramo e, em particular, o declínio da hegemonia americana e a ascensão da siderurgia japonesa. O segundo concerne à ampliação do espaço geográfico de produção, em decorrência do desenvolvimento da siderurgia no Terceiro-mundo.

5.3.1 - da hegemonia americana à superioridade japonesa (103)

O desenvolvimento extremamente rápido da siderurgia japonesa constitui um aspecto preeminente das mudanças ocorridas durante as últimas décadas no panorama mundial desta indústria. "A ascensão da siderurgia japonesa é, com efeito, o traço principal da história recente do desenvolvimento mundial do ramo" (104).

No final da Segunda guerra mundial, a situação da siderurgia no Japão não era, contudo, nada promissora. O aparelho produtivo havia sofrido perdas consideráveis ao longo do conflito. A produção em 1946 atingiu tão somente 560 mil toneladas de aço, em contraste com as 7,6 milhões de tons. produzidas em 1943; e seria necessário uma década, aproximadamente, para que fosse novamente alcançado este último nível de produção. A isto se somava a desvantagem decorrente da escassez de recursos naturais, em particular de minério de ferro e de carvão metalúrgico.

A partir do início dos anos 1950, esta situação começou a se modificar rapidamente. Foram colocados em execução uma série de

"programas de modernização" da siderurgia, que se sucederam até a metade dos anos 1960. O primeiro destes programas (1951-55) foi consagrado essencialmente à reestruturação e racionalização do aparelho produtivo. Nos programas subsequentes - a partir da metade dos anos 50 -, deu-se ênfase também à expansão da capacidade de produção (105). Foi notadamente no curso deste período que os principais grupos nipônicos lançaram-se na construção de grandes usinas integradas, equipadas com modernas aciarias a oxigênio e situadas, em sua maioria, em zonas litorâneas do país (106). Estas usinas entraram em funcionamento no início dos anos 60, e representaram uma importante expansão da capacidade produtiva e uma atualização tecnológica da siderurgia japonesa.

Após esta importante onda de implantações, os esforços de investimento prosseguiram de forma sustentada até a crise recente. Os resultados de tais esforços foram espetaculares, como podemos constatar a partir dos dados sobre a evolução da produção e das exportações durante as últimas décadas (ver o Quadro no. II.14). Note-se, em especial, o crescimento extremamente rápido das exportações. A partir dos anos 60, o mercado externo desempenhou um papel de crescente importância na expansão desta indústria.

QUADRO No. II.14

Desenvolvimento da Indústria Siderúrgica no Japão (1950-80)

Em Mt.	1950	1960	1970	1980	Crescimento 1950 - 1980
Produção de aço bruto	4,80	22,1	93,3	111,3	23 vezes
Exportação de Produtos Laminados	0,58	2,5	17,9	30,3	52 vezes
Produção de Laminados	3,40	15,6	66,9	87,2	24 vezes

FONTE: C.S. Coutinho (1985), p.393

Na atualialidade, os produtores japoneses detêm uma supremacia bastante nítida no contexto mundial da siderurgia. Esta posição privilegiada se traduz numa liderança que se manifesta no mercado internacional de produtos e de tecnologias. Efetivamente, o Japão é atualmente o principal exportador mundial de aço: por exemplo, no período de 1973-77, a parte deste país nas exportações mundiais foi, em média, de 35,4% (o que representava mais do dobro de seu peso na produção mundial naqueles anos: 16,1%), superior à participação do conjunto dos países da Comunidade Econômica Européia (31,7%) (107).

No que diz respeito ao mercado mundial de bens de equipamento e de tecnologia, a superioridade japonesa é também amplamente reconhecida. Os grandes grupos nipônicos estão entre os principais produtores e exportadores de equipamentos siderúrgicos e de tecnologia, e tendem a participar cada vez mais de projetos de implantação de unidades produtivas em outros países, notadamente no Terceiro-mundo. Esta participação se materializa através do fornecimento de equipamentos, da venda de serviços de engenharia e de assistência técnica, etc. (108).

Uma das principais razões dos avanços da siderurgia japonesa e que explica, portanto, o lugar destacado que ela ocupa atualmente no contexto mundial do ramo (posição que, como vimos, se sustenta em grande medida por um grande dinamismo tecnológico), consiste justamente na estratégia tecnológica adotada a partir dos anos 1950. Ressalte-se, em particular, o fato de que os grupos nipônicos - que receberam, aliás, um forte apoio da parte do Estado - deram ênfase, desde o desencadeamento dos "programas de modernização", à transferência das tecnologias mais modernas empregadas nos Estados Unidos e na Europa (109). Observa-se, com efeito, que as principais inovações do pós-guerra em matéria de processo siderúrgicos foram introduzidas

no Japão bastante cedo. O primeiro convertedor LD, por exemplo, foi colocado em operação naquele país já em janeiro de 1957 (apenas 5 anos após sua utilização pioneira na Austria), e estes convertedores foram instalados em todos os principais complexos siderúrgicos implantados posteriormente. Em 1978, as aciarias a oxigênio participavam com 78% do aço fabricado no Japão (61% nos Estados Unidos) (110), e significativos aperfeiçoamentos foram introduzidos nesta tecnologia. Quanto ao processo de lingotamento contínuo, a siderurgia japonesa está situada na vanguarda em termos de difusão e de adaptação desta técnica à produção em grandes escalas. Em 1978, a porcentagem de aço lingotado no sistema contínuo era de mais de 46% no Japão, contra 29% nos países da C.E.E. e 15% nos Estados Unidos (111).

Mas a estratégia japonesa não se limitou simplesmente à introdução das técnicas mais modernas. Grandes esforços foram realizados no sentido de absorver estas técnicas e de criar uma capacidade interna de criação tecnológica. Tais esforços se materializaram, em particular, no desenvolvimento de uma estrutura de fabricação de equipamentos siderúrgicos. Este segmento da indústria de bens de capital desenvolveu-se, no caso japonês, em estreita associação com a atividade de fabricação de aço. Constata-se, com efeito, que no Japão os principais grupos siderúrgicos são igualmente os maiores produtores de equipamentos para esta indústria (112).

Cabe destacar, por outro lado, que os grupos japoneses também exploraram a fundo as economias de escala no contexto da "filéira clássica" da siderurgia. Como já foi assinalado, desde a segunda metade dos anos 1950, foram implantados grandes complexos integrados, situados em zonas litorâneas (113). O gigantismo das instalações é um traço saliente da indústria do aço japonesa no presente; algumas das maiores usinas do mundo estão situadas naquele país. Assinale-se

neste particular que a capacidade média das 10 maiores usinas japonesas era, em 1980, de 10,4 milhões de tons., contra 5,4 Mt. nos Estados Unidos (114).

Assentada em uma nítida superioridade tecnológica, a siderurgia japonesa desempenha, portanto, um papel central na determinação e difusão das normas de produção na indústria do aço contemporânea. "As normas técnicas mais eficientes, as quais são definidas no seio da siderurgia japonesa, impõem-se, portanto, ao nível do mercado mundial, através do qual elas exercem uma pressão permanente sobre as demais siderurgias nacionais" (115).

5.3.2 - o desenvolvimento da siderurgia no Terceiro-mundo (116)

No curso das últimas décadas, a expansão da indústria siderúrgica foi - de uma maneira global - mais rápida nas regiões periféricas do sistema capitalista do que nos principais países do Centro (com exceção, evidentemente, do Japão). Constata-se assim que os países da América Latina, África, Oriente Médio e Oceania, cuja produção conjunta representava, em 1952, apenas 2,4% da produção mundial de aço, elevaram esta participação para 4,7% em 1974 e 5,8% em 77. Quanto aos países da Ásia (exceto o Japão), sua parte na produção no total mundial aumentou de cerca de 1,5% em 1952 para quase 5,8% em 1974 (117).

Este crescimento da capacidade produtiva do Terceiro-mundo durante o período em questão, foi produto, simultaneamente, tanto da expansão das siderurgias periféricas já implantadas há algum tempo e que haviam atingido uma certa dimensão em períodos anteriores quanto do surgimento de novos países produtores no pós-guerra. No primeiro grupo, destaca-se o crescimento acelerado da siderurgia em países como a Índia, o Brasil e o México, que já possuíam uma capacidade produtiva

significativa. Já dentre os novos países produtores, podemos citar a Coreia do Sul, Taiwan, a Venezuela, a Argélia, o Egito, etc., cuja indústria siderúrgica alcançou um tamanho considerável só mais recentemente (118).

No que diz respeito ao modo de desenvolvimento siderúrgico na perifeira, ressaltamos três características importantes: a substituição de importações enquanto trajetória dominante, o controle dominantemente local do capital produtivo, e, a grande concentração da produção (o que indica uma grande diversidade em termos de situações nacionais): "O desenvolvimento da siderurgia no Terceiro-mundo se anallisa essencialmente como um processo de substituição de importações sob controle local. Entre 1970 e 1976, 8 países concentram, em média, 84% da produção siderúrgica total do Terceiro-mundo" (119).

Consideremos primeiramente o aspecto mencionado por último. Com base num exame dos dados recentes, constata-se, efetivamente, uma expressiva concentração da produção siderúrgica dos países periféricos, posto que 8 deles (9, se incluirmos a China) detêm o essencial das capacidades produtivas. Portanto, as dimensões das siderurgias nacionais são, na verdade, bastante desiguais e recobrem condições de produção consideravelmente diferentes. Esta observação remete, de resto, a uma realidade bem conhecida: a extrema heterogeneidade deste conjunto de países do chamado "Terceiro-mundo". Isto posto, convém distinguir, no interior deste bloco, pelo menos três grupos de países, os quais se diferenciam de maneira bastante clara, não apenas pelo estágio de desenvolvimento siderúrgico atingido, mas também - em certa medida - pela forma que tomou este desenvolvimento: o primeiro grupo é constituído pelos países semi-industrializados (os maiores produtores); o segundo é essencialmente formado pelos países produtores de petróleo; e o terceiro reúne os pequenos produtores da África, América

Latina e Ásia, cuja capacidade produtiva é ainda muito reduzida. Tendo em conta o papel bastante marginal do último grupo, podemos considerar que os dois primeiros grupos de países constituem os pólos que contam realmente, na atualidade, no que tange à dinâmica da siderurgia no Terceiro-mundo: "Desta forma, desenham-se os dois núcleos principais do desenvolvimento siderúrgico no Terceiro-mundo. O primeiro, e de longe o mais importante, é constituído pelas economias semi-industrializadas mais avançadas - Brasil, Índia, México - ou mais dinâmicas - Coreia do Sul. O segundo, relativamente pequeno, mas cuja importância vem crescendo, reúne a maioria dos países da OPEP; neles a ausência de tradição industrial é compensada pela abundância de recursos em hidrocarbonetos" (120).

Observa-se, por outro lado, que - de um modo geral - a construção de uma indústria siderúrgica em países do Terceiro-mundo tem seguido um processo clássico de substituição de importações, a produção sendo fundamentalmente destinada a um mercado interno que existia previamente e era abastecido até então por importações. Esta trajetória manifesta-se, no entanto, de forma muito mais clara no caso dos principais países semi-industrializados, onde a implantação de uma estrutura de produção siderúrgica se inseriu no contexto de uma estratégia global de industrialização via substituição de importações. Em um período mais recente, certos países, tendo alcançado auto-suficiência em matéria de aço, puderam até mesmo lançar-se em programa de exportação (o que significa, porém, que a orientação dominante para o mercado interno tenha sido abandonada). Já a expansão da siderurgia em boa parte dos países produtores de petróleo, conheceu uma trajetória bastante distinta. Sendo a dimensão dos mercados internos geralmente modesta, em diversos casos as capacidades instaladas recentemente estão orientadas principalmente para o mercado externo, tirando pro-

externo, tirando proveito dos abundantes recursos naturais em hidrocarbonetos, notadamente através do emprego de processos de redução direta adaptados a este tipo de combustível/redutor (121).

No entanto, qualquer que seja a estratégia observada, o caráter nacional do controle do capital produtivo constitui um traço geral, válido tanto no caso da siderurgia dos países desenvolvidos quanto no caso do Terceiro-mundo. Assinale-se, em particular, uma tendência bem nítida no sentido da intensificação da intervenção dos Estados nacionais, durante as últimas décadas. A intervenção estatal reveste, é certo, diferentes modalidades e se manifesta em graus diversos segundo o país considerado. Entretanto, na grande maioria dos casos, ela se traduz em uma importante participação direta do Estado na produção de aço: 82% na Índia, 68% no Brasil, 67% no México, 72% na Argentina... Consequentemente, os investimentos de grupos estrangeiros não são, em regra geral, muito significativos (122), embora alguns grupos internacionais (sobretudo os dos países mais dinâmicos, como o Japão e a Alemanha Ocidental) venham participando cada vez mais da implantação de complexos siderúrgicos no Terceiro-mundo, e cheguem mesmo, em certos países, a controlar segmentos estratégicos desta indústria (123).

Contata-se além do mais, que, com frequência, instaura-se no interior destes países uma espécie de "divisão do trabalho" entre o Estado e o capital privado (nacional e/ou estrangeiro). O setor público assumindo os segmentos de produção mais pesados (isto é, com maior intensidade de capital, rotação do capital mais lenta, etc.), e deixando para iniciativa privada os segmentos siderúrgicos mais rentáveis e os ramos industriais situados "a jusante", os quais são frequentemente beneficiados por uma política sistemática de depreciação dos produtos siderúrgicos fabricados pelas empresas estatais.

A presença de grandes grupos internacionais é consideravelmente mais expressiva ao nível do mercado de bens de equipamento e de tecnologia. Estes são - como assinalamos acima - os caminhos privilegiados da difusão das normas técnicas que vigoram nas principais siderurgias do Centro, em direção aos países da periferia (124). Por esta via, se produz uma homogeneização internacional das normas de produção. Em particular, as tendências à integração e ao aumento do tamanho das instalações produtivas tornam-se dominantes também no contexto global do desenvolvimento da siderurgia na periferia. De fato, os principais processos ligados à "fileira clássica" vão aí preominar à semelhança do que se verifica nos países desenvolvidos (125). Por outro lado, porém, convém assinalar que este predomínio é relativamente menos acentuado no caso do Terceiro-mundo, onde os fatores de diferenciação tendem a desempenhar um papel mais importante. Neste sentido, observa-se que certos processos técnicos "alternativos", particularmente adaptados às condições específicas de vários destes países, têm uma penetração mais expressiva nas regiões sub-desenvolvidas, em comparação ao que ocorre nos países do Centro (126).

NOTAS

- (1a) Este texto é a tradução do capítulo II d C. G. FERREIRA (1987 a)
- (1b) Ver C. G. FERREIRA (1987 b)
- (2a) Designamos com este termo a forma especificamente capitalista de fabricação do aço, adequada à produção em massa - sobre o conceito marxiano de grande indústria, ver C. G. FERREIRA (1987)
- (2b) Isto posto, assinale-se que se tentou evitar (e esta é, em parte, a função do retrospecto histórico inicial - ver o ítem 1) que esta opção quanto ao modo de exposição tornasse obscura a ordem cronológica das mudanças técnicas.
- (3) Convém assinalar que foge aos limites e objetivos desta análise - centrada, como explicitamos, nos aspectos referentes às grandes tendências históricas - uma abordagem mais ampla dos fenômenos mais recentes. Isto significa que a crise atual da siderurgia e as características principais dos progressos recentes da informatização da produção, só serão contemplados aqui de forma rápida e apenas no que diz respeito a certos elementos ligados ao exame da evolução do ramo numa perspectiva de longo prazo.
- (4) Estes setores eram os principais consumidores de produtos siderúrgicos, àquela época.
- (5) Lembramos que o processo siderúrgico é constituído de três etapas principais: a produção do ferro-gusa, a elaboração do aço e a conformação final do produto.
- (6) B. GILLE considera que, neste período, tivemos na realidade dois sistemas técnicos diferentes que se sucederam no tempo. O primeiro deles constituiu-se ao longo do século XVIII, tendo-se aperfeiçoado e desenvolvido em seguida, e atingido um estágio de esgotamento em meados do século XIX. No decorrer da segunda metade do século passado, instalou-se um sistema técnico novo no

bojo de um processo denominado correntemente de "Segunda Revolução Industrial", no qual o desenvolvimento da tecnologia siderúrgica (e, em especial, as inovações na elaboração do aço) teve um papel de grande importância. A noção de "sistema técnico" proposta por este autor - ver B. GILLE (1978) - será retomada mais adiante.

- (7) As datas indicadas aqui, constituem tão somente pontos de referência cronológica, posto que - como se sabe - é quase impossível "datar" com exatidão o aparecimento de um novo processo técnico. O processo de invenção e inovação se estende, em geral, por um período de tempo bastante longo e, além disso, estas inovações frequentemente dão lugar a aperfeiçoamentos e adaptações posteriores que se revelam, muitas vezes, de importância decisiva.
- (8) No caso da França, a produção de gusa à base de coque só superou a produção de gusa à base de carvão vegetal, em 1864 - cf. G. GILLE (1978), p.34.
- (9) É o caso, por exemplo, da siderurgia brasileira (estudado na segunda parte de nossa tese), que durante toda uma primeira fase de seu desenvolvimento, baseou-se na utilização do carvão vegetal. Ainda em nossos dias, uma parte considerável (por volta de um terço) da produção de gusa provém de altos-fornos que empregam aquela matéria-prima.
- (10) Estima-se que a introdução destes métodos teria determinado uma queda dos custos de produção da ordem de 80% a 90%, em termos reais, entre o início dos anos 1860 e a metade da década de 1890 - cf. A. C. SANTOS (1986), p. 159.
- (11) B. GILLE (1978), p. 817/18.
- (12) Cf. N. ROSENBERG (1986), p. 164.
- (13) Cf. F. YACHIR (1981), p. 34

- (14) Ver mais abaixo, a apresentação das "fileiras técnicas" da siderurgia.
- (15) Em razão da forte dependência da indústria siderúrgica em relação à demanda induzida pela formação de capital fixo, a produção de aço apresenta uma tendência a acompanhar de perto a evolução do nível global dos investimentos - ver O. C. D. E. (1980), p. 80.
- (16) Lembramos porém que, no estágio atual do desenvolvimento desta indústria (e tomando como modelo as indústrias mais típicas de "processo contínuo"), a integração é ainda precária. Com efeito, subsistem importantes pontos de descontinuidade no fluxo produtivo, o que nos conduziu a caracterizar o processo de trabalho siderúrgico como um processo "semi-contínuo" - ver C. G. FERREIRA (1987b).
- (17) B. GILLE (1978) p. 19 (grifado por nós).
- (18) Idem, p. 33. Observamos que a idéia da existência de uma complementaridade entre as técnicas está igualmente presente na célebre concepção schumpeteriana dos "blocos de inovações". Neste caso, porém, esta idéia se insere em um enfoque teórico algo diferente, que põe em relevo as relações existentes entre o progresso técnico e as formas de concorrência, e cujo objetivo seria - em especial, através da noção de "destruidora criadora" - dar conta das transformações do capitalismo em longo prazo. A este respeito, ver J. T. ARAUJO JR. (1982) e, para uma crítica das interpretações schumpeterianas (e "neo-schumpeterianas") dos ciclos e crises econômicas, ver: R. BOYER e B. CORIAT (1984) e G. SCHUMEDER (1984).
- (19) B. GILLE (1978), p. 52.
- (20) S. KUZNETS "Retardation of industrial growth", Journal of Economic Business, vol. I, agosto/1929 - citado por J. T. ARAUJO JR. (1982), p. 32/3.

- (21) Cf. B. GILLE (1978), p. 24/5.
- (22) Este exemplo é lembrado, entre outros autores, por D. LANDES (1972), p. 92.
- (23) O autor refere-se à história da evolução das técnicas siderúrgicas, durante o século XX.
- (24) Ph. ZARIFIAN (1983), p. 40.
- (25) Convém notar, todavia, que algumas destas inovações, em virtude de suas características próprias (em especial, uma grande flexibilidade em relação à escala de produção), são amplamente utilizadas nos dias de hoje, tanto em grandes complexos integrados quanto em mini-usinas - é o caso, em particular, da técnica de "lingotamento contínuo".
- (26) Cf. F. YACHIR (1984), p. 40.
- (27) Para uma análise da evolução das técnicas de laminação - do "laminador manual" ao "laminador automatizado" - e das modificações que essas mutações implicaram em matéria de divisão do trabalho - ver M. FREYSSENET (1981) e M. FREYSSENET e C. OMNES (1982), p. 11-22.
- (28) Cf. D. LANDES (1972), p. 475.
- (29) Designamos deste modo todas as técnicas de elaboração do aço através de convertedores empregando o oxigênio puro, inclusive as modificações do método original (processos LD/AC, OLP, Kaldo, etc.) e as recentes - e altamente produtivas - técnicas de injeção do oxigênio pela parte inferior do convertedor (processos chamados "Q-BOP": OBM, LWS, etc.).
- (30) Por se tratar de tecnologia estreitamente associada à emergência das "fileiras alternativas", a aciaria elétrica será examinada posteriormente.

- (31) Deve-se lembrar também os recentes progressos da "metalurgia em panela" (fora dos fornos) que possibilitam a obtenção de sensíveis melhorias na qualidade do aço, na elaboração de ligas de aço, etc. - cf. E. DOURILLE (1981), p. 85.
- (32) Temos aí um exemplo clássico de interdependência entre inovações técnicas - cf. J. T. ARAUJO Jr. (1982), p. 32.
- (33) A propagação desta inovação permitia, portanto, um crescimento da produção de aço bruto compatível com o desenvolvimento das capacidades de laminação provocado pela ampla difusão dos trens laminadores "contínuos" e, mais tarde, pelos progressos na automação destes equipamentos.
- (34) Na realidade, esta inovação incide sobre a primeira etapa da conformação do metal, ponto de interseção entre a aciaria e a laminação.
- (35) Ver F. TALHAK (1984), p. 43 e C. G. FERREIRA (1987).
- (36) Cf. C. E. E. (1979), p. 16.
- (37) Cf. E. DOURILLE (1981), p. 109.
- (38) Quanto a este último resultado, pode-se constatar uma expressiva diminuição do consumo de coque por tonelada de gusa produzida ("coke rate"): esta taxa caiu de uma tonelada de coque para cada ton. de gusa no início dos anos 1950 (lembre-se que essa taxa era de 8/1 ton. no século passado - cf. E. DOURILLE (1981), p. 55/6), para cerca de 400kg. de coque por ton. de gusa atualmente, nos altos-fornos operados eficientemente. O que representa, em particular, uma importante economia de energia (o coque é a principal fonte de energia na siderurgia), provocando uma queda significativa no custo de produção do ferro-gusa (a participação do coque neste custo é de 15% a 20%, aproximadamente).

- (39) Como nota Y. MORVAN (1985, p. 163-177), a noção de "economias de escala" não é nova no campo da análise econômica: "Desde os primórdios da análise econômica moderna (com A. Smith e C. Babbage), e sobretudo a partir dos estudos de A. Marshal, tem-se admitido, efetivamente, que os custos unitários devem diminuir com o aumento do tamanho das unidade produtivas, até um certo estágio (devido à presença de economias de escala), em seguida estes custos crescem (em decorrência de deseconomias de escala); (...)"(p. 163). No quadro de um panorama crítico da literatura econômica sobre esta questão, B. GOLD (1981) - embora reconhecendo a existência do fenômeno (cf. p. 31) - aponta os pontos fracos e as insuficiências das tentativas de formulação teórica de um conceito de economias de escala: "From the stand point of economic analysis, it is important to recognize that the widespread faith in the 'economies of scale' has not gained much support from the relevant theoretical and empirical literature" (p. 5). E, mais adiante, o autor acrescenta: "Established economic theory offers virtually no significant contributions to understanding the sources of past or prospective scale economies" (p.19). Em recente ensaio, R. BOYER e B. CORIAT (1986, p. 27/9) buscam uma redefinição desta categoria - em suas diversas acepções - no quadro de uma tentativa de análise da significação econômica dos ganhos de produtividade ligados à "automação flexível".
- (40) Lembramos, em especial, a introdução de regeneradores com revestimento refratário (os "cowpers"), técnica surgida por volta de 1857.
- (41) Os maiores AFs em funcionamento na atualidade chegam a uma capacidade de cerca de 14.000 tons./dia.

- (42) No que concerne à tecnologia de redução a carvão vegetal, cuja difusão se limita - como assinalávamos acima - a um pequeno número de países do Terceiro-mundo, observou-se igualmente um desenvolvimento expressivo quanto às capacidades unitárias de produção. No Brasil (país que detém, certamente, a liderança no desenvolvimento deste tipo de tecnologia), encontramos em operação AFS a carvão vegetal com mais de 800 tons./dia de capacidade (o maior deles - instalado na ACESITA - possui uma capacidade de cerca de 1.000 tons./dia - cf. CEPAL (1984), p.149).
- (43) O que correspondia à capacidade total de produção de aço de um país "semi-industrializado" como a Argentina em 1980 (5 milhões de toneladas) - Idem, p. 78
- (44) Cf. Ibid., p. 76
- (45) Cf. C. S. COUTINHO (1985), p. 76.
- (46) Observe-se, porém, que o emprego deste tipo de laminador vem sendo crescentemente ameaçado na atualidade pela difusão do lingotamento contínuo.
- (47) Esta questão remete àquilo que em economia industrial se conhece como a "teoria da aprendizagem" (ou "learning by doing") - cf. Y. MORVAN (1985), p. 5-21. Ou seja, à existência de "economias de aprendizagem" que se pode representar através das chamadas "curvas de progresso", as quais traduzem "uma melhoria crescente no tempo da eficiência de um fator de produção no decorrer do processo de produção" (Idem, p. 8). Tal noção é, portanto, distinta da de "economias de escala" stricto sensu: "Teoricamente, se as economias de custo clássicas, tais como as 'economias de escala', estão ligadas à variação das quantidades produzidas em cada período, as 'economias de aprendizagem' estão relacionadas com a evolução das quantidades ao longo do tempo; (...)" - Ibid.

- (48) F. YACHIR (1984), p. 42.
- (49) O patamar das 15 Mt./ano de aço bruto de capacidade chegou até mesmo a ser alcançado nas duas maiores usinas do mundo: a planta de Fukuyama do grupo japonês Nippon Kokan (16 Mt. de capacidade) e o complexo de Magnitogorsk na União Soviética (15 Mt.) - cf. D. A. F. S. A. (1980), p. 19.
- (50) "O mercado mundial da siderurgia é dominado por 40 empresas que representam entre 60% e 70% da produção" - B. SOTRA (1979), p. 19
- (51) E. DOURILLE (1981), p. 174.
- (52) Dados apresentados por F. YACHIR (1984, p. 38) - fonte Stahl und Eisen, 1970.
- (53) "Uma grande empresa integrada, produzindo em torno de 10 milhões de toneladas/ano, exige por volta de 3.000 francos (francos franceses de 1978) de investimento por tonelada/ano, ou seja, ao todo cerca de 30 bilhões de francos na Europa" - E. DOURILLE (1981), p. 169.
- (54) A análise da crise atual da siderurgia está fora dos limites deste trabalho. Cingir-nos-emos aqui a evocar rapidamente certos aspectos ligados à questão das economias de escala. Para uma análise mais ampla, dando destaque aos efeitos da crise sobre a organização internacional desta indústria e, em particular, ao impacto sobre as siderurgias do Terceiro-mundo, ver F. YACHIR (1984).
- (55) Ph. ZARIFIAN (1983), p. 39.
- (56) Neste ponto, Ph. ZARIFIAN baseou-se em um estudo de P. JUDET: L'industrie sidérurgique mondiale, ONUDI, 20/11/1978. Ver também a este respeito: CEPARL (1984), p. 104/5.
- (57) Ph. ZARIFIAN (1983), p. 39.

- (58) A busca de uma maior "flexibilidade" - imperativo colocado pela conjuntura atual - se traduz, por outro lado, - especialmente no quadro das grandes instalações siderúrgicas - pelo desenvolvimento da informatização. A respeito das mutações do trabalho operário na siderurgia, em decorrência do desenvolvimento da informatização da produção nos últimos anos, ver, entre outros: G. BARISI (1982 e 1984), Ph. ZARIFIAN (1983 e 1985), R. BERCOT (1985) e A. E. R. O. T. (1984).
- (59) No entanto, segundo tudo indica (pelo menos no estágio atual da evolução desta indústria), estamos presenciando, mais uma atenuação, do que uma reversão definitiva da tendência à ampliação das escalas de produção na siderurgia. Com efeito, embora o tamanho teoricamente ótimo das usinas tenha caído sensivelmente em relação aos padrões vigentes no início dos anos 70, o peso dos grandes complexos integrados ainda permanece amplamente preponderante no contexto mundial do ramo, enquanto que a importância relativa das mini-plantas (apesar da expansão do número delas durante os últimos anos - ver abaixo) é ainda muito pequena (em torno de 5% da produção mundial de aço).
- (60) Distingue-se também habitualmente a categoria dos aços especiais daquela dos produtos de qualidade corrente; tal distinção sendo estabelecida, portanto, não em função da forma do produto acabado, mas sim das propriedades particulares que possuem certos tipos de aço. Apesar da dificuldade de se ter uma idéia exata da participação dos aços especiais (em razão, notadamente, das diferentes definições existentes) na produção total de aço bruto, pode-se estimar que esta participação - que é, aliás, muito variável segundo o país - raramente supera os 20% da produção nacional. Note-se porém que o peso dos aços especiais na produção mundial tem crescido significativamente nas últimas décadas - cf. D.A.F.S.A. (1980), p. 42.

- (61) Ver E. DOURILLE (1981), p. 153/4.
- (62) Assinale-se, além do mais, que as normas de dimensão são um pouco diferentes nessas duas "linhas" de produção. Considera-se geralmente que as economias de escala são mais importantes na produção de aços "planos": o tamanho médio das instalações e das usinas especializadas neste tipo de produto é superior ao das plantas especializadas em "não-planos". Neste sentido, observa-se que o recente desenvolvimento da "mini-siderurgia" está ligado principalmente à produção de produtos não-planos (sobretudo de produtos "banalizados": fio-máquina, perfins comuns, etc.).
- (63) Essa observação é válida sobretudo para o caso da economia industrial francesa. Sobre as diferentes acepções da noção de "fileira", ver entre outros: R. PEREZ (1983), Y. MORVAN (1985), L. CRETON (1985) e A. DERMOCHE (1985).
- (64) Cf. A. DERMOCHE (1985), p. 145.
- (65) B. GILLE (1978), p. 16.
- (66) P. GARROUSTE (1985), p. 54.
- (67) Cf. O.C.D.E. (1980) p. 86.
- (68) Trata-se, aliás, de um fenômeno geral que concerne todas as três fileiras da siderurgia.
- (69) Cf. O.C.D.E. (1980), p. 86.
- (70) "A mini-usina é formada por um forno elétrico a arco, uma instalação de lingotamento contínuo - ou um trem laminador desbastador - e um trem acabador. Doravante, o tamanho médio atual de 200.000 a 500.000 toneladas de produção anual tende para uma capacidade maior (...) Estas usinas produzem, em geral, apenas um ou dois produtos não-planos, o que implica numa capacidade importante para cada um destes produtos, comparável àquela existente nas

usinas integradas (em especial, para o fio-máquina)" (D.A.F.S.A. (1980), P. 23). Já havíamos assinalado o fenômeno recente da expansão do número destas mini-plantas: os dados apresentados abaixo podem dar uma idéia da importância deste crescimento:

Ano	No. de mini-usinas
1960	80
1970	160
1980	300

Fonte: CEPAL (1984), p. 10.

(71) Cf. E. DOURILLE (1981), p. 71/2.

(72) A duração média do ciclo de elaboração do aço nos fornos a arco UHP é de cerca de duas horas atualmente.

(73) Encontram-se em operação, hoje em dia, fornos de mais de 300 toneladas de capacidade/corrida de aço. Note-se, contudo, que a capacidade média dos fornos elétricos ainda é significativamente inferior à dos convertedores a oxigênio (ao que se deve somar um tempo de produção inferior nestes últimos).

(74) Cf. E. DOURILLE (1981), p. 25 e 112.

(75) Os processos suecos HOGANAS e WIBERG, introduzidos antes desta data, eram baseados em gás de coque e fabricavam "pó de ferro" com um baixo índice de produtividade. Para informações a respeito do surgimento das principais técnicas de redução direta até 1976, ver F. YACHIR (1981), p. 178.

(76) Ver C.E.E. (1979), p. 6-11.

(77) Cf. Idem, p. 12.

(78) Foi esta a solução adotada, por exemplo, nos recentes projetos dos complexos siderúrgicos de Kursk (União Soviética), Matanzas (Venezuela) e Anger Lor (Indonésia), cf. Ibid, p. 13.

(79) Nas aciarias a oxigênio, a esponja de ferro pode ser utilizada tão somente para substituir a sucata, o que restringe consideravelmente o interesse desta combinação técnica, posto que não se elimina a necessidade de abastecer os convertedores com gusa líquido.

(80) Cf. Ibid., p. 5/6

(81) A este respeito, observe-se que a utilização crescente do lingotamento contínuo - que reduz significativamente as perdas de metal -, provoca uma diminuição da quantidade de sucata gerada no interior das usinas siderúrgicas.

(82) Este é o caso, em particular, de certos países exportadores de petróleo, como o Qatar.

(83) Ver B. STORA (1979), p. 27-37.

(84) Idem, p. 34. Podemos apontar ainda dois fatores - omitidos pelo autor - que influem na localização das atividades siderúrgicas: 1) a disponibilidade de mão-de-obra dotada de uma qualificação adequada; E. DOURILLE observa a este respeito que: "O fator mão-de-obra se torna, por sua vez, cada vez mais primordial, em particular em se tratando de usinas produtoras de aços de alta qualidade" (E. DOURILLE (1981), p.56). 2) a preocupação com a proteção do meio-ambiente. Sobre a importância que revestem na atualidade os dispositivos de defesa do meio-ambiente nos países capitalistas desenvolvidos, observe-se em relação à siderurgia japonesa, que: "Durante 8 anos, a partir de 1970, os gastos totais para proteção do meio-ambiente elevaram-se a cerca de 5 milhões de dólares americanos, representado perto de 15% do montante das despesas de investimento da indústria durante este período" (H. TODA (1981), grifado por nós).

(85) B. STORA (1979), p. 27.

- (86) Ver E. DOURILLE (1981), p. 183/8
- (87) Cf. H. TODA (1981), p. 15
- (88) Cf. D. LANDES (1972), p. 256
- (89) Cf. B. GILLE (1966), p. 99
- (90) Além destes fatores, de caráter mais técnico, é, evidentemente, necessário levar em conta outros aspectos de ordem econômica e social. A este nível, lembramos a importância decisiva que tiveram mudanças ocorridas no plano do processo de trabalho e, em particular, aquelas que se produziram nas relações de força entre os operários altamente qualificados e a direção das empresas siderúrgicas, por volta da virada do século - ver a este respeito K. STONE (1975) e o capítulo III de minha tese.
- (91) Cf. E. DOURILLE (1981), p.15/6.
- (92) C.S. COUTINHO (1985), p. 67.
- (93) Cf. Idem. p. 68.
- (94) Ver E. DOURILLE (1981), p. 17 e 216.
- (95) Deve-se destacar a crescente importância do controle estatal sobre a siderurgia. Estima-se, por exemplo, que a participação direta dos Estados nacionais na produção atingia, em 1978, cerca de 46% na Europa Ocidental, 76% da África, 69% em média nos 4 principais países produtores da América Latina (Brasil, México, Argentina e Venezuela), e 26,9% na Ásia. Em relação ao conjunto da produção mundial (incluindo os países socialistas) a participação direta do Estado era estimada em cerca de 50% - cf. D.A.F.S.A. (1980), p. 54.
- (96) F. YACHIR (1984), p. 54.
- (97) Idem, p. 33.
- (98) B. LASSUDRIE-DUCHENE (1982), p. 45.
- (99) Cf. E. DOURILLE (1981), p. 160.

- (100) Acrescente-se a isso o fato de que "as trocas destes semi-produtos ocorrem sobretudo entre países vizinhos" (idem, p. 161).
- (101) Ver, a este respeito, A.M.F. GRECO (1984), p.240/57. Podemos evocar também a protelação do projeto de construção de uma usina em Itaqui (Maranhão), que seria destinada à fabricação de semi-acabados, utilizando minério de ferro de Carajás, e que contaria com a participação de um grupo japonês (Nippon Steel).
- (102) F. YACHIR (1981), p. 42.
- (103) Esta breve abordagem visa tão somente ressaltar alguns traços da trajetória da siderurgia japonesa durante as últimas décadas, que estão ligados à edificação da superioridade tecnológica que ela detém na atualidade. Para estas notas, baseamo-nos principalmente nos trabalhos de H. TODA (1981), K. IIDA (1980), F. YACHIR (1984), B. STORA (1979, p. 148/60) e C.S. COUTINHO (1985, p.392/405).
- (104) F. YACHIR (1984), p. 16.
- (105) Cabe assinalar o esforço especial realizado no sentido da formação/treinamento de uma mão-de-obra qualificada, no quadro destes "programas de modernização".
- (106) Datam desta época, por exemplo, os complexos de Sakai e Kimitsu da Nippon Steel Co., de Mizushima da Kawasaki Steel Co. e de Fukuyama do grupo Nippon Kokan.
- (107) Cf. CEPAL (1984), p. 17.
- (108) A primeira grande experiência do gênero, da qual participaram grupos japoneses foi a implantação da usina da USIMINAS em Ipatinga (Minas Gerais), no final dos anos 1950/início dos 60. Após esta experiência inicial, estes grupos participaram de outros projetos em países como a Malásia, a Arábia Saudita, o emirado do Katar, etc.

- (109) A siderurgia não constitui, de resto, um exemplo isolado, posto que estratégias análogas foram implementadas em vários ramos importantes da indústria japonesa.
- (110) Cf. E. DOURILLE (1981), p. 73.
- (111) Cf. H. TODA (1981), p. 19.
- (112) É interessante observar que, no caso da USIMINAS - empresa brasileira inteiramente concebida, construída, e operada no início conforme o "modelo" japonês - verificou-se um fenômeno análogo. Esta empresa implantou uma fábrica para produção de bens de equipamento e estruturas de aço, planejada inicialmente como uma extensão das oficinas de manutenção e reparação da usina siderúrgica. Posteriormente esta fábrica deu origem a uma nova empresa - a USIMEC - que se tornou a maior produtora de equipamentos siderúrgicos do país. Para um estudo do caso USIMEC, ver A. DONIZETI BERALDO (1983).
- (113) O grande peso da siderurgia "sobre a água" no Japão (82% da capacidade produtiva, contra 10% dos Estados Unidos), explica-se também pela extrema dependência deste país em relação à importação das principais matérias-primas: em 1979, o Japão importou 98,6% do minério de ferro e 88,9% do carvão metalúrgico utilizado (cf. H. TODA (1981), p. 33). Estas importações são feitas por via marítima, e em função disto desde cedo o país se lançou na construção de grandes navios cargueiros que permitiam uma queda considerável do custo de transporte (e, por sua vez, a expansão da indústria da construção naval gerava uma importante demanda para a produção siderúrgica).
- (114) Cf. Idem, p. 15. A esta intensa concentração técnica, corresponde uma grande centralização do capital: em 1977, os 4 principais grupos japoneses controlavam em torno de 76% da capacidade

instalada total (estimada em 150 Mt., àquela época) - cf. F. YACHIR (1981), p. 90.

(115) F. YACHIR (1984), p. 46.

(116) Abordaremos aqui somente alguns traços gerais deste processo. Para uma análise mais aprofundada, reportar-se a C.R.E.A. (1981) e F. YACHIR (1984) - Ver também a segunda parte de minha tese, onde foi realizado um estudo do caso brasileiro.

(117) Cf. E. DOURILLE (1981), p.30/1. Convém contudo lembrar que apesar dos progressos verificados no tocante à edificação de um aparelho de produção, o Terceiro mundo continua sendo, em seu conjunto, um importador líquido de aço. O consumo dos países periféricos supera, em termos globais, as capacidades produtivas instaladas. Tal déficit se reparte, porém, de forma bastante desigual entre estes países: as situações vão da auto-suficiência (ou, até mesmo, existência de excedentes exportáveis) à extrema dependência em relação às importações.

(118) Cf. C.S. COUTINHO (1985), p. 81/2.

(119) F. YACHIR (1984), p. 31.

(120) F. YACHIR (1984), p. 98.

(121) Para uma análise destes dois "modelos" principais de expansão siderúrgica no Terceiro-mundo, ver F. YACHIR (1984), cap. VI.

(122) Já os empréstimos externos (no mais das vezes, contratados diretamente ou garantidos pelos Estados nacionais) desempenharam um papel importante no financiamento da expansão recente da siderurgia no Terceiro-mundo. Estes empréstimos tiveram, no caso de alguns países, um peso significativo no agravamento do endividamento externo nos últimos anos.

- (123) No Brasil, por exemplo, uma filial de um grupo estrangeiro controla o segmento de tubos "sem costura", e uma empresa internacional (associada a capitais locais) dominava a produção de fio-máquina.
- (124) Faz-se necessário porém relativizar o alcance desta "dependência tecnológica" na siderurgia. Registre-se, por exemplo, que certos países semi-industrializados já atingiram um grau importante de controle sobre as tecnologias "banalizadas" da "fileira clássica", e, por vezes, conseguiram até mesmo construir um aparelho produtor de equipamentos siderúrgicos de tamanho e diversificação consideráveis. A este respeito, F. YACHIR observa que é justamente no caso de certas técnicas "alternativas", as mais apropriadas às condições internas destes países, que os efeitos da dependência se manifestam de forma mais clara, em virtude da posição de monopólio desfrutada por certas empresas dos países do Centro: "A tecnologia da redução direta (e, em particular, de redução utilizando hidrocarbonetos) encontra-se, hoje em dia, extremamente monopolizada (...); o domínio sobre as técnicas de redução direta permite, sobretudo aos grupos das siderurgias dominantes, controlar a 'deslocalização' (i.e. o deslocamento espacial) de certos segmentos da indústria rumo aos países do Sul" - F. YACHIR "Redução direta - matérias-primas e desenvolvimento siderúrgico no Terceiro-mundo" in CREA (1981), p. 182 e 194.
- (125) No que concerne, por exemplo, às técnicas de aciaria, registra-se que na América Latina, em 1975, os processos Siemens-Martin e LD eram amplamente dominantes, com 46% e 37%, respectivamente, do aço produzido; enquanto que a participação das aciarias elétricas era de 14% - cf. CEPAL (1984), p. 114.
- (126) Ver acima o caso da tecnologia de redução direta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEROT, revista *Travail* no. 4 - "Dossier sidérurgie", Paris, 1984.
- ARAUJO Jr, J.T. (1982), *Progresso técnico e formas de concorrência: um estudo de caso sobre a indústria do vidro*, UFRJ/ANPEC.
- BARISI, G (1982), *Relations collectives de travail et strategies des acteurs sociaux dans la sidérurgie à participation d'Etat en Italie (1968-1982)*, relatório de pesquisa, GST/CNRS/Univ. Paris VII.
- BARISI, G. (1984), *Mutations technologiques et relations sociales dans la sidérurgie - les cas français et italien*, relatório de pesquisa, CRMSI, outubro/84.
- BERCOT, R. (1985), "Transformations techniques et division du travail: le cas des opérateurs de la sidérurgie lourde", *Formation emploi*, no. 11, Paris.
- BOYER, R. e CORIAT, B. (1984), "De la crise comme "destruction créatrice"... ou le retour de Schumpeter", *Le Monde diplomatique*, set./84.
- BOYER, R. e CORIAT, B. (1986), *Technical flexibility and macro stabilisation*, mimeo., Conference on innovation diffusion, Veneza, mar./86.
- C.E.E. (1979), *Changements structurels dans l'industrie sidérurgique*, doc. ECE/STEEL/20.
- C.E.P.A.L. (1984), *La industria siderurgica latinoamericana: tendencias y potencial*, Estudios y informes de la CEPAL no. 40.
- COUTINHO, C.S. (1985), *Transferência de tecnologia e organização do processo de trabalho na indústria siderúrgica*, dissertação de mestrado, CEDEPLAR/UFMG.
- C.R.E.A. (1981), *Forces et failiblesses des sidérurgies du tiers-monde*, Argel/Argélia.
- CRETON, L. (1985), "Stratégies de filiere de l'entreprise" in *L'analyse de filiere*, ADEFI/Economica, Paris.

- D.A.F.S.A. (1980), L'industrie sidérurgique dans le monde, col. "analyse de secteurs", 2o. trimestre/80.
- DAHLMAN, C.J. (1978), From technological dependance to technological development: the case of USIMINAS steel plant in Brazil, relatório de pesquisa, BID/CEPAL.
- DERMOUCHE, A. (1985), "La filiere: concept et réalité opératoires pour l'entreprise?" in L'analyse de la filiere, ADEFI/Economica, Paris.
- DONIZETI BERALDO, A. (1983), Produção de bens de capital sob encomenda: um estudo de caso, CEDEPLAR, dissertação de mestrado.
- DOURILLE, E. (1981), La sidérurgie dans le monde depuis 1952, La Documentation Française, Paris.
- FERREIRA, C.G. (1987a) Proces de travail et rapport salarial dans l'industrie sidérurgique - étude de la formation des normes mondiales et du cas brésilien, Tese doutorado, Universidade de Paris X - Nanterre. Franca.
- FERREIRA, C.G. (1987b) Processo de trabalho e relação salarial: um marco teórico-analítico para o estudo das formas capitalistas de produção industrial, Belo Horizonte, CEDEPLAR, (Texto para Discussão no. 37).
- FREYSSNET, M. (1981), "L'automatisation dans l'histoire de la division capitaliste du travail", Mimeo. Seminário "Crises, nuevas tecnologias y processo de trabajo", UNAM/México, Julho/81.
- FREYSSNET, M. e OMNES, C (1982), La crise de la sidérurgie française, ed. Hatier, Paris.
- GARROUSTE, P. (1985), "Estude des modifications de la morphologie d'une filiere technique" in L'analyse de filiere, ADEFI/Economica, Paris.
- GILLE, B. (1966), Histoire de la métallurgie, PUF, Paris.
- GILLE, B. (org.) (1978) Histoire des techniques, Encyclopédie de la Pléiade, ed. Gallimard, Paris.

- GOLD, B. (1981), "Changing perspectives on size, scale and returns: an interpretive survey", Journal of economic literature, vol. XIX, mar/81.
- GRECO, A.M.F. (1984), A siderurgia estatal brasileira: um gigante com pés de barro, CMA/UFMG, dissertação de mestrado.
- IIDA, K. (1980), Origin and development of iron and steel technology in Japan, Univ. das Nações Unidas/Japão.
- LANDES, D.S. (1972), The unbound prometheus, Cambridge Univ. Press.
- LASSUDRIE-DUCHENE, B. (1982), "Décomposition internationale des processus productifs et autonomie nationale", in BOURGUINAT, H. (org.). Internationalisation et autonomie de décision, Economica, Paris.
- MADDALA, G.S. e KNIGHT, P.T. (1967), "International diffusion of technical change - a case study of the oxygen steel making process", The economic journal, no. 307, vol. LXXVII, set./67.
- MAXWELL, Ph. (1977), "Learning and technical change in the steel plant of Acindar S.A. in Rosário, Argentina", relatório de pesquisa, Mimeo., BID/CEPAL.
- MORVAN, Y. (1985a), "L'économie industrielle et la filiere" in L'analyse de filiere, ADEFI/Economica, Paris.
- MORVAN, Y. (1985b), Fondements d'économie industrielle, Economica, Paris.
- O.C.D.E. (1980), L'acier dans les années 80, Symposium de Paris, fev./1980.
- PEREZ, R. (1983), "Introduction méthodologique sur l'articulation filieres-stratégies" in Economie industrielle - problématique et méthodologie, ADEFI/Economica, Paris.

ROSENBERG, N. (1986), "L'exploitation commerciale de la science par l'industrie américaine" in SALOMON, J. - J. e SCHMEDER, G. (orgs.), Les enjeux du changement technologique, Economica, Paris.

SANTOS, A.C. (1986), O problema do trabalho na industrialização em Minas Gerais - o caso da siderurgia, CEDEPLAR/UFMG, dissertação de mestrado.

SCHMEDER, G. (1984), "Les interprétations technologiques de la crise", Critiques de l'économie politique, no. 26-27.

STORA, B. (1979), Crise, puissance, perspectives de la sidérurgie mondiale, Economica, Paris.

TODA, H. (1981), The iron and steel industry in Japan, Institute of developing economies, Tokio.

YACHIR, F. (org.) (1981), Stratégie des monopoles et développement mondial de la sidérurgie, C.R.E.A., Argel/Algérie.

YACHIR, F. (1984), Crise et redéploiement dans la sidérurgie, ed. Silex, Paris.

ZARIFIAN, Ph. (1983), "Qualification collective et automatisation: le cas de la sidérurgie", Formation emploi, no. 1.

ZARIFIAN, Ph. (1985), "La définition de l'activité de l'opérateur par les informaticiens dans la sidérurgie lourde", Formation emploi, no. 11.