

SÉRIE DOCUMENTOS TÉCNICOS

NOVEMBRO 2010 - Nº 09



Siderurgia no Brasil 2010-2025



cg ee

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

A **Série Documentos Técnicos** tem o objetivo de divulgar resultados de estudos e análises realizados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) com a participação de especialistas e instituições vinculadas aos temas a que se refere o trabalho.

Textos com indicação de autoria podem conter opiniões que não refletem necessariamente o ponto de vista do CGEE.



Siderurgia no Brasil 2010-2025

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) é uma associação civil sem fins lucrativos e de interesse público, qualificada como Organização Social pelo executivo brasileiro, sob a supervisão do Ministério da Ciência e Tecnologia. Constitui-se em instituição de referência para o suporte contínuo de processos de tomada de decisão sobre políticas e programas de ciência, tecnologia e inovação (CT&I). A atuação do Centro está concentrada nas áreas de prospecção, avaliação estratégica, informação e difusão do conhecimento.

PRESIDENTA

Lucia Carvalho Pinto de Melo

DIRETOR EXECUTIVO

Marcio de Miranda Santos

DIRETORES

Antônio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

EDIÇÃO E REVISÃO | *Tatiana de Carvalho Pires*

DESIGN GRÁFICO | *Eduardo Oliveira*

DIAGRAMAÇÃO | *Vinicius Romualdo*

APOIO TÉCNICO | *Maria Beatriz Pereira Mangas*

C389s

Siderurgia no Brasil 2010-2025; subsídios para tomada de decisão – Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

112p; il, 24 cm (Série Documentos Técnicos, 9)

1. Siderurgia do futuro - Brasil. 2. Estratégia setorial - Brasil. I. CGEE. II. Título.

CDU 669.1(81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgee.org.br>

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão CGEE – 11º Termo Aditivo - Ação/Subação: Tecnologias Críticas em Setores Econômicos Estratégicos - 51.4.1/MCT/2007.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

Sugestão de citação: CGEE, título, autoria, ano de publicação, CGEE: Brasília. *Impresso em 2010.*



Siderurgia no Brasil 2010-2025

SUPERVISÃO

Fernando Cosme Rizzo Assunção

CONSULTORES

André Luiz V. da Costa e Silva
Antônio Cezar Faria Vilela
Boaventura Mendonça d'Avila Filho
Carlos Augusto Oliveira
Claudio Parra De Lazzari
Carlos Hoffmann
Eduardo Osório
Ernandes Marcos da Silveira Rizzo
Ivani de S. Bott
Jacques Marcovitch
Joel Souza Dutra
José Carlos D'Abreu

José Murilo Mourão
Katsujiro Susaki
Lauro Chevrand
Luis Cláudio Pinto Oliveira
Marcelo de Matos
Mauro Ottoboni Pinho
Patrícia Helena Gambogi Bóson
Paulo Ludmer
Pedro Braga
Ronaldo Santos Sampaio
Sérgio de Jesus Pereira
Sérgio Valdir Bajay



cgEE

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

EQUIPE TÉCNICA DO CGEE

Elyas Ferreira de Medeiros (coordenador)



COMITÊ ORIENTADOR

Cássio Marx Rabello Costa | *ABDI*
Fernando Antonio Freitas Lins | *MME*
Horacício Leal Barbosa | *ABM*
Lélio Fellows Filho | *CGEE*
Rudolf Robert Bühler | *IABr*
Tólio Edeo Ribeiro | *MDIC*

INSTITUIÇÕES COLABORADORAS

ABDI | ABM | Aços Villares | Arcelor Mittal | BNDES | CGEE | CSN
Finep | Gerdau | Ibram | IABr | MDIC | MME | Samarco | Usiminas
Valourec-Mannesmann | Villares Metals | votorantim |

ESPECIALISTA RELATOR

Germano Mendes de Paula | *Instituto de Economia, UFU*

ESPECIALISTAS PROPONENTES

Boaventura Mendonça d'Avila Filho | *Setepla Tecnometal Engenharia*
José Carlos D'Abreu | *Engenharia de Materiais, PUC-Rio*
Marcelo de Matos | *De Matos Consultoria*

ESPECIALISTAS COLABORADORES

Antonio Laitano | *FINEP*
Cátia Mac Cord | *IABr*
Celso Antonio Barbosa | *Villares Metals*
Coletano B. de Abreu Neto | *Arcelor Mittal*
Daniel da Silva Marques | *Votorantim*
Ed Juarez Mendes Taiss | *Usiminas*
Eduardo Pessotti Rangel | *Samarco*
Eugênio de Felici Zampini | *Aços Villares*
Evando Mirra de Paula e Silva | *CGEE*
Fernando Antonio Freitas Lins | *MME*
José Falcão Filho | *Gerdau*
Márcio Frazão G. Lins | *CSN*
Marcos de Abreu Alecrin | *BNDES*
Nilton Sacenco | *MDIC*



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
TEMAS TECNOLÓGICOS ABORDADOS NESTE TRABALHO	9
TECHNOLOGICAL THEMES COVERED IN THIS STUDY	11
INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1	
MATÉRIAS-PRIMAS	17
1.1 Rotas tecnológicas	17
1.2 Minério de ferro	20
1.3 Carvão mineral	25
1.4 Carvão vegetal	31
CAPÍTULO 2	
REDUÇÃO	37
2.1 Pelotização e sinterização	37
2.2 Alto-forno a coque	40
2.3 Alto-forno a carvão vegetal	43
2.4 Redução direta e processos emergentes de redução	45
CAPÍTULO 3	
REFINO PRIMÁRIO (ACIARIA)	51
3.1 Aciaria LD	51
3.2 Aciaria elétrica	56
3.3 Produção direta de aço	60



CAPÍTULO 4

LINGOTAMENTO E LAMINAÇÃO	61
4.1 Tecnologia de processos em lingotamento e laminação	61
4.2 Produtos (aços planos e longos)	65

CAPÍTULO 5

GESTÃO AMBIENTAL	70
5.1 Gestão ambiental	70
5.2 Gestão de emissão atmosférica	73
5.3 Consumo de energia	76
5.4 Gestão dos resíduos e reciclagem	79
5.5 Gestão dos recursos hídricos	81

CAPÍTULO 6

DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES (RESUMO)	83
LISTA DE DOCUMENTOS INTERMEDIÁRIOS DO ESTUDO	103
LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS	110
LISTA DE QUADROS	111
LISTA DE SIGLAS	112



APRESENTAÇÃO

A indústria siderúrgica, historicamente, vem ocupando um papel de destaque no âmbito da economia brasileira. A constituição da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), nos anos 1940, foi um dos traços mais marcantes do esforço de industrialização do país. Cinco décadas depois, a privatização das grandes companhias siderúrgicas representou uma ruptura na forma de atuação do Estado na economia. Nos anos recentes, algumas companhias siderúrgicas brasileiras ampliaram seus investimentos no exterior, transformando-se em expoentes das multinacionais do país.

A siderurgia foi e continua sendo uma indústria essencial para o Brasil, na medida em que é o alicerce de várias cadeias produtivas, tais como a automotiva, a da construção civil, a de bens de capital, dentre outras. Ademais, atualmente, a siderurgia vivencia outro ponto de inflexão em face da retomada da ampliação acelerada da capacidade instalada. Em 2010-2011, inclusive, duas novas usinas siderúrgicas de grande porte entrarão em operação no país. Superados os impactos da crise econômico-financeira mundial de 2008, novos projetos começam a sair do papel. Trata-se, assim, de um momento oportuno para avaliar as perspectivas do setor, bem como propor diretrizes e recomendações.

É neste contexto que o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) apresenta os resultados finais do Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico, 2010-2025 (EPSS). Este foi uma iniciativa do Fórum de Competitividade do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). O EPSS esteve a cargo do CGEE, e foi desenvolvido em parceria direta com a Associação Brasileira de Materiais, Metalurgia e Mineração (ABM) e o Instituto Aço Brasil (IABr).

Um comitê de coordenação do EPSS teve a participação das seguintes instituições e empresas: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), ABM, Aços Villares, ArcelorMittal, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), CGEE, CSN, Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), Gerdau, IABr, Instituto Brasileiro de Mineração (Ibram), MDIC, Ministério de Minas e Energia (MME), Samarco, Usiminas, Valourec-Mannesmann, Villares Metals e Votorantim. A ampla participação de instituições de governo, de empresas e da comunidade acadêmica confere conformidade às expectativas da sociedade quanto ao diagnóstico e às proposições do EPSS.



O objetivo deste documento finalístico do EPSS é o de apresentar um conjunto de ações estruturantes que devem estar presentes no futuro da siderurgia brasileira. Para isto, foram elaboradas inicialmente 25 notas técnicas. Em seguida, em um grande esforço de sistematização, foram confeccionados dois documentos propositivos, sendo um relativo às recomendações político-institucionais e outro, às recomendações para a inovação tecnológica. Tais proposições foram discutidas em simpósios e oficinas e, agora, após períodos de reflexão e debates para seu desdobramento em uma agenda tecnológica setorial, o EPSS entrega à sociedade as principais conclusões, como subsídio à formulação de políticas públicas com alcance no horizonte de 2010 a 2015.



TEMAS TECNOLÓGICOS ABORDADOS NESTE TRABALHO

O Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico (EPSS) objetivou construir um conjunto de ações estruturantes que devem estar presentes no futuro (2010-2025) da siderurgia brasileira.

O EPSS reúne 25 notas técnicas, 02 relatórios propositivos (um trazendo subsídios do âmbito político-institucional; e outro, acerca das inovações tecnológicas) e este caderno, síntese de todo o esforço.

Aqui é relatado o contexto internacional e nacional que fundamenta os conjuntos de principais diretrizes subsidiárias aos processos de tomada de decisão setorial.

Os seguintes temas foram predominantes no estudo: matéria-prima, redução, refino primário, lingotamento e laminação, gestão ambiental.

As principais diretrizes apontadas foram:

Minério de ferro. Maiores investimentos em prospecção geológica; estudos adicionais para se adaptar à nova realidade das jazidas de ferro;

Carvão mineral e coqueria. Melhor conhecimento das reservas brasileiras de carvão mineral para o uso na cadeia siderúrgica; pesquisas quanto ao uso de carvão mineral nacional e do coque verde de petróleo;

Carvão vegetal. Expansão da base florestal; fontes alternativas de biomassa; melhoria do desempenho técnico-ambiental;

Pelotização e sinterização. Melhoria do desempenho técnico-ambiental das plantas em operação; desenvolvimento de tecnologias específicas;

Alto-forno a coque. Maior articulação empresa/governo/academia e programa de vigilância tecnológica; adoção de inovações incrementais;

Alto-forno a carvão vegetal. Alteração das legislações federal e estaduais; financiamento para a construção de usinas integradas a carvão vegetal; melhoria do desempenho técnico-ambiental;



Redução direta. Investigação acerca da viabilidade de implantar módulos de redução direta no país; programa de vigilância tecnológica para redução direta e para os processos emergentes de redução; apoio ao maior desenvolvimento tecnológico, em particular para tecnologias Tecnoled e Interferro;

Aciaia LD. Melhoria do desempenho ambiental; desenvolvimento de inovações incrementais;

Aciaia elétrica. Fornecimento de energia elétrica a custos competitivos; desenvolvimento de modelamento matemático para controle do processo dinâmico;

Produção direta do aço. Programa de vigilância tecnológica; desenvolvimento científico-tecnológico;

Processos em lingotamento e laminação. Aprofundamento do conhecimento de tecnologias ainda não disseminadas na siderurgia brasileira; melhoria das condições operacionais das tecnologias já adotadas pelas siderúrgicas brasileiras;

Produtos. Vigilância tecnológica em relação aos novos produtos siderúrgicos e articulação entre as usinas siderúrgicas e os consumidores; apoio ao desenvolvimento de produtos siderúrgicos de maior sofisticação tecnológica;

Gestão ambiental. Aprimoramento dos modelos de gestão empresarial; articulação governo/sociedade/empresa com definição de projetos ambientais prioritários e defesa dos interesses setoriais em negociações internacionais;

Gestão de emissão atmosférica. Estímulo ao uso do carvão vegetal no setor; maior conhecimento de progressos tecnológico que permitam a retração das emissões atmosféricas em usinas integradas a coque;

Consumo de energia. Diminuição do consumo de energia pela indústria siderúrgica brasileira;

Gestão de resíduos e reciclagem. Aperfeiçoamento dos esforços já realizados na gestão de resíduos e reciclagem; e,

Gestão de recursos hídricos. Aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos.



TECHNOLOGICAL THEMES COVERED IN THIS STUDY

The EPSS (Prospective Study of the Steel Sector) main goal is to show a set of structural initiatives for the future of the Brazilian steel industry, covering 2010-2025. It consists of 25 technical reports and two recommendations - one regarding the political and institutional features and the other concerning technological innovations.

Further, the EPSS discusses the international and national contexts for the steel industry, presenting guidelines and recommendations for the following issues: raw materials, reduction, primary refining, continuous casting, rolling mills and environmental management.

The EPSS key recommendations for the above subjects are:

Iron ore: Higher investments for geological survey; additional studies to establish technical innovations to attend the new iron ore mines conditions;

Coal and coking: Better knowledge of the Brazilian coal reserves, aiming at the steel industry; research on the utilization of domestic coal and petroleum coke;

Charcoal: Expansion of the forest base; search for alternative sources of biomass; improvement of the technical and environmental aspects of the char processes;

Pelletizing and Sintering: Enhancement of the technical and environmental performance of the plants; development of specific agglomeration technologies;

Coke Blast-Furnace: Better articulation among companies, governmental entities and universities and technological surveillance; monitoring, selection and absorption of incremental innovations;

Charcoal Blast-Furnace: Modification of the federal and state legislations; financing studies on charcoal-integrated steelworks implementation; improvement for technical and environmental mini blast-furnace performance;

Direct Reduction: Feasibility studies concerning the direct reduction processes implementation; program of technological surveillance focusing direct reduction processes and emerging technologies; support Brazilian technological developments, in particular, regarding the TecnoRed and the Interferro processes;



Basic oxygen furnace (LD): Efforts for environmental impact minimization; development of incremental innovations for the process;

Electric arc furnace (EAF): Availability of electric power at competitive costs; development of mathematical models for dynamic process control;

Direct steelmaking: Program of technological surveillance; support to scientific-technological research;

Continuous casting and rolling processes: Development of mathematical models for process simulation and control; improvement in operational performance of the technologies in use;

Products: Technological surveillance concerning new steel products; articulation between steel companies and consumers; financial support to the development of high mechanical-metallurgical and chemical performance steel products;

Environment general issues: Generation of smart management models; articulation among government, communities and companies for the definition of environmental projects and policies for defending the sector's interests in the international negotiation forums;

Management of atmospheric emissions: Incentive to the use of charcoal as fuel and thermo-reductant agent in steelworks; research and feasibility studies that allow abating atmospheric emissions at coke base integrated steel plants;

Energy consumption: Development and implementation of technical innovations to decrease the energy consumption by the Brazilian steel industry;

Management of residues and recycling: Efforts to enhance the recovery, reducing and recycling steel wastes in general; improve the management techniques for residues handling, recovering and disposal;

Water management: Improvement in water treatment and reclaiming processes for industrial reuse.



INTRODUÇÃO

Pensar estrategicamente o futuro do país requer investigar vários temas, inclusive os relacionados às perspectivas da indústria de transformação. No âmbito desta, a siderurgia vem sendo protagonista em termos do esforço de modernização tecnológica e da adoção das melhores práticas de gerenciamento ambiental.

Os cenários para a siderurgia brasileira são preponderantemente otimistas. Do ponto de vista da oferta, vislumbra-se um substancial incremento, não apenas em função dos investimentos realizados pelas empresas já atuantes, mas também como resultado de novos entrantes na indústria. Do lado do consumo, as perspectivas de crescimento também são muito positivas, uma vez que a demanda doméstica de produtos siderúrgicos vem sendo impulsionada pela ampliação da renda da população e da expansão do crédito e ainda pelo ressurgimento de indústrias consumidoras de aço, como a da construção naval.

Resultado de dois anos de trabalho, o EPSS é composto por 25 novas técnicas, dois relatórios de recomendações (um versando sobre aspectos político-institucionais e outro, acerca das inovações tecnológicas) e este relatório-síntese, na forma de caderno contendo subsídios prioritários às tomadas de decisões setoriais.

Um dos desdobramentos almejados do EPSS é subsidiar para a formulação de políticas públicas, uma vez que sintetiza as propostas de diretrizes para o setor nos próximos 15 anos. Contudo, o EPSS não é uma obra direcionada apenas aos governos. Ao contrário, ele pretende contribuir na elaboração de estratégias empresariais, para uma maior aproximação dos projetos acadêmicos aos planos da indústria e, assim, para um adensamento da relação entre empresa, universidade, centro de pesquisa no âmbito da cadeia minero-metalúrgica.

Com a publicação do EPSS, pretende-se também chamar a atenção para as boas perspectivas de geração de empregos na indústria siderúrgica brasileira. São esperados, como resultado da expansão da produção de aço no país, que sejam criados entre 30 e 40 mil novos postos de tra-



balho até 2015. A maior parte desses novos empregos exigirá pessoas qualificadas. Atualmente, 68% do efetivo próprio das siderúrgicas já possuem nível médio e outros 20%, o nível superior de formação acadêmica. É lícito acreditar que estes percentuais sejam até mais elevados no que tange às novas contratações.

Ainda em relação ao mercado de trabalho, a expansão da siderurgia brasileira implicará considerável demanda por engenheiros. Como se sabe, tais profissionais contribuem para a inovação, como consequência de sua vocação para a busca de soluções de gargalos e de aproveitamento de oportunidades.

Com a economia brasileira crescendo a um ritmo acelerado nos próximos anos, o risco da escassez de engenheiros tende a ser elevado. Em 2008, apenas 47 mil pessoas concluíram graduação de engenharia no país, dos quais aproximadamente 9,6 mil nos campos da mineração, metalurgia e mecânica. Trata-se de um número relativamente baixo, principalmente ao ser comparado com a demanda atual e futura por recursos humanos por parte da cadeia mineiro-metalúrgica.

Nesse sentido, é premente a necessidade de se iniciar o debate sobre a criação e reativação de cursos de engenharia de materiais e metalúrgica, de tal forma a atender as futuras demandas. Para este campo do conhecimento, é salutar promover uma avaliação das grades curriculares, com a participação das empresas, do governo e da academia, levando-se em conta as novas competências requeridas no mercado de trabalho, em geral; e pelas companhias mineiro-metalúrgicas, em particular. No curto prazo, deveriam ser criados mecanismos visando a facilitar a entrada de engenheiros estrangeiros no país, bem como instrumentos para o aperfeiçoamento do pessoal já ocupado.

Este documento técnico não foi elaborado para ser lido apenas pela comunidade siderúrgica. Porém, não é uma tarefa fácil traduzir os resultados coletivos de um estudo multi-institucional, para o público não-especializado, especialmente quanto a termos técnicos em inglês. Para tentar mitigar tal dificuldade, optou-se por citar os nomes das tecnologias em português, seguido pela sua denominação em inglês, e ainda pela sigla em inglês, que, na maioria das vezes, é a forma pela qual ela é mais conhecida.

Três outras preocupações nortearam a elaboração deste documento: primeiro, cada seção foi segmentada em contexto internacional, contexto nacional, diretrizes e recomendações, com a expectativa de que isto facilite a leitura; segundo, o CD (na terceira capa) permite acesso às no-



tas técnicas originais, que serviram de suporte a este texto, e nas quais constam as referências bibliográficas consultadas pelos especialistas de cada tema; terceiro, as recomendações formuladas ao longo da elaboração do EPSS, em geral de caráter mais específico, foram aglutinadas em diretrizes.

Este caderno consiste de seis capítulos. Os quatro primeiros seguem a ordem do processo produtivo siderúrgico, a saber: matéria-prima; redução (cujo equipamento mais conhecido é o alto-forno); refino primário (aciaria); lingotamento e laminação (mais relacionado aos produtos, como vergalhões e chapas). O quinto capítulo é dedicado à gestão ambiental, um tema que perpassa todas as atividades de uma usina siderúrgica. O sexto capítulo corresponde a uma rerepresentação das diretrizes e recomendações, que passam a ser relacionadas aos conceitos de competitividade sistêmica e estrutural, bem como aos programas tecnológicos sugeridos.





CAPÍTULO 1

MATÉRIAS-PRIMAS

1.1 Rotas tecnológicas

Contexto internacional

Existem duas rotas tecnológicas predominantes na indústria siderúrgica mundial:

- As usinas integradas a coque;
- As usinas semi-integradas.

Nas usinas integradas a coque (Figura 1.1), as áreas de transformações do minério de ferro e do aço encontram-se presentes em uma única unidade industrial. Assim, partindo-se do minério de ferro (ou de seus produtos, sinter e pelota), coque e fundentes, chega-se ao ferro-gusa que, posteriormente, é convertido em aço. Após transformação mecânica (laminação), o aço é comercializado no mercado sob a forma de produtos planos (chapas e bobinas) e longos (vergalhões, barras e perfis). Assim, uma usina integrada a coque é, tipicamente, composta de três etapas:

- Redução (cujo objetivo é a fabricação do ferro-gusa);
- Refino (produção e resfriamento do aço);
- Transformação mecânica (produtos siderúrgicos destinados à comercialização).

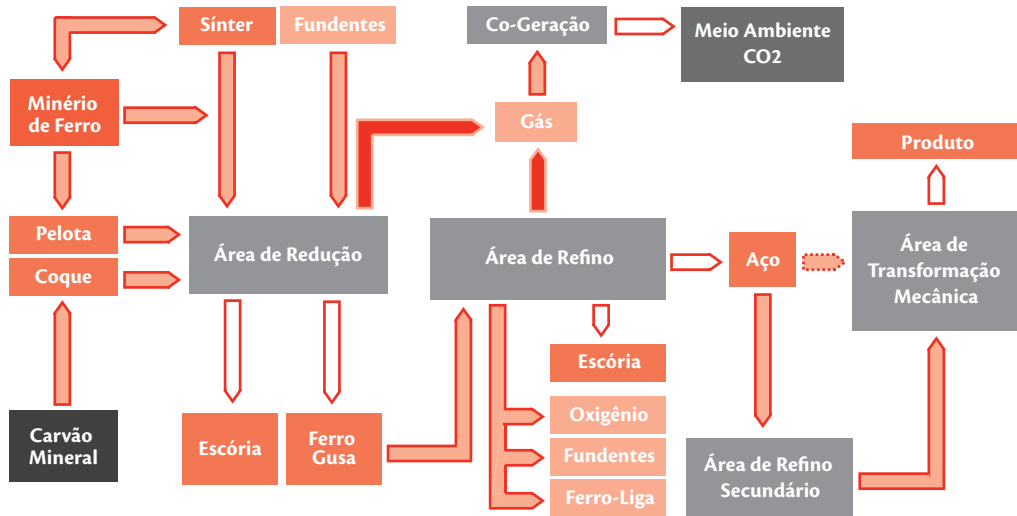


Figura 1.1: Usinas integradas a coque

As usinas semi-integradas não possuem a etapa de redução (Figura 1.2). Portanto, trata-se de um processo mais compacto, razão pela qual elas são usualmente chamadas de *minimills*. As aciarias são alimentadas principalmente com sucata ferrosa e, em menor intensidade, por ferro-gusa e pré-reduzidos (ferro diretamente reduzido, *direct reduced iron*, DRI; e ferro briquetado a quente, *hot briquetted iron*, HBI). Resumidamente, a usina semi-integrada consiste das áreas de refino e de transformação mecânica.

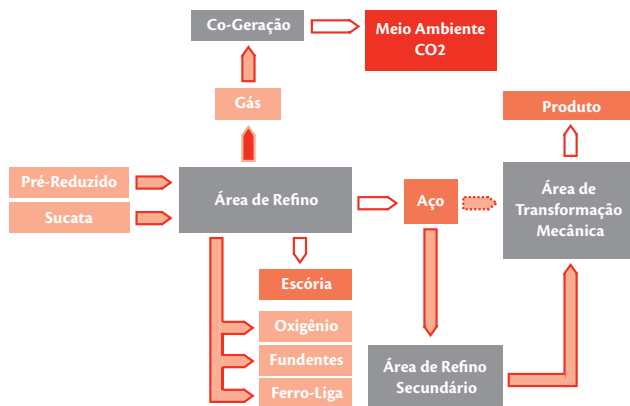


Figura 1.2: Usinas semi-integradas



Existe uma terceira rota tecnológica cuja difusão é mais reduzida em termos mundiais. Trata-se da usina integrada à redução direta (RD), que possui as três áreas produtivas: redução, refino e transformação mecânica. Ela apresenta duas importantes diferenças em relação às usinas integradas a coque. Primeiro, na etapa de redução, ao invés de sinterização, coqueria e alto-forno, ela utiliza módulos de redução direta. Segundo, na fase de refino, em vez de aciaria básica a oxigênio, ela faz uso de aciaria elétrica. Tais tecnologia serão examinadas nos capítulos 2 e 3.

Contexto nacional

O parque siderúrgico brasileiro é bastante diversificado, no que tange às configurações produtivas, possuindo os seguintes tipos de usinas: integrada a coque, semi-integrada, integrada à redução direta, integrada a carvão vegetal e produtor independente de ferro-gusa à base de alto-forno a carvão vegetal.

Ressalte-se que o uso do carvão vegetal como redutor (ao invés do carvão mineral), é uma peculiaridade da siderurgia brasileira. A Figura 1.3 apresenta a configuração esquemática do produtor independente de ferro-gusa (o “guseiro”). Ele não fabrica aço, mas apenas o ferro-gusa, em grande parte direcionada ao mercado externo.

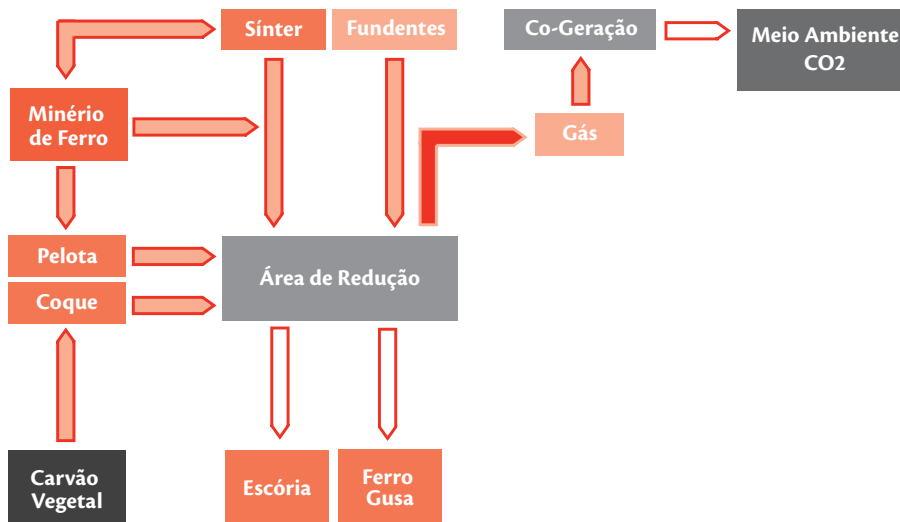


Figura 1.3: Produtores independentes de ferro-gusa



Como esta seção tem a finalidade de apresentar, de forma simplificada, os principais tipos de usinas siderúrgicas, diferentemente do restante do relatório, ela não contém uma subseção específica relativa às diretrizes e recomendações.

1.2 Minério de ferro

Contexto internacional

A mineração de ferro vem experimentando uma expansão substancial nos últimos anos, fruto da grande escalada de produção e do consumo de aço nos países asiáticos, em geral, e na China, em particular. O crescimento exponencial da economia nessa região vem acarretando o incremento da demanda por produtos siderúrgicos. Esta trajetória vem sendo reforçada pelos significativos investimentos governamentais em infra-estrutura, pelo desenvolvimento da indústria de bens de capital (equipamentos) e pelo incremento do consumo de bens duráveis (automóveis e linha branca, por exemplo), entre outros fatores.

O minério de ferro é a matéria-prima básica da siderurgia, respondendo pelas unidades metálicas (Fe) de alimentação dos reatores de redução, como o alto-forno e o módulo de redução direta. Processado nessas instalações, o minério dá origem ao ferro primário – ferro-gusa, DRI e HBI – que, tratado nas aciarias, converte-se em aço. É importante sublinhar que a sucata ferrosa tem também um importante papel na siderurgia, por meio da sua utilização direta nos fornos elétricos a arco (*electric arc furnace*, EAF) e como complemento de carga nos conversores básicos a oxigênio. No entanto, a sucata ferrosa possui uma representatividade menor que a do minério de ferro, respondendo por cerca de 30% do suprimento de unidades de ferro à siderurgia mundial.

O minério de ferro é quase que totalmente utilizado na indústria siderúrgica (> 97%). Pequenas parcelas do montante de produção são destinadas às indústrias de cimento, química etc. A Figura 1.4 apresenta a interdependência da mineração de ferro e da siderurgia em mais detalhes. Por meio das operações de lavra, faz-se a exploração (aproveitamento econômico) do minério da jazida, encaminhando-se o produto bruto (comumente chamado de *run of mine*, ROM), para o tratamento ou mesmo beneficiamento. Então, este material é submetido a uma série de operações de fragmentação, classificação por tamanhos, concentração, desaguamento etc., visando a adequá-lo química, física e metalurgicamente ao atendimento das exigências dos processos siderúrgicos.

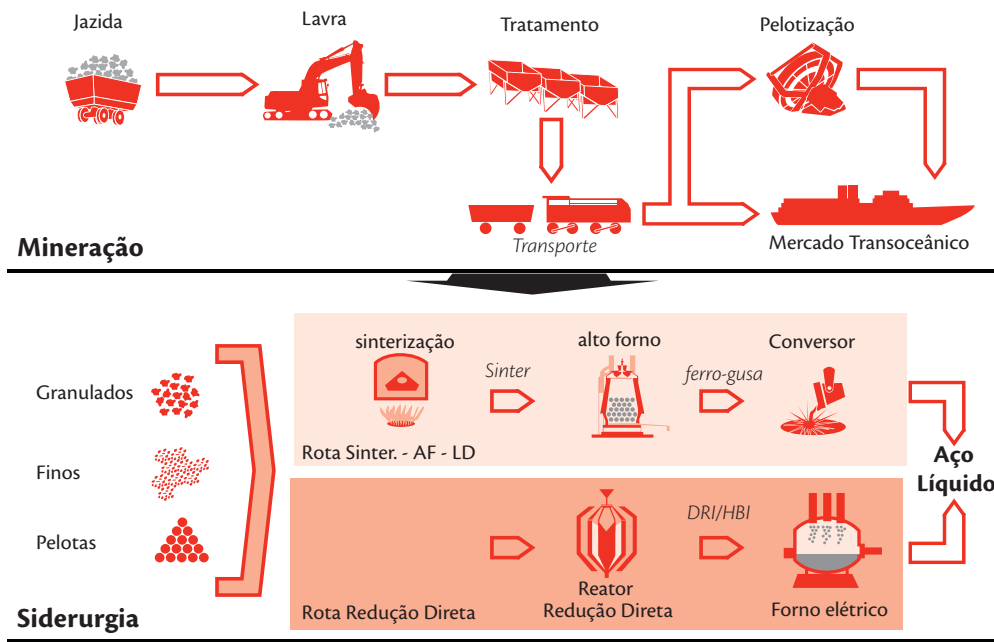


Figura 1.4: A mineração de ferro e a siderurgia

Fonte: Vale

Um aspecto muito importante para caracterizar os produtos minerais que saem da usina de tratamento é a sua distribuição granulométrica. Durante o desmonte, a lavra, a fragmentação e o manuseio, muitos finos são gerados, os quais são inadequados ao uso direto nos reatores de redução (alto-forno e módulo de redução direta), sendo aglomerados previamente, em plantas de sinterização ou pelletização. De um modo geral, os produtos de minerais de ferro, em função da granulometria, podem ser classificados em granulado (ou *lump*), fino para sinterização (*sinter feed*) e fino para pelletização (*pellet feed*). A faixa de tamanho do granulado é de 6,3 a 31,7 mm; a do *sinter feed*, de 0,15 a 6,3 mm; e a do *pellet feed*, abaixo de 0,15 mm.

A mineração de ferro é tanto mais econômica, quanto maior a proporção de granulado. A qualidade das reservas e jazimentos são determinantes nesse aspecto. Os processos de concentração e aglomeração são de alto custo operacional, requerem grandes montantes de investimento e acarretam considerável impacto ambiental. A produção de *sinter feed* e *pellet feed* nas minas implica a necessidade de suas prévias aglomerações para que possam ser utilizados na siderurgia. As cargas



metálicas típicas dos altos-fornos consistem de: granulado, sínter (4 a 50 mm) e pelota (8 a 18 mm). Por sua vez, a carga dos módulos de redução direta contempla granulado e pelota (8 a 18 mm).

Diferentes minérios de ferro, devido às variadas gêneses, possuem propriedades totalmente distintas e, em consequência, comportamentos muito variados, não só nas operações de lavra e beneficiamento, mas também nos reatores dos processos siderúrgicos. Da mesma forma, aglomerados como as pelotas apresentam características e desempenho na redução, também, muito particulares e variados, dependendo do tipo de pellet feed, fundentes, grau de moagem etc., utilizados na sua fabricação. Considerando as evidências de que os minérios de ferro e as pelotas possuem identidade própria, tais produtos não devem ser classificados como commodities.

No âmbito mundial, verifica-se a degradação das reservas e da produção de minério granulado, tanto em volume, quanto em qualidade. Em 1983, a produção mundial de granulado foi de 108 milhões de toneladas, o equivalente a 45% do mercado transoceânico e a 25% da produção total de minério de ferro. Em 2000, a despeito do crescimento considerável da produção global de minério de ferro, a quantidade de granulado já havia retraído para 77 milhões, passando a representar apenas 19% do mercado transoceânico e 8% da produção global do minério. Quanto à qualidade, constata-se uma redução progressiva na resistência e nas características químicas dos minérios granulados disponíveis no mercado: teor contido de ferro (quanto maior, melhor é o minério), alumina e fósforo (quanto maior, pior é o minério).

Quando se analisam os novos projetos de empresas estabelecidas e de potenciais entrantes na mineração mundial de ferro, verifica-se que vários empreendimentos tendem a gerar um volume crescente de *pellet feed*, sendo que, em alguns casos, este tipo de minério responderá pela totalidade da futura produção. Nessas condições, maiores custos serão incorridos devido a maior intensidade dos investimentos (\$/capacidade instalada) e maior complexidade das operações de mineração e beneficiamento.

A pelotização de minérios de ferro vem ganhando cada vez mais importância, em função de quatro fatores principais:

- a) a degradação dos granulados vem estimulando o incremento do uso das pelotas na carga dos altos-fornos;
- b) as restrições ambientais à expansão da sinterização, já em vigor nos países desenvolvidos, também vêm induzindo ao maior consumo de pelotas;



- c) a maior difusão da tecnologia de redução direta vem ampliando a demanda de pelotas para esta aplicação específica;
- d) a crescente geração de *pellet feed* vem consolidando a pelotização como a tecnologia mais adequada para o uso deste minério superfino.

Contexto nacional

O Brasil possui a quinta maior reserva de minério de ferro do globo, em termos de ferro contido. Porém, quando se levam em consideração os contaminantes, as reservas brasileiras situam-se em lugar de absoluto destaque, configurando-se como as mais puras, mundialmente. Em termos da siderurgia brasileira, baseando-se na demanda de minério de ferro atual e projetada, assim como nas reservas do país, pode-se afirmar que as empresas desse setor estarão seguras quanto ao suprimento, em quantidade e qualidade, com benefícios para a sua competitividade.

O país é, ainda, um dos maiores produtores de minério de ferro do mundo, não só em quantidade, como também em qualidade. Embora as reservas brasileiras venham aumentando ao longo do tempo, é importante destacar que esse crescimento é relacionado ao incremento da participação dos itabiritos de Minas Gerais, mais especificamente do Quadrilátero Ferrífero. Novas pesquisas geológicas não têm relatado ocorrências de hematita compacta, em montante apreciável. Ao contrário, muitos estudos têm mostrado que novos jazimentos serão basicamente de itabirito, podendo gerar até 100% de *pellet feed*, no beneficiamento.

Reforçando o argumento, as hematitas estão em processo de exaustão nas reservas conhecidas do Quadrilátero Ferrífero e, por conseguinte, haverá escassez de granulado, em futuro não muito distante. Sendo mais pobres em ferro, os itabiritos necessitam de plantas mais complexas de beneficiamento, com etapas de concentração mais sofisticadas e com menores índices de recuperação metálica. No futuro próximo, existe a expectativa de que os minérios lavrados terão teores mais elevados de fósforo e alumina. O volume de minério ultrafino, tipo *pellet feed*, também aumentará, principalmente em função dos novos projetos, reforçando a necessidade de plantas de pelotização.

O consumo interno de minério de ferro pela siderurgia é de cerca de 15% da quantidade produzida no país. Portanto, o setor siderúrgico nacional estará suprido, no médio e longo prazo, com o melhor produto disponível no mercado mundial. No que tange aos preços, o seu incremento tem tornado viáveis vários recursos minerais, que anteriormente eram considerados antieconômicos. Isto, por sua vez, tem estimulado as companhias siderúrgicas a buscarem auto-suprimen-



to, por meio de integração vertical, passando a adquirir minas existentes e/ou desenvolvendo novas minas de ferro.

Diretrizes e recomendações

As recomendações decorrem principalmente do fato de que a expansão da produção de minério de ferro está sendo associada à exploração de minérios de pior qualidade. Assim, duas são as diretrizes principais:

- a) Maiores investimentos em prospecção geológica, visando à descoberta de reservas com maiores porcentagens de granulado e menores teores de impureza, especialmente de fósforo;
- b) Estudos adicionais para se adaptar à nova realidade das jazidas de ferro, que apontam para o esgotamento dos granulados e uma composição química de pior qualidade (Figura 1.5).



Figura 1.5: Minério de ferro - situação atual e diretrizes

A primeira diretriz (a) não possui desdobramento em recomendações mais específicas; a segunda (b) engloba as seguintes recomendações:

- Criar uma plataforma para o desenvolvimento de estudos em minério de ferro, tendo-se em conta os aspectos econômicos, as novas tecnologias e processos, a diminuição do consumo de energia e os impactos ambientais;



- Incentivar, ampliar e consolidar as integrações siderurgia/mineração e siderurgia/mineração/academia, visando ao desenvolvimento de soluções para o aproveitamento de finos de minério de ferro e minérios com maiores teores de impurezas, especialmente de fósforo.
- Incentivar e consolidar os estudos de geometurgia dos minérios de ferro, visando à mensuração dos seus valores de uso (value in use);
- Estimular estudos fundamentais acerca da mineralogia da alumina e do fósforo nos minérios de ferro e as reais possibilidades de sua extração por processos de concentração, em particular a flotação;
- Avaliar, por meio de estudos de caracterização química, o potencial de impacto ambiental dos diferentes minérios de ferro brasileiros (por exemplo, a produção de dioxinas no processo de sinterização);
- Investir nos estudos de beneficiamento dos itabiritos e outros minérios de menor teor de ferro contido.

A discussão das recomendações e diretrizes para o processo de pelotização propriamente dito será apresentada na seção 2.1.

1.3 Carvão mineral

Contexto internacional

Carvão é uma rocha sedimentar combustível oriunda de matéria orgânica. A lavra de carvão pode ser a céu aberto ou subterrânea, conforme a profundidade da camada de carvão a ser minerada. O beneficiamento dos carvões tem por objetivo reduzir o teor de matéria inorgânica (formadora das cinzas) e de enxofre. Aproximadamente 80% das reservas de carvões no mundo situam-se no Hemisfério Norte. Os maiores produtores são China, Estados Unidos, Rússia e Austrália, sendo este o maior exportador mundial de carvão.

A principal utilização de carvão no mundo é na geração de eletricidade, com um consumo anual de 2,9 bilhões de toneladas. O carvão para uso siderúrgico é o segundo maior mercado mundial deste produto, com um consumo anual superior a 600 milhões de toneladas. Nesta indústria, a maior aplicação do carvão é para produção de coque, a ser empregado no alto-forno. Entretanto, somente 15% das reservas mundiais de carvão possuem as propriedades requeridas para



a coqueificação, ocasionando um alto valor deste tipo de carvão no mercado internacional. Os carvões que formam coque são denominados carvões coqueificantes.

Para o processo de coqueificação é necessário que o carvão possua propriedades coqueificantes, isto é, quando aquecido em ausência de ar, ele deve: amolecer, inchar, aglomerar e, finalmente, solidificar na forma de um sólido poroso e rico em carbono, de alta resistência mecânica, chamado coque. A escassez de carvões coqueificáveis faz com que se utilize uma mistura de vários tipos de carvões – classificados como baixo, médio e alto volátil, cujo somatório de suas propriedades possibilita produzir um coque adequado. Na escolha e ponderação dos carvões, os fatores econômicos são sempre levados em consideração.

O processo de coqueificação consiste em um aquecimento de carvões coqueificáveis, em ausência de ar, até cerca de 1.100 graus Celsius. Ocorre, então, uma decomposição térmica que dá origem aos produtos voláteis e ao coque. As baterias de fornos de coque dividem-se entre aquelas que permitem ou não o aproveitamento dos coprodutos. De um lado, nas coquearias com recuperação de coprodutos, a matéria volátil liberada do carvão durante o processo de coqueificação é coletada para posterior tratamento. Esses coprodutos líquidos processados originam uma ampla variedade de produtos químicos comercializáveis. Os resíduos e os gases são usados como combustíveis. De outro, nas baterias de coque sem recuperação (*non-recovery*), o gás residual é alimentado em uma caldeira de recuperação de calor, convertendo o excesso de calor e a energia química do gás em vapor para geração de energia. Uma vantagem desta tecnologia é que não ocorrem vazamentos de quantidades apreciáveis de emissões.

Um segundo uso de carvão na siderurgia diz respeito à injeção de carvão pulverizado (*pulverized coal injection*, PCI) nas ventaneiras do alto-forno, de tal forma a substituir uma parte do coque necessário para a produção de ferro-gusa. O preço deste carvão energético, que não possui características aglutinantes, é menor. Registre-se que este carvão possui restrições químicas (cinzas e enxofre) similares ao do carvão coqueificável.

Uma terceira aplicação relaciona-se ao uso de carvões não-coqueificáveis, mais baratos, como fonte de energia e de gás redutor, nos processos de redução direta e de fusão-redutora (*bath smelting*). As características dos carvões (matéria volátil e cinzas) variam para cada um dos processos. Ressalte-se que o processo de redução direta com redutor sólido permite a utilização de carvões com altos teores de cinzas e voláteis.



Contexto nacional

A produção brasileira de carvão é equivalente a 0,1% do total mundial. No país, o maior consumo de carvão é justamente na produção de coque de alto-forno. Deve ser salientado que, atualmente, todo o carvão para uso siderúrgico é oriundo do exterior, tendo a Austrália como principal fonte de suprimento. As importações superam 13 milhões de toneladas ao ano. Os seis milhões de toneladas de carvão produzidas no Brasil são predominantemente consumidas na geração de termoeletricidade.

Há uma grande incerteza quanto às reservas efetivas de carvão mineral no Brasil, devido à carência de dados geológicos que demonstrem a verdadeira extensão das reservas brasileiras. Os últimos estudos de prospecção realizados pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM), na região Sul, datam do início da década de 1980. As jazidas brasileiras conhecidas de carvão localizam-se na região Sul, sendo que 78% das reservas encontram-se no Rio Grande do Sul, seguido por Santa Catarina e menos de 1% no Paraná. Praticamente toda a produção de carvão no Brasil é empregada para a geração de energia elétrica em centrais térmicas na Região Sul.

Os carvões da Região Sul são de baixo grau de carbonificação (*rank*), denominados comercialmente como alto voláteis, e de elevado teor de cinzas (cerca de 50%) e teor variável de enxofre. O carvão bruto ROM possui 1% de enxofre no Rio Grande do Sul, 4% em Santa Catarina e 7% no Paraná. Em geral, este material possui beneficiamento difícil e com baixo rendimento.

A partir dos anos 1960 até o ano de 1990, a camada Barro Branco, nas proximidades de Criciúma (Santa Catarina) foi lavrada para produção de carvão metalúrgico. Em 1985, por exemplo, chegaram a ser lavradas 25 milhões de toneladas de carvão ROM, contendo altos teores de cinzas (60% a 65%) e de enxofre (3%), bem como baixo rendimento (5%). Entretanto, como fator positivo, tinha uma alta fluidez. A participação do carvão metalúrgico nacional na mistura de carvões reduziu-se ao longo do tempo de 40% para 7%. A principal causa para esse decréscimo foi a estagnação da produção, ao redor do patamar de um milhão de toneladas por ano.

A interrupção no uso do carvão mineral brasileiro coqueificável, em 1990, foi uma decorrência da alteração de políticas governamentais. O processo de liberalização econômica e desregulamentação iniciado no governo Collor contemplou o fim da obrigatoriedade da compra do carvão nacional (que custava quase o dobro dos carvões importados), o término da concessão de subsídios ao transporte de carvão e a diminuição dos impostos de importação de carvões.



Atualmente, a retomada das atividades da exploração do carvão Barro Branco enfrenta dois consideráveis obstáculos:

- a) a proximidade do litoral, o que dificulta a obtenção das licenças ambientais;
- b) a deficiência na logística de transporte para as usinas siderúrgicas.

Deve-se também recordar que, entre o início da década de 1970 até o ano de 1990, foi operada a planta de redução direta de tecnologia SL/RN na então Aços Finos Piratini (AFP). Esta usina, instalada no Rio Grande do Sul, foi privatizada em 1992, sendo atualmente uma subsidiária da Gerdau. Inicialmente, foi lavrado o carvão da mina subterrânea de Charqueadas e, depois, o da mina a céu aberto de Recreio. O carvão ROM, com teor de cinzas de 50%, era beneficiado de tal forma a resultar num carvão redutor com 33% cinzas e 0,7% de enxofre, características que satisfaziam plenamente as exigências do processo: carvão tipo energético e não-aglutinante. Ela foi a primeira planta industrial SL/RN no mundo a operar com tal tipo de carvão. O sucesso desta instalação, no que tange ao uso de carvões de alto teor de cinzas, incentivou a implantação desse processo em países como a Índia e a África do Sul. A principal causa da desativação da planta foi a baixa competitividade, em função da pequena escala de produção (60 mil toneladas).

De forma similar às congêneres internacionais, as usinas siderúrgicas brasileiras costumam empregar misturas compostas de carvões diferentes (baixo, médio e alto volátil), que apresentam distintas propriedades coqueificantes. Até meados da década passada, todas as coquearias eram baseadas na tecnologia de recuperação de coprodutos. Todavia, em 2007, a Sol Coquearia Tubarão colocou em operação a primeira coquearia *non-recovery*, em Vitória (Espírito Santo).

Hoje, o carvão mineral é um insumo importado em sua totalidade pela indústria siderúrgica brasileira, tanto para a produção de coque, quanto para a injeção de finos nos altos-fornos. Assim, os fretes marítimos, a variação cambial e os custos de internação se constituem em desvantagens competitivas para as siderúrgicas brasileiras. Países como a Ucrânia, a Austrália, o Canadá, a África do Sul e a Rússia, que têm o carvão mineral e o minério de ferro em quantidades apreciáveis, são importantes competidores do Brasil.

A situação de dependência total de carvões importados por parte da siderurgia brasileira pode vir a ser alterada. Em termos da demanda de carvões, tem se observado o incremento da taxa de injeção de finos de carvão minerais não-coqueificáveis nos altos-fornos. No que tange à oferta doméstica de carvões, estudos relativos ao carvão mineral da Região Sul têm mostrado sua viabilidade para o processo de injeção pelas ventaneiras. Ademais, técnicas bem-sucedidas de



mitigação dos impactos ambientais vêm sendo desenvolvidas nas áreas de lavra dos carvões de Santa Catarina. Deve-se também mencionar que existem perspectivas reais quanto ao aumento da produção de coque verde de petróleo (CVP) de baixo enxofre, pelas refinarias de petróleo instaladas no país.

Diretrizes e recomendações

As recomendações derivam do fato que, desde 1990, quando foi interrompida a produção brasileira de carvão mineral coqueificável, a indústria siderúrgica vivenciou transformações relevantes, em particular em termos da maior injeção de finos de carvão nas ventaneiras dos altos-fornos. Ademais, uma nova oportunidade decorre do incremento da produção de CVP no país.

As recomendações (que também abrangem as atividades de coqueria) podem ser agrupadas em duas diretrizes principais:

- a) O melhor conhecimento das reservas brasileiras de carvão mineral para o uso na cadeia siderúrgica, à luz das práticas industriais atuais;
- b) O desenvolvimento de pesquisas quanto ao uso de carvão mineral nacional e do coque verde de petróleo pelas empresas integrantes da cadeia siderúrgica (Figura 1.6).

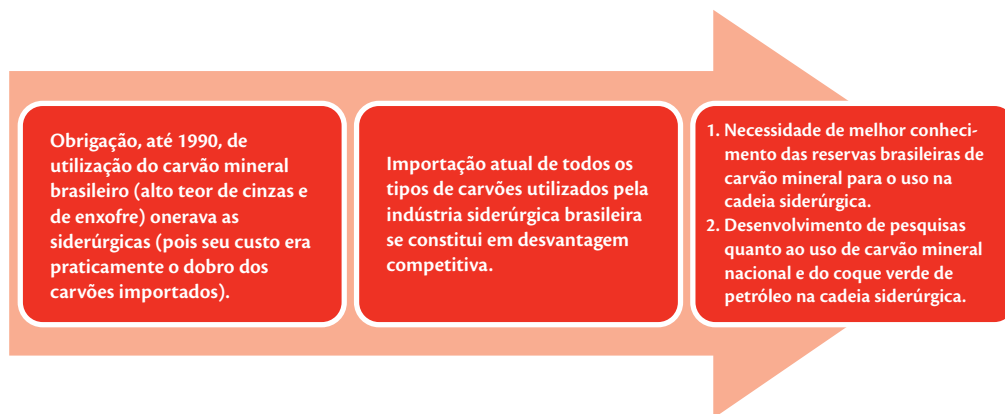


Figura 1.6: Carvão Mineral - situação atual e diretrizes

Quanto ao primeiro grupo de prioridades, recomenda-se o desenvolvimento de estudos que permitam definir, da maneira mais completa e realista possível, e sob os pontos de vista econô-



mico, ambiental, social, político e tecnológico, o potencial real das reservas brasileiras de carvão mineral para utilização na cadeia siderúrgica. Para isto, é importante:

- Apoiar as investigações de caráter multi-institucional (projeto nacional), englobando as atividades de pesquisa mineral, tratamentos de concentração e usos do carvão;
- Investir em estudos geológicos visando à determinação segura das reservas atuais e ao real potencial carbonífero do país para uso na siderurgia;
- Avaliar, para as reservas existentes e para os possíveis potenciais, os impactos ambiental, social e econômico da sua exploração;
- Caracterizar o carvão mineral, hoje lavrado, com o objetivo de garantir o desempenho do seu uso em diferentes processos da indústria siderúrgica (produção de coque, injeção de finos de carvão nos altos-fornos, redução direta, novas tecnologias de fusão-redutora etc.);
- Investir na atualização e na ampliação da infraestrutura laboratorial para desenvolvimento de estudos com o carvão mineral brasileiro;
- Desenvolver, para os casos mais promissores, estudos visando à concentração do carvão mineral brasileiro, de tal forma a permitir a sua participação na matriz de termoredutores da siderurgia;
- Estudar o carvão mineral brasileiro sob a ótica do potencial de valores, por exemplo: carvão para a cadeia siderúrgica, fertilizantes a partir das cinzas e recuperação do enxofre.

Enquanto a primeira diretriz está mais associada à atividade mineral propriamente dita, a segunda diz respeito ao potencial uso do carvão mineral e do CVP pela cadeia siderúrgica. Estão definidas as seguintes prioridades:

- Avaliar as experiências mundiais no tratamento de carvões não-coqueificáveis;
- Investigar a real possibilidade de uso do carvão mineral nacional e do CVP, como aditivos nas misturas de carvões para as coquearias, bem como seus usos na forma de injeção de finos nos altos-fornos;
- Desenvolver, para a situação atual, estudos acerca de rotas econômicas de produção de aço com carvões não-coqueificáveis, como redução direta e fusão-redutora;
- Pesquisar a gaseificação do carvão mineral nacional em leito fixo e fluidizado, para aplicação nos vários elos das cadeias e rotas siderúrgicas alternativas, como redução direta e fusão-redutora;



- Estudar a possibilidade de emprego do carvão mineral nacional e do CVP como material carbonoso de adição na produção de pelotas “verdes” e como combustível nos fornos de pelotização;
- Investigar o uso do carvão mineral nacional e do CVP como agentes auto-redutores em aglomerados a frio, produzidos pelas tecnologias emergentes nacionais.

1.4 Carvão vegetal

Contexto nacional

Como já mencionado, a siderurgia a carvão vegetal é uma peculiaridade da indústria siderúrgica brasileira, razão pela qual fica prejudicada a intenção de se discutir esta temática à luz da experiência internacional. De fato, os altos-fornos a carvão vegetal representam apenas 1% da produção mundial de ferro-gusa e 25% a 30% da produção brasileira.

Na verdade, o carvão vegetal se enquadra num tema mais amplo: o do carvão de biomassa. Este compreende a possibilidade de produção de sólidos carbonosos a partir da desvolatilização em alta temperatura de quaisquer materiais de origem vegetal, tais como o carvão de gramíneas (capim elefante), o de babaçu e o de rejeitos agrícolas.

Embora existam usinas integradas a carvão vegetal no país, a maior parcela do ferro-gusa brasileiro, fabricado a partir de carvão vegetal, é proveniente dos guseiros, que possuem mais 160 altos-fornos. A existência de produtores independentes de ferro-gusa à base de altos-fornos a carvão vegetal no Brasil – que se constitui em um modelo de negócio único no âmbito da siderurgia mundial – decorre de alguns fatores:

- a) Custo de capital ao alcance de empreendedores de pequeno e médio porte;
- b) Tecnologia de redução simples e dominada, com engenharia e detalhes de domínio público;
- c) Processo capaz de utilizar parte das fontes de ferro e carbono não necessariamente adequadas aos grandes altos-fornos (hematitina e carvão vegetal);
- d) Disponibilidade de material lenhoso oriundo de abertura de fronteiras agrícolas, resíduos de florestas de celulose e de plantios.



Em relação a este último fator, constata-se a disponibilidade de material lenhoso para produção de carvão vegetal, garantindo, assim, o suprimento deste insumo para os níveis atuais de produção.

A possibilidade de produção do ferro-gusa, e posteriormente do aço, a partir do uso do carvão vegetal como redutor é uma oportunidade única para a siderurgia brasileira. De fato, o conceito de carvão vegetal corresponde ao de uma mina de carvão renovável. Ademais, a produção de carvão vegetal gera coprodutos cuja recuperação traz vantagens econômicas para o processo de carbonização da madeira, reduzindo o custo de produção. Aliás, no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o carvão vegetal apresenta vantagens competitivas, em particular no que concerne às menores emissões de CO₂ e à possibilidade de crédito de carbono.

A existência de críticas e pressões com relação às florestas plantadas, denominadas desertos verdes, tem se configurado, muitas vezes, como um obstáculo ao incremento da competitividade da siderurgia a carvão vegetal. O fato concreto é que o Brasil ainda não explora todo o potencial de florestas plantadas, a despeito de:

- a) A grande disponibilidade de terras degradadas e de baixo valor para agricultura, que poderiam ser utilizadas para o plantio de florestas energéticas;
- b) A existência de regiões consideradas privilegiadas sob o ponto de vista de insolação e de intensidade de fotossíntese;
- c) O conhecimento biológico, genético e agrônomico acerca de espécies vegetais bem adaptadas ao país, como o eucalipto.

Apesar das tecnologias de carbonização em retorta já estarem dominadas, ainda prevalecem no país práticas de fabricação de carvão de biomassa em fornos rudimentares, de baixo rendimento energético e sem qualquer aproveitamento de coprodutos. Pode-se afirmar que a carbonização da madeira para produção de carvão vegetal é uma atividade predominantemente empírica. Além disso, os sistemas de medida de desempenho do processo de carbonização e de comercialização dos produtos precisariam ser ampliados e adequados aos padrões internacionais.

Estima-se que, atualmente, cerca de 50% do carvão vegetal é produzido de maneira ilegal no país. Isto decorre do fato de que o custo do carvão vegetal produzido a partir do reflorestamento ainda é alto. Nas condições normais de mercado internacional, o custo deste carvão vegetal à base de florestas plantadas supera o do coque.



Além dos problemas apontados, não se verifica uma ação coordenada entre o setor produtivo, o governo e a comunidade acadêmica, com a finalidade de desenvolver o potencial da siderurgia a carvão vegetal, no que tange a:

- a) Carbonização;
- b) Recuperação de coprodutos da carbonização;
- c) Estudos de outras formas de biomassa.

Diretrizes e recomendações

No âmbito do EPSS, o tema carvão vegetal foi um dos que mais recebeu recomendações. Isto pode ser compreendido como um sinal das dificuldades a serem superadas. As diretrizes podem ser assim anunciadas:

- (d1) Expansão da base florestal;
- (d2) Melhorias do desempenho técnico-ambiental, inclusive por meio de mecanização;
- (d3) Fomento às fontes alternativas de biomassa (Figura 1.7).

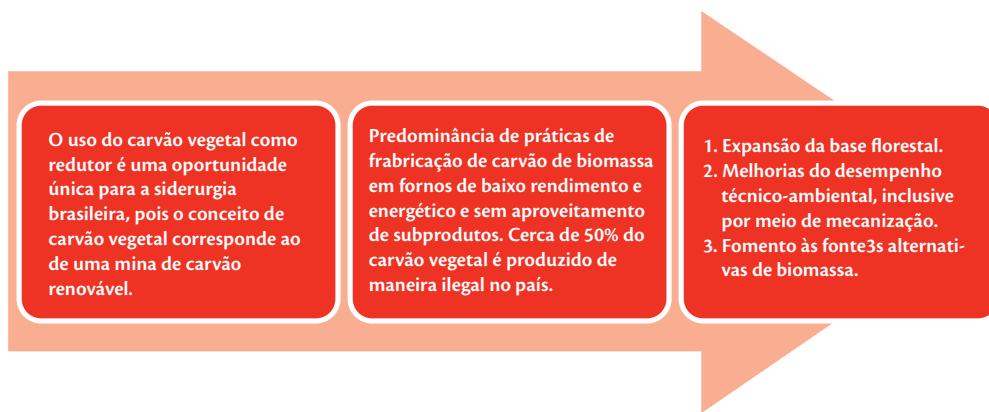


Figura 1.7: Carvão Vegetal - situação atual e diretrizes



Para a expansão da base florestal brasileira, recomenda-se:

- Apoiar pesquisa aplicada de natureza multi-institucional (projeto nacional), envolvendo o desenvolvimento de plantações energéticas, com foco na produção de carvão vegetal de forma ambientalmente sustentável;
- Realizar estudos geoeconômicos, edafoclimáticos, ambiental e social para definir áreas com vocação sustentável para produção de biomassa para energia e siderurgia, inclusive implantação de áreas experimentais regionalizadas para identificação e aperfeiçoamento de espécies;
- Aperfeiçoar, fomentar e manejar os plantios já existentes para o atendimento das demandas por mudas de elevada produtividade mássica;
- Desenvolver e/ou aperfeiçoar o conceito de sistemas agrosilvopastoris para uso sustentado de pequenos e médios produtores rurais, localizados em regiões próximas dos pontos de consumo de madeira para energia e siderurgia.

Para a melhoria do desempenho técnico-ambiental, recomenda-se:

- Construir a plataforma biomassa e carvão vegetal com as seguintes diretrizes programáticas:
 - Desenvolver processos contínuos (para grandes produções) e em batelada (para pequenas produções) mais eficientes de carbonização de biomassa, tanto do ponto de vista do rendimento quanto do consumo de energia e emissões;
 - Estudar novas espécies (ciclo curto e ciclo longo) de biomassa para carbonização, visando ao aumento do rendimento em carvão, redução da área plantada, diminuição de custos, menor impacto ambiental e maior recuperação de coprodutos;
 - Desenvolver a matriz que envolve: espécie, processo de carbonização, rendimento em carvão, rendimento em coprodutos e aplicação final do carvão vegetal;
 - Desenvolver e absorver tecnologias de controle de emissões e recuperação e utilização de coprodutos;Incentivar e estimular a ampliação do uso do carvão vegetal na cadeia siderúrgica brasileira, inclusive em processos emergentes;
- Maximizar a reciclagem dos resíduos do ciclo integrado madeira-aço, no âmbito do conceito de ecossistema de manufatura;
- Financiar pesquisa de monitoração in situ do balanço de CO₂;



- Substituir o sistema atual de unidades pelo sistema internacional de unidades (SI), com a utilização do peso seco de biomassa para cobrança de tributos e critérios de qualidade para o carvão vegetal;
- Desenvolver máquinas e equipamentos que facilitem a total mecanização à jusante da floresta;
- Desenvolver máquinas e equipamentos para corte e desbaste de árvores que maximizem a recuperação de frações finas, visando à utilização posterior em formas compactadas, como fonte de energia dentro do sistema integrado floresta/siderurgia;
- Identificar, desenvolver e fomentar o uso de tecnologias de carbonização que:
 - Aperfeiçoem a eficiência da conversão madeira/carvão siderúrgico e a recuperação de coprodutos voláteis para geração de eletricidade;
 - Aperfeiçoem a logística de transporte da madeira e do carvão e coprodutos para o mercado, reduzindo custos de manuseio e impacto ambiental;
 - Permitam ampliar a produção de carvão vegetal de qualidade.
- Incentivar pesquisa sobre os processos de carbonização sob pressão;
- Desenvolver, identificar e adaptar processos de secagem natural e forçada, por exemplo: uso de gases de exaustão da carbonização (previamente tratados) para reduzir a perda de rendimento gravimétrico na carbonização;

No que concerne às fontes alternativas de biomassa, recomenda-se:

- Investir na geração de conhecimento científico sobre biomassa para energia;
- Reavaliar, do ponto de vista técnico-econômico, as tecnologias nacionais de fabricação dos carvões vegetal, de capim elefante e do babaçu, e seus desdobramentos a jusante (briquetagem, caracterizações, usos como finos e aproveitamento de coprodutos);
- Criar linhas de fomento para investigações sobre a carbonização de rejeitos agrícolas e seus usos na siderurgia, nas etapas redução e refino.



CAPÍTULO 2

REDUÇÃO

2.1 Pelotização e sinterização

Contexto internacional

Como mencionado, a produção de minério de ferro gera três produtos básicos: granulado (*lump*), finos para sinterização (*sinter feed*) e finos para pelotização (*pellet feed*). O *sinter feed* constitui-se, atualmente, na carga metálica mais importante para a siderurgia. Ele é aglomerado em plantas de sinterização, gerando o sínter, que alimenta os altos-fornos. O sínter é um produto que se fragmenta facilmente, não resistindo ao manuseio e transporte. Tais ações poderiam degradá-lo, gerando finos indesejáveis para o alto-forno. Por essas razões, as plantas de sinterização, predominantemente, estão localizadas dentro das usinas siderúrgicas.

O *pellet feed* é aglomerado nas pelotizações, gerando as pelotas para alto-forno e as pelotas para redução direta. As pelotas constituem-se num material mais resistente ao manuseio do que o granulado e o sínter. Outra vantagem é apresentar alto nível de qualidade químico-físico-metalúrgica. Por ajustes no processo produtivo, é possível produzi-las com ampla variedade de composição química, variando-se, por exemplo: os teores de sílica e de alumina, ganga básica (óxido de cálcio + óxido de magnésio) e elementos deletérios (fósforo, enxofre, vanádio, titânio, chumbo e cloro). Embora as pelotizações possam se localizar dentro complexos siderúrgicos, usualmente elas se situam fora do ambiente das siderúrgicas. Como os investimentos em plantas de pelotização são de grande monta, as mineradoras têm assumido essa atividade e dominado o mercado mundial de pelotas.

A pelota é um produto de alta resistência mecânica, com maior teor de ferro do que os sínteres. A pelotização é um processo mais complexo do que a sinterização para o aproveitamento de finos. Embora possa ser usada em altos-fornos, a pelota é a matéria-prima preferencial dos processos de redução direta, gerando pré-reduzido (DRI e/ou HBI), posteriormente transformado em aço nos fornos elétricos a arco.



Como já abordado na seção 1.2, constata-se a tendência de aumento dos finos nas lavras de minérios de ferro, o que tende a estimular a produção de pelotas. Tal processo tende a ser reforçado pelas restrições à ampliação das atividades de sinterização, em face da produção de dioxinas. No caso da União Européia, verifica-se inclusive a trajetória de diminuição do número de sinterizações. Ressalte-se que a emissão média de CO₂ nas pelotizações (100 kg / tonelada de pelota) é bem inferior aos valores contabilizados nas sinterizações (230 kg / tonelada de sinter). Assim, espera-se que novas tecnologias de aglomeração, alternativas às plantas de sinterização (e mesmo pelotização), venham a ser desenvolvidas.

Enquanto as inovações radicais não se tornam viáveis, percebe-se um esforço importante no tocante às inovações incrementais, tais como:

- Sínteres básicos autofundentes e de alta redutibilidade;
- Minisinterizações contínuas;
- Pelotas básicas com óxido de magnésio;
- Pelotas redução direta com colagem e inchamento padrões;
- Prensa de cilindros (*rolling press*) na pelotização;
- Adição de carvão em pelotas cruas;
- Reciclagem por aglomeração a frio.

Contexto nacional, diretrizes e recomendações

A experiência brasileira guarda similaridade ao padrão mundial em termos de aglomeração, pois a preocupação principal decorre de:

- a) Descontinuidade na produção de granulados, prevista para a próxima década;
- b) Tendência de maior finura e incremento dos teores de fósforo e alumina em depósitos de ferro do Quadrilátero Ferrífero;
- c) Geração de finos (*tailings*) e tendência a produzir DRI pirofórico (que se inflama espontaneamente em contato com o ar) no caso dos minérios de Carajás.



Nesse contexto, duas são as diretrizes principais:

- (d1) A melhoria do desempenho técnico-ambiental das plantas em operação;
- (d2) O fomento ao desenvolvimento de tecnologias específicas (Figura 2.1).

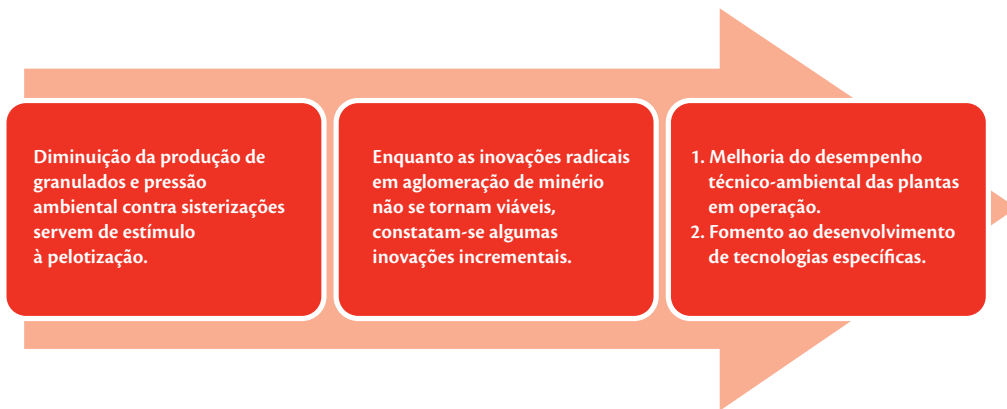


Figura 2.1: Pelotização e Sinterização - situação atual e diretrizes

Quanto à melhoria do desempenho técnico-ambiental das plantas em operação, recomenda-se:

- Desenvolver estudos com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos processos de pelotização e sinterização;
- Desenvolver estudos visando à diminuição e ao controle das emissões nos processos de pelotização e sinterização;
- Desenvolver pelotas e sínteres com maiores teores de ferro, visando à diminuição das emissões, ao incremento da produtividade e ao menor consumo de redutor nos altos-fornos e nos módulos de redução direta.

No que se refere ao desenvolvimento de tecnologias específicas, recomenda-se:

- Avaliar, desenvolver e implantar os processos de aglomeração a frio, tendo-se em conta as tecnologias atuais e as emergentes de redução (Tecnored, Interferro etc.);
- Apoiar os grupos de pesquisa voltados ao estudo e à produção de pelotas com contaminantes autofluxados;



- Fomentar estudos com vistas ao aperfeiçoamento dos mecanismos de micropelotização de finos nas misturas para sinterização;
- Apoiar as investigações objetivando a substituição de particulados de coque por finos de carvão de biomassas na sinterização;
- Estimular as pesquisas sobre o aperfeiçoamento do binômio especularita/processo de pelotização.

2.2 Alto-forno a coque

Contexto internacional

Em termos da produção mundial de ferro primário, os altos-fornos a coque são responsáveis por cerca de 93% a 94% do total, sendo seguido pelos módulos de redução direta (5% a 6%) e altos-fornos a carvão vegetal (1%). A tecnologia de redução de minérios de ferro (e seus aglomerados) em altos-fornos a coque é avançada e otimizada. Os seus desenvolvimentos, na atualidade, são incrementais, não passando de 1% ao ano. O estado-da-arte da tecnologia de uso dos redutores fósseis é muito satisfatório, não havendo muito espaço para ganhos adicionais de eficiência superiores a 10% frente aos níveis atuais.

No âmbito das inovações incrementais em altos-fornos a coque, merecem destaque:

- O aumento das campanhas (acima de 20 anos), em função da melhoria dos revestimentos refratários, do uso de painéis (*staves*) e do controle do desgaste dos cadinhos;
- As injeções de carvão, gás natural, óleo, plásticos, entre outros, pelas ventaneiras dos altos-fornos (co-injeção e PCI);
- O incremento da produtividade, como decorrência de instrumentação e automação e sistema de distribuição de carga (topo sem cone/*bell-less top*);
- O aproveitamento energético do gás de topo (co-geração);
- A granulação de escória (coproduto);
- Melhoria operacional dos regeneradores;
- Os novos conhecimentos advindos do “congelamento e dissecação dos altos-fornos” a coque na siderurgia japonesa;
- Melhoria no controle de qualidade do coque e introdução do conceito de frações menores de coque (*small coke*).



Contexto nacional

A siderurgia brasileira ocupa um lugar de destaque quanto à operação de altos-fornos a coque. Um dos altos-fornos da ArcelorMittal Tubarão é recordista mundial em campanha produtiva, sem paralisação para reforma. Como ele entrou em operação em 1983 e sua reforma está prevista somente para 2012, o tempo de campanha superará 29 anos.

As usinas integradas a coque no país representam cerca de 70% a 75% da produção siderúrgica brasileira. Seus altos-fornos foram projetados para uma mistura de carga constituída principalmente por sinter. Como aspecto positivo, esses reatores são operados com elevados índices de tratamento e reciclagem de resíduos e emissões, mitigando os impactos ambientais.

Nos últimos anos, verifica-se a construção de novos altos-fornos a coque no país, sempre baseados em tecnologia e projetos importados. Ademais, não se observa qualquer programa estratégico para o domínio das tecnologias transferidas (por absorção e adaptação) e, conseqüentemente, de autonomia tecnológica (geração).

Diretrizes e recomendações

A partir das considerações, o Estudo constatou a necessidade de duas diretrizes principais:

- (d1) Maior articulação empresa/governo/academia e programa de vigilância tecnológica;
- (d2) Adoção de melhorias incrementais (Figura 2.2).

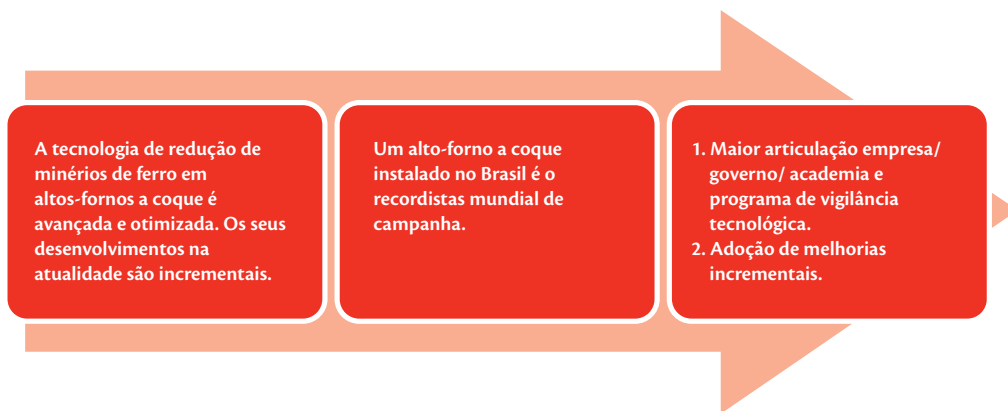


Figura 2.2: Alto-Forno a coque - situação atual e diretrizes



No que diz respeito à primeira diretriz (i.e., uma melhor articulação empresa/governo/academia e um programa de vigilância tecnológica), destacam-se as seguintes recomendações:

Elaborar, no conceito de plataforma, um programa setorial de desenvolvimento para a área de redução que, por meio da integração empresa/governo/academia, aborde as questões relativas à dinâmica que vigora entre as tecnologias atuais e os avanços tecnológicos (vigilância tecnológica) e os minérios e os redutores disponíveis no país;

Instalar e operar um observatório de dimensão setorial para o acompanhamento e a avaliação de processos e tecnologias de redução;

Fomentar investigações e a vigilância tecnológica internacional acerca das pesquisas inovadoras de captura e estocagem subterrânea de CO₂ (*CO₂ capture and storage, CCS*);

Promover pesquisas sobre a utilização de aglomerados auto-redutores na mistura de carga dos altos-fornos a coque e manter vigilância tecnológica sobre a proposta inovadora do alto-forno super compacto (*super compact blast furnace, SCBF*).

Quanto à segunda diretriz (i.e., adoção de inovações incrementais), as principais recomendações são:

- Apoiar as linhas de investigação voltadas à modelagem matemática e física do processo de produção de ferro-gusa em alto-forno a coque;
- Fomentar o estudo de modelagens para ampliação da escala (*scale-up*), voltado para a absorção e a adaptação da tecnologia do alto-forno;
- Incentivar as pesquisas relativas ao aumento do uso de frações menores de coque (*small coke*), e à diminuição do consumo de água, e ao incremento da quantidade de pelotas na carga dos altos-fornos a coque;
- Apoiar os setores de instrumentação, visando à aplicação e ao desenvolvimento de sondas para o controle dinâmico do processo do alto-forno a coque;
- Apoiar as pesquisas e as atividades de vigilância tecnológica relativa ao processo de reciclagem do gás de topo e de operações com altos índices de enriquecimento de oxigênio no sopro;
- Criar linhas de fomento em pesquisa básica focalizada na otimização cinética das etapas do processo de redução dos minérios de ferro (hematíticos e magnetíticos) brasileiros, inseridas no contexto da nanotecnologia.



2.3 Alto-forno a carvão vegetal

Contexto nacional

O alto-forno a carvão vegetal é uma configuração produtiva tipicamente nacional, sendo que os seus desenvolvimentos têm sido lentos em relação àqueles alcançados pelo alto-forno a coque. O estado-da-arte das tecnologias de conversão de biomassa em carvão é primitivo e, por isso, possui um grande potencial de ganhos técnicos, ambientais e econômicos a serem ainda auferidos. No caso dos guseiros, vale a pena recordar que, para os padrões típicos da indústria siderúrgica, os investimentos são relativamente modestos.

Reforçando o argumento, existe amplo espaço para o desenvolvimento e o aperfeiçoamento da tecnologia dos mini altos-fornos, de sorte a ampliar os seus patamares de competitividade e sustentabilidade. Por exemplo, já existem tecnologias e práticas operacionais que garantem elevados índices de tratamento e recuperação dos resíduos gerados pelos altos-fornos a carvão vegetal. Também se encontram desenvolvidos, e disponíveis no país, unidades compactas de sinterização e sistemas de injeção adaptáveis à cadeia produtiva dos altos-fornos a carvão vegetal. Além disso, diferentemente da situação vivenciada em relação aos reatores a coque, os altos-fornos a carvão vegetal constituem inovação genuinamente nacional, com engenharia plenamente dominada.

Deve-se também mencionar que embora os guseiros se apresentem como o segmento mais representativo em termos da produção de ferro-gusa à base de carvão vegetal no país, existem usinas integradas a carvão vegetal em pleno funcionamento, tanto com aciarias básicas a oxigênio, quanto com aciarias elétricas.

Diretrizes e recomendações

Em consonância do que se verificou com o carvão vegetal, o número de recomendações para a produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal também é extenso. Três são as diretrizes principais:

- (d1) Alteração das legislações federal e estaduais visando a incentivar a produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal;
- (d2) Financiamento para a construção de usinas integradas a carvão vegetal;
- (d3) Estudos acerca da melhoria do desempenho técnico-ambiental (Figura 2.3).

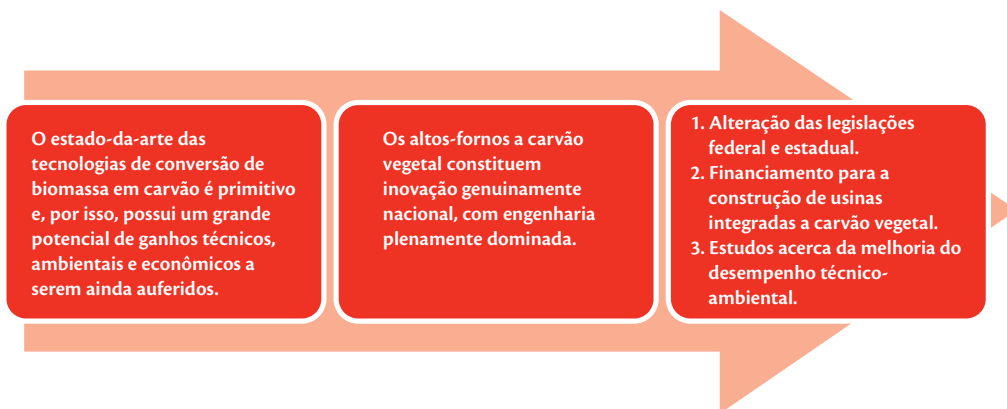


Figura 2.3: Alto-Forno a Carvão Vegetal - situação atual e diretrizes

Dentre as etapas produtivas analisadas até o momento, esta foi aquela cujas recomendações são mais vinculadas às alterações de políticas públicas. De fato, uma das diretrizes é exatamente modificar as legislações federal e estaduais, objetivando fomentar a produção de ferro-gusa em mini altos-fornos e reforçar o suprimento de madeira por parte de pequenos e médios produtores independentes.

A segunda diretriz aponta para a necessidade de se financiar a implantação de usinas integradas a carvão vegetal (com aciarias básicas a oxigênio ou aciarias elétricas), compreendidas como modelos siderúrgicos integrados (ambientalmente sustentáveis) e representando a evolução tecnológica dos atuais guseiros. Na mesma direção, recomenda-se:

Promover estudos de natureza técnico-econômica para ampliar a alternativa de mini-siderúrgicas no país, baseadas em mini altos-fornos a carvão vegetal e aciaria elétrica, com capacidade de produção na faixa de 0,3 a 2 milhões de toneladas por ano;

Promover estudos de natureza técnico-econômica para avaliar a alternativa de construção de mini-siderúrgicas no país, baseadas em mini altos-fornos a carvão vegetal e aciaria a oxigênio.

A terceira diretriz relacionada à melhoria do desempenho técnico-ambiental compreende um número maior de recomendações específicas, a saber:



- Apoiar as pesquisas aplicadas de natureza multi-institucional (projeto nacional), envolvendo a utilização das técnicas de resfriamento e dissecação em altos-fornos a carvão vegetal;
- Incentivar a consolidação das empresas de consultoria e engenharia detentoras da tecnologia do alto forno a carvão vegetal;
- Desenvolver estudos visando ao aperfeiçoamento das cargas metálicas, em especial das relações minério/sínter/pelota, bem como definição/caracterização dos diferentes componentes;
- Desenvolver tecnologias de aglomeração de finos de minério de ferro para atender às condições do setor guseiro;
- Desenvolver e incentivar a produção de carvão vegetal no formato granular com o objetivo de melhorar os resultados dos mini altos-fornos;
- Desenvolver estudos relacionados com o controle e a operação do mini alto-forno a carvão vegetal, por exemplo: aperfeiçoamento da carga redutora, distribuição de carga, segregação granulométrica, utilização de finos, dentre outros;
- Apoiar estudos visando à recuperação e ao reuso dos particulados gerados nos altos-fornos a carvão vegetal (incentivo às tecnologias nacionais Interferro e Tecnoired);
- Fomentar investigações relacionadas ao uso das escórias de altos-fornos a carvão vegetal;
- Avaliar as alternativas e desenvolver modelo para o aproveitamento do potencial energético do gás de mini alto-forno no contexto dos diferentes pólos de produção existentes no país;
- Desenvolver modelos de recirculação de resíduos no sistema integrado floresta/siderúrgica.

2.4 Redução direta e processos emergentes de redução

Contexto Internacional

Os processos de redução direta respondem por 5% a 6% do ferro primário produzido mundialmente. Uma das vantagens dos pré-reduzidos (DRI e HBI) é o baixo teor de contaminantes, o que estimula o seu uso em aciarias elétricas, com a finalidade de fabricar aços de melhor qualidade. Em termos do volume de pré-reduzidos, dois processos se sobressaem: Midrex (65%) e HyL (30%). Os demais respondem pelos restantes 5%. Como se observa na Figura 2.4, estes dois processos já se encontram num estágio de maturidade tecnológica.

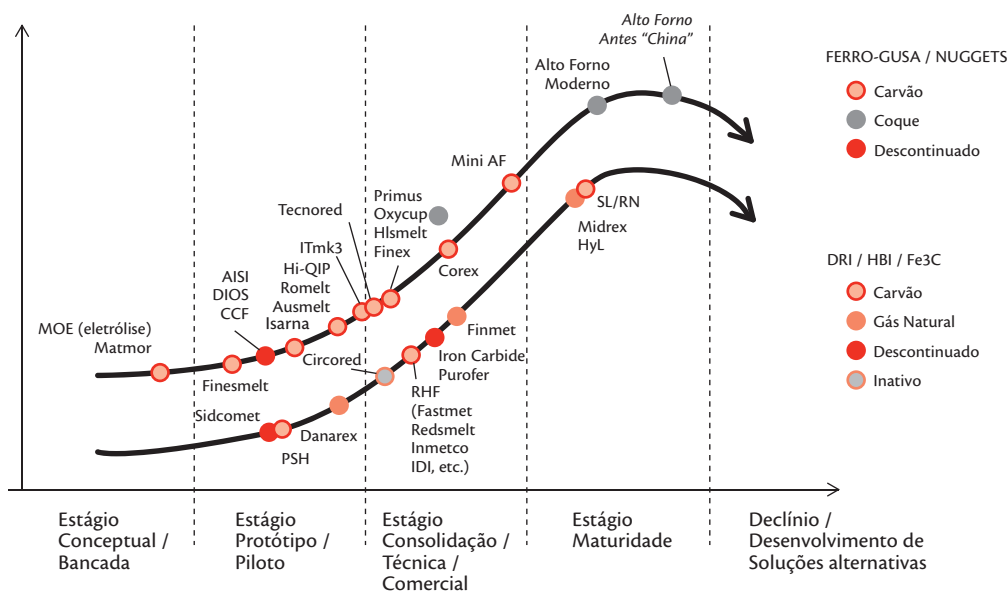


Figura 2.4: Maturidade tecnológica dos processos de produção de ferro primário

No âmbito da siderurgia mundial, o volume de investimentos direcionados às usinas integradas à redução direta vem aumentando. Além disso, os processos de RD com gases de processo mais ricos em hidrogênio têm sido alvo de investigações em importantes programas multi-institucionais no exterior.

Os estágios de maturidade tecnológica de vários processos emergentes de redução também estão retratados na Figura 2.4. Duas linhas em desenvolvimento se destacam: a auto-redução e a fusão-reductora. Por visarem à produção de ferro-gusa ou produtos metálicos similares (nuggets e pebbles), os processos emergentes são propostas alternativas ao alto-forno, em particular ao alto-forno a coque. De fato, os processos emergentes têm sido concebidos visando a eliminar as etapas de aglomeração do minério de ferro e de coqueificação, ambas inerentes a rota do alto-forno a coque, permitindo com isso o uso generalizado de minérios finos e de carvões não-coqueificáveis.

Enquanto alguns processos emergentes já deram início em suas unidades comerciais (Corex e Finex), outros ainda se encontram em fase de demonstração de suas tecnologias (Tecnored, Hlsmelt, Rotary Hearth Furnace/RHF, High-Quality Iron Pebble/Hi-QIP). No que tange aos primei-



ros, os processos Corex (na África do Sul) e Finex (na Coreia do Sul) têm apresentado resultados preliminares considerados animadores pelos responsáveis por suas tecnologias, nas escalas comerciais já implantadas.

Pode-se afirmar que os investimentos internacionais, nas pesquisas dos processos alternativos ao alto-forno a coque, continuam em nível elevado, em particular na Austrália, no Japão e na Europa. Um dos principais motivadores para o desenvolvimento de tais processos é a busca por menores custos (de capital e operacionais), comparativamente aos altos-fornos a coque. Em relação às questões ambientais, já surgem na siderurgia discussões a respeito da viabilidade dos chamados processos menos carbono (carbon less) e carbono livre (carbon free).

Contexto Nacional

A produção de pré-reduzidos no Brasil é pouca representativa, correspondendo a 1% do volume total de ferro primário fabricado no país em 2008. Recorde-se que a planta de redução direta à base de carvão mineral não-coqueificável da então AFP foi desativada no início dos anos 1990. Atualmente, a Gerdau Usiba é a única usina integrada à redução direta do país. Tal planta paralisou o módulo de redução direta HYL em meados de 2009, em função dos impactos da crise econômico-financeira mundial.

Em termos prospectivos, a produção de pré-reduzidos no Brasil poderá aumentar, em função da possibilidade real do incremento da oferta doméstica de gás natural associado ao incremento da produção de petróleo. Deve-se também lembrar que o país é importante fornecedor de pelotas RD para o mercado internacional. Ademais, não se vislumbra ao longo desta década falta de sucata ferrosa, que é um insumo complementar da carga metálica das aciarias elétricas no caso de usinas integradas à redução direta.

No que se refere às estratégias emergentes de redução, deve-se ressaltar que o Brasil vem se mantendo na vanguarda da tecnologia de auto-redução, por meio do desenvolvimento do processo TecnoRed, atualmente em estado de demonstração tecnológica. Como se observa na Figura 2.4, o TecnoRed encontra-se no início do estágio de consolidação técnica/comercial, estando ligeiramente atrás de suas concorrentes internacionais mais expressivas (processos HIs melt, RHF e Finex), que já estão neste estágio há pelo menos três anos.



Diretrizes e recomendações

- (d1) Uma das diretrizes relaciona-se à investigação acerca da viabilidade de implantar módulos de redução direta tradicionais (Midrex e HYL) no país, com descarregamento direto de DRI a quente nos fornos elétricos a arco, analisando as suas viabilidades nas regiões litorâneas de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, em função da maior disponibilidade de gás natural.
- (d2) Outra diz respeito à implantação de programa de vigilância tecnológica, tanto para os processos maduros de redução direta, quanto para as tecnologias emergentes de redução.
- (d3) Uma terceira diretriz refere-se ao apoio aos processos Tecnoled e Interferro (Figura 2.5).

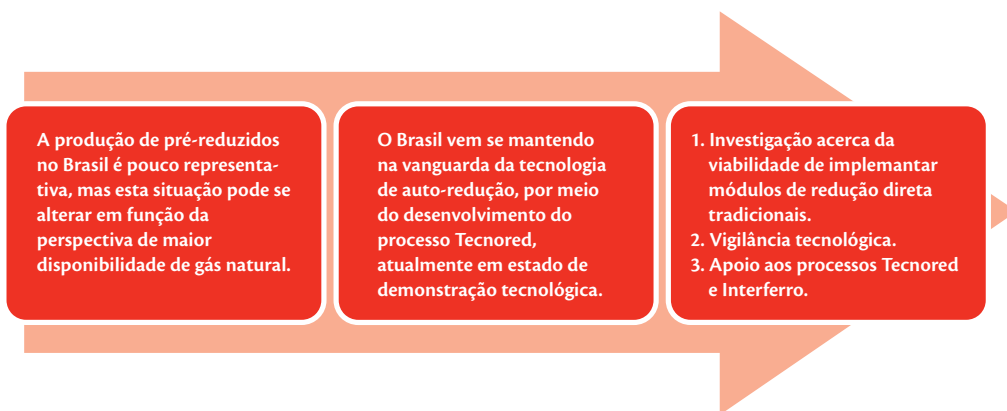


Figura 2.5: Redução direta e processos emergentes de redução - situação atual e diretrizes

A primeira diretriz não foi desdobrada em recomendações mais específicas. Já a segunda corresponde ao programa de vigilância tecnológica para a redução direta e os processos emergentes, abrangendo:

- Implantar atividades de vigilância tecnológica dos processos internacionais de redução direta em desenvolvimento, tendo como meta a minimização da emissão de CO₂;
- Promover a vigilância tecnológica acerca da evolução dos processos RHF(s) e Hi-QIP, devido as suas características auto-redutoras, e os processos bath smelting Corex, Finex, Cyclone e Hlsmelt.



A terceira diretriz consiste do apoio ao maior desenvolvimento tecnológico, em particular no que concerne às tecnologias TecnoRed e Interferro:

- Apoiar o desenvolvimento dos processos TecnoRed e Interferro, tecnologias inovadoras e genuinamente brasileiras, no que tange aos estudos básicos da aglomeração a frio, das reações de auto-redução, de suas modelagens matemática e física, das técnicas de ampliação da escala (scale-up) dos reatores e dos tipos de aglomerados auto-redutores;
- Fomentar as investigações sobre as reações básicas de fusão-redutora e suas modelagens matemáticas;
- Apoiar parcerias universidade/mineradoras nacionais objetivando desenvolver pesquisas experimentais de calibração e de modelagens matemáticas a respeito da produção de DRI/HBI com alto teor de carbono (> 4%) e das reações de self-reforming catalisadas pelo ferro metálico;
- Apoiar as modelagens matemáticas dos processos de RD avançados em reatores de cuba, em particular de redução com altos teores de hidrogênio e tecnologia CCS.



CAPÍTULO 3

REFINO PRIMÁRIO (ACIARIA)

As duas principais rotas tecnológicas siderúrgicas são:

- a) Usinas integradas a coque, que usam alto-forno para a produção de ferro-gusa, que depois é transformado em aço nos conversores básicos a oxigênio;
- b) As usinas semi-integradas (minimills), cuja fase inicial de produção é aciaria elétrica. Estes dois tipos de aciaria são examinados a seguir.

3.1 Aciaria LD

Contexto internacional

O conversor básico a oxigênio (basic oxygen furnace, BOF) é o tipo de aciaria mais utilizada na siderurgia mundial. Esta tecnologia foi originalmente desenvolvida em meados do século passado pela siderúrgica austríaca Vöest-Alpine. Pelo fato de ter sido empregada inicialmente nas usinas Linz e Donawitz, ela ficou também conhecida como aciaria LD.

Atualmente, cerca de 2/3 da produção mundial de aço é baseada em aciaria LD. Embora algumas integradas a coque tenham optado por fornos elétricos a arco, os conversores ainda são os equipamentos mais freqüentes neste tipo de usina. Em termos prospectivos, conforme se verifica no Gráfico 3.1, prevê-se que a participação das usinas integradas venha diminuir ao longo do tempo, mas não a ponto de ser suplantada pelas usinas semi-integradas.

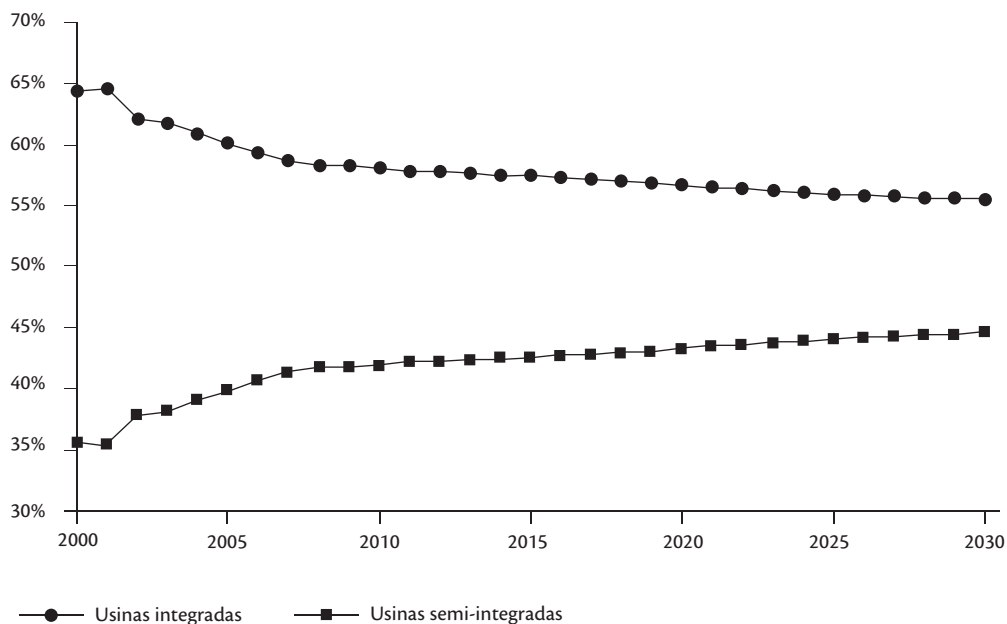


Gráfico 3.1: Participação das usinas integradas e semi-integradas na produção siderúrgica mundial, 2000-2030 (percentual)

Fonte: I. Hidalgo, L. Szabo, J. C. Ciscar & A. Soria. Technological prospects and CO₂ emission trading analyses in the iron and steel industry: A global model. *Energy* 30 (2005) 583–610.

As aciarias LD demandam maiores quantidades de ferro-gusa líquido, cuja qualidade, por sua vez, depende da qualidade do minério de ferro empregado. Por exemplo, o minério de ferro de baixo fósforo possibilita a produção de um ferro-gusa de baixo fósforo, o que reduz o custo de produção da aciaria LD. Assim, em particular na Ásia, é comum a mistura de minérios com diferentes teores de fósforo.

A aciaria LD foi originalmente projetada para utilizar alta proporção de ferro-gusa líquido (80 a 85%) na composição de sua carga. A partir da década de 1980, começou a difundir o chamado “refino secundário”, que se propôs a realizar, em seguida, e em reator separado, o acerto final da composição do aço. Várias inovações incrementais também permitiram a melhoria do desempenho dos conversores, tais como a utilização de gás natural nas ventaneiras de fundo, a modelagem matemática e o controle dinâmico do processo.



Os impactos das melhorias incrementais no desempenho da aciaria LD vêm mostrando sinais de esgotamento. De fato, o tempo médio de corrida (tap-to-tap) do conversor tem se mantido no patamar entre 38 e 45 minutos por mais uma década. O índice de vazamento direto e de acerto de fósforo e carbono situa-se entre 75% e 90% também há mais de 10 anos. Estes dois indicadores são diretamente ligados à produtividade do conversor LD que, desta forma, tem se mantido mais ou menos estável, ao mesmo tempo em que a aciaria elétrica vem obtendo um incremento considerável da produtividade.

Uma usina integrada, com conversor LD, gera entre 1,5 e 2,0 toneladas CO₂/tonelada de aço produzido. O gás de aciaria LD, que é rico em CO, tem sido utilizado em duas aplicações:

- a) O uso de pós-combustão (maior queima do CO para CO₂ no interior do conversor) para melhorar o balanço térmico do conversor;
- b) O emprego do gás de aciaria para a geração de energia elétrica ou como combustível em fornos, na própria usina. O fator determinante para a tomada de decisão entre as mencionadas opções é o econômico. Diante da necessidade de retração das emissões de CO₂ na aciaria LD, um dos desafios cruciais refere-se ao desenvolvimento do uso de maiores quantidades de metálicos de baixo carbono (sucata e pré-reduzidos) no conversor, o que implica a alteração do balanço térmico. Nesse sentido, a utilização de maiores taxas de pós-combustão tem viabilizado uma maior participação da sucata ferrosa na composição da carga (30% a 40%) do conversor LD.

Quanto aos coprodutos, a escória de aciaria LD não tem uso comercial significativo, embora seja possível utilizá-la como lastro em ferrovias ou rodovias e corretivo de solo. A lama de aciaria (os efluentes em pó coletados sob forma úmida no sistema de filtragem de gases) representa um problema de reciclagem. Ela não pode ser utilizada de forma satisfatória na sinterização, pois pode agregar zinco à carga do alto-forno. Assim, o principal desafio relevante consiste em desenvolver uso da lama como metálico em aciaria ou recuperar o zinco, simplificando seu reprocessamento e mitigando seu impacto ambiental.

Contexto nacional

No Brasil, cerca de 75% a 80% da produção de aço bruto provém de conversores LD. A maior taxa de difusão, frente à média mundial, é explicada pela disponibilidade de minério de ferro de alta qualidade. Aliás, uma das vantagens competitivas da siderurgia brasileira decorre da disponibilidade doméstica de minério de ferro de baixo fósforo. A possibilidade de utilizar ferro-gusa



líquido em uma proporção acima de 85% da carga tem desencorajado os esforços no sentido de uma maior utilização de cargas sólidas nos conversores brasileiros, o que contribuiria para a obtenção de crédito de carbono. Outra particularidade da siderurgia brasileira decorre do fato de que a variante tecnológica Energy Optimized Furnace (EOF), que mostra potencial de difusão crescente, foi inicialmente desenvolvida no país.

No restante, os desafios das siderúrgicas brasileiras em relação à aciaria LD são similares aos verificados pelas congêneres internacionais. Em termos do desempenho ambiental, como já referido, o gás de aciaria LD é muito rico em CO, existindo um amplo espaço para melhor utilização, tanto na geração de energia elétrica, quanto na geração de energia para o próprio processo. Ambos representam formas de abatimento nas emissões de gases do efeito estufa (GEE). Ademais, faz-se necessário desenvolver utilizações mais nobres para as escórias de aciaria, bem como melhorar o tratamento da lama de aciaria e dos efluentes em pó.

Ainda de forma similar à experiência internacional, os novos patamares dos preços dos ferroligas induzem, cada vez mais, inovações que permitem a recuperação dos metais (manganês e cromo, por exemplo) no processo produtivo. Da mesma forma, requer-se o desenvolvimento de fundentes alternativos à fluorita, que é essencial na obtenção de escória fluída no processo.

Diretrizes e recomendações

As recomendações se relacionam principalmente à otimização das aciarias LD. Desta forma, pode-se concluir que não se vislumbra a necessidade de mudanças estruturais. De fato, as recomendações podem ser enquadradas em duas diretrizes principais:

- (d1) Melhoria do desempenho ambiental;
- (d2) Desenvolvimento de outras inovações de cunho incremental (Figura 3.1).

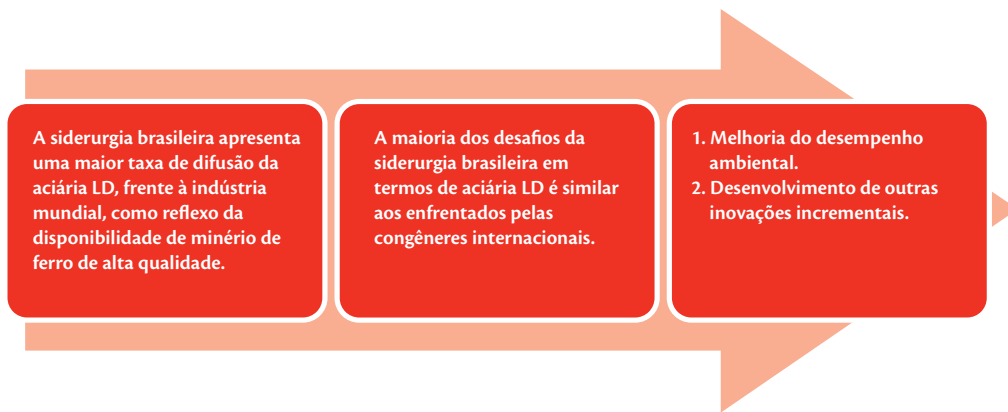


Figura 3.1: Aciaria LD - situação atual e diretrizes

Quanto ao aprimoramento do desempenho ambiental, recomenda-se:

- Elaborar estudos acerca da combustão e pós-combustão dos gases do processo;
- Desenvolver estudos para o aproveitamento de escórias e lamas de aciaria;
- Apoiar as linhas de pesquisa visando à recuperação de zinco das lamas finas do sistema de limpeza de gases;
- Incentivar as pesquisas visando à diminuição da expansibilidade das escórias (cal livre);
- Apoiar o desenvolvimento de técnicas de incorporação contínua de aditivos em escórias líquidas, visando à geração de produtos para uso agrícola e em pavimentação.

No que tange às outras inovações incrementais, recomenda-se:

- Fomentar a formação de redes de pesquisa em refino de aço por oxigênio por meio da construção de um sistema envolvendo empresas, governo e comunidade acadêmica;
- Desenvolver estudos sobre as tecnologias periféricas de produção de aço na rota integrada convencional (alto-forno a coque e conversores básicos a oxigênio), no que tange à dessulfuração, à desfosforação, à transformação de gusa e ao refino secundário do aço;
- Elaborar estudos para recuperação de valores contidos em ferroligas;



- Estudar fundentes alternativos à fluorita;
- Desenvolver estudos e pesquisas referentes ao potencial de desfosforação na emulsão escória-banho metálico, atendidas as condições operacionais do conversor LD;
- Incentivar a modelagem matemática dos refinamentos primário e secundário, bem como investir em sistemas de controle e automação do processo, inclusive para a variante EOF.

3.2 Aciaria elétrica

Contexto internacional

Como representantes mais importantes da rota tecnológica das siderúrgicas semi-integradas, os fornos elétricos a arco operam com a maior parte da carga no estado sólido (sucata ferrosa, ferro-gusa, DRI e HBI). Tais fornos são extremamente versáteis no que se refere à carga, além de permitir operação intermitente e mudanças rápidas de produção.

Os fornos elétricos a arco executam as etapas de fusão da carga sólida e subsequente refino primário (descarburização e desfosforação), via a injeção significativa de oxigênio (40 Nm³ / tonelada de aço). Para tanto, estes equipamentos têm apresentado índice de consumo de energia elétrica em torno dos 400 kWh / tonelada de aço, com tendência a diminuí-lo (360-300 kWh / tonelada de aço), em face da incorporação de mais energia química complementar no processo (injeções de combustíveis e oxigênio: 25 kg C / tonelada de aço e até 70 Nm³ de oxigênio/ tonelada de aço).

Observa-se que a rota da produção de aço via aciaria elétrica tem aumentado sua participação em termos mundiais, como resultado da menor intensidade de investimento (\$/capacidade instalada), da aceitação mais generalizada do conceito de usinas semi-integradas (inclusive para a fabricação de produtos planos) e do crescente uso da energia química complementar no processo. Outra vantagem das minimills é a menor emissão de GEE (0,45–0,6 tonelada CO₂/tonelada de aço produzido). Este avanço – em termos de participação na produção mundial – seria ainda maior se não fosse o fato de que a expansão da siderurgia chinesa tem sido baseada especialmente em aciarias LD, diante da baixa disponibilidade de sucata ferrosa.

Inovações tecnológicas importantes têm resultado em aprimoramento dos parâmetros operacionais, não apenas em termos de eficiência energética e tempo de corrida (tap-to-tap), mas também em relação à melhoria da qualidade do produto. Por exemplo, os sistemas de pré-aque-



cimento de sucata têm sido aperfeiçoados, contribuindo para um menor consumo de energia elétrica no processo, em virtude do aproveitamento de parte do calor sensível contido nos gases de exaustão (cerca de 15 a 30% da energia fornecida ao forno). A adoção da técnica de espumação controlada das escórias (com a conseqüente operação dos fornos elétricos a arco com taxas mais altas de potência elétrica) tem possibilitado significativo aumento de produtividade.

No que tange à qualidade do produto, a maior oferta de metálicos alternativos à sucata (ferro-gusa sólido e pré-reduzidos) tem permitido a produção de aços especiais de melhor qualidade (clean steels) em aciarias elétricas. A viabilidade técnica do uso direto de ferro-gusa líquido no EAF, além de acarretar menor consumo de energia elétrica, cria uma maior flexibilidade em relação à quantidade de sucata na mistura de carga (20 a 100%). Adicionalmente, permite a fabricação de uma maior gama de aços de qualidade e mesmo uma nova proposta de rota tecnológica, que combina alto-forno a carvão vegetal e EAF.

Contexto nacional

No Brasil, as usinas semi-integradas têm mantido uma participação em torno de 20% a 25% da produção nacional de aço, configurando uma menor taxa de difusão frente à indústria mundial (30% a 35%). Até 2015, espera-se que a capacidade instalada da siderurgia brasileira duplique, sendo que a fatia do EAF nesta ampliação é estimada em apenas 10%. Portanto, espera-se que a referida participação diminua para 16% no médio prazo.

Se previsões mencionadas no parágrafo anterior se confirmarem, o incremento da produção de aços via aciaria elétrica não resultará na necessidade de importação de sucata ferrosa. Além disso, não faltará energia elétrica para as aciarias elétricas. No entanto, a variação de tensão na rede elétrica (flicker), que é provocada por equipamentos como os EAF de corrente alternada se configura como um fator crítico, ao restringir a localização de aciarias elétricas em grandes centros populacionais.

A principal diferença da situação brasileira frente à indústria mundial refere-se à utilização de uma elevada proporção de ferro-gusa sólido na carga das aciarias elétricas. Isto decorre da carência estrutural da oferta de sucata, por sua vez ocasionada pelo baixo consumo per capita de produtos siderúrgicos em anos anteriores. Diante desta limitação, as siderúrgicas brasileiras desenvolveram e aperfeiçoaram o uso de ferro-gusa sólido na carga metálica (em torno de 30%) dos EAFs. Isto proporciona algumas vantagens:



- a) Produto padronizado, com características físicas e químicas adequadas;
- b) Produto isento de elementos contaminantes (como o cobre, cromo, estanho e níquel), que prejudicam a qualidade dos aços;
- c) Produto que funciona como elemento diluidor de contaminantes do aço, permitindo ao EAF fabricar aços de alta qualidade.

A ArcelorMittal em Juiz de Fora, que era uma típica usina semi-integrada, construiu dois altos-fornos a carvão vegetal. Assim, passou a utilizar ferro-gusa líquido na carga metálica de EAF. Um primeiro benefício desta prática foi aumentar a produção, por causa da redução do tempo de corrida. Além disso, para cada 1 ponto percentual de ferro-gusa líquido adicionado, obtém-se uma diminuição do consumo de energia elétrica de 2,2 kWh.

Diretrizes e recomendações

Exceto pela menor disponibilidade doméstica de sucata ferrosa, a siderurgia brasileira à base de EAF não apresenta grandes dificuldades no país. No que concerne às recomendações, elas podem ser aglutinadas em duas diretrizes principais:

- (d1) O suprimento de energia elétrica a custos competitivos;
- (d2) O desenvolvimento de modelamento matemático para controle do processo dinâmico (Figura 3.2).

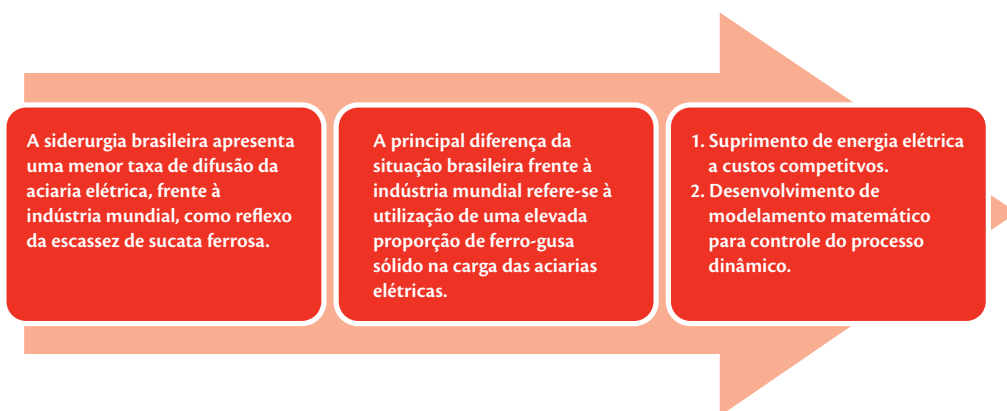


Figura 3.2: Aciaria elétrica - situação atual e diretrizes



A primeira recomendação vincula-se ao setor elétrico brasileiro. Diante da trajetória de incremento do custo da energia elétrica para os setores industriais, ressalte-se a preocupação em garantir o suprimento de energia elétrica em condições competitivas para as usinas à base de EAF (com ou sem altos-fornos). Tal prioridade se justificaria pelo fato de que as aciarias elétricas evitam consumos intensivos de carvão, representando, portanto, uma produção mais limpa que as demais rotas tecnológicas.

As demais sugestões apontam para a necessidade de novos estudos, com ênfase no desenvolvimento de modelamento matemático para controle do processo dinâmico. Assim, deve-se priorizar os seguintes aspectos:

- Incentivar estudos que simulem novos modelos siderúrgicos para o país, tendo-se em conta os fatores dominantes das suas vantagens competitivas (minério de ferro, carvão vegetal, domínio tecnológico do mini alto-forno etc.);
- Fomentar desenvolvimentos em mini-siderúrgicas, por meio de qualificação de pessoal, empresas brasileiras de engenharia e linhas especiais de financiamento;
- Elaborar pesquisa sobre novos processos de descontaminação prévia de sucatas, principalmente em relação aos elementos cobre, níquel, estanho e zinco;
- Providenciar análises técnico-econômicas de processos químicos de descontaminação de sucatas já comprovados;
- Elaborar pesquisas e estudos relacionados às tecnologias de pré-aquecimento de sucata (reator de cuba Fuchs, sistema Consteel, processo NS/DC) e as consequentes implicações ambientais;
- Desenvolver estudos acerca da competitividade de rotas que contemplem um maior uso de ferro-gusa líquido e pré-reduzidos na carga metálica dos EAFs, com base em experiências nacionais e internacionais;
- Estimular pesquisas de modelagem matemática do processo em EAF, com vistas a simular o pré-aquecimento de sucata, maiores taxas de injeção de carbono e de oxigênio, bem como o menor consumo específico de sucata;
- Desenvolver sistemas para o aproveitamento do gás de aciaria elétrica para co-geração, com abatimento na produção de emissões de gás de efeito estufa.



3.3 Produção direta de aço

Contexto internacional

A possibilidade de produção direta de aço (ou ferro de baixo carbono), mediante a utilização de apenas um reator para a realização das operações de redução em fase líquida (bath smelting) e de refino posterior (conversor), representa uma inovação radical para a indústria siderúrgica. Ela revolucionaria toda a cadeia siderúrgica, afetando em particular as etapas de redução e refino.

Grande esforço de pesquisa vem sendo empreendido para o desenvolvimento da produção direta de aço. Já existem três versões tecnológicas testadas em escala-piloto nos projetos:

- a) American Iron and Steel Institute-Direct Steelmaking (AISI-DS, nos Estados Unidos);
- b) Institut de Recherches de la Siderurgie Francaise (IRSID, na Comunidade Européia);
- c) Ifcon (África do Sul).

A redução em fase líquida tem sido pesquisada tentando-se o uso direto de carvão mineral não-coqueificável. O controle da espumação das escórias é considerada operação crítica para a estabilidade desses processos. Por fim, o desgaste dos refratários nos reatores de fusão-reduzora (bath smelting) são preocupações operacionais sérias, maiores que nos processos convencionais.

Diretrizes e recomendações

- Não foi identificada nenhuma iniciativa em torno deste tema no Brasil, de tal forma que o estudo oferece as seguintes recomendações:
- Promover um programa de vigilância tecnológica relativamente às versões dos três processos em desenvolvimento e de outras iniciativas emergentes;
- Apoiar as pesquisas básicas sobre os fundamentos do binômio fusão-reduzora/refino, em condições simuladas;
- Incentivar estudos acerca da possibilidade do uso de carvões de biomassas nos processos de produção direta e contínua de aço, no sentido de adicionar marcantes vantagens sócio-ambientais.

Estas recomendações podem ser agrupadas em uma diretriz relacionada ao desenvolvimento científico-tecnológico.



CAPÍTULO 4

LINGOTAMENTO E LAMINAÇÃO

Após ser produzido (em estado líquido), o aço precisa ser solidificado e resfriado. Este processo é conhecido como lingotamento. Num segundo momento, ele é transformado em produtos finais, numa etapa denominada laminação. Para tratar deste assunto, este capítulo diferencia as questões mais diretamente relacionadas ao processo produtivo daquelas mais associadas aos produtos.

4.1 Tecnologia de processos em lingotamento e laminação

Contexto internacional

O lingotamento convencional e o contínuo são as duas tecnologias mais difundidas em termos de resfriamento. Em escala global, mais de 90% de todo aço produzido é lingotado continuamente. Este processo (considerado uma inovação radical na indústria mundial) possibilitou a fabricação de produtos siderúrgicos de melhor qualidade, um considerável ganho de rendimento metálico (5% a 10%) e uma significativa retração de custos. Hoje, o emprego do lingotamento convencional se restringiu a poucas aplicações nos quais ele se apresenta como a única solução econômica. A laminação, por estar à jusante do lingotamento, também teve que se adaptar a esta tecnologia.

A tecnologia de lingotamento contínuo, principalmente de produtos de seções relativamente grandes (placas de 200 a 250 mm de espessura, e tarugos quadrados a partir de 100 mm de dimensão), está praticamente estabilizada. A lingotabilidade (a capacidade de o aço líquido fluir livremente através da válvula da panela e do distribuidor) e o sequenciamento de corridas estão relativamente bem controlados. Assim, o número de corridas produzidos em sequências (indicador relevante para o rendimento e a eficiência do lingotamento contínuo), hoje, é praticamente limitado pela quantidade de determinado grau de aço a ser produzido e não pela tecnologia de lingotamento.

A primeira geração do lingotamento contínuo, o thick slab continuous casting (no caso de aços planos, que viabilizou produtos com espessuras de 250 mm e várias larguras) é de uso generali-



zado na siderurgia mundial. Esta primeira geração pode também ser denominada de “lingotamento contínuo clássico”. Todavia, a partir da década de 1980, o desenvolvimento da tecnologia de lingotamento contínuo de placas finas (thin slab continuous casting, para aços planos) possibilitou a fabricação de produtos com espessuras de 50 a 60 mm e o incremento da velocidade da máquina de lingotamento para 5 a 10 metros/minutos. Consequentemente, incrementos expressivos de produtividade foram alcançados.

Em linhas gerais, observa-se a tendência de que os produtores de aços planos, que concentram o maior volume de aços produzidos em aciaria LD, passem a operar com lingotamento contínuo de espessura cada vez menor, buscando o enforamento direto ou a produção contínua. Em outras palavras, ao invés de produzir placas, que são esfriadas para inspeção ou estoque e, posteriormente, reaquecidas para a laminação (com significativa perda de energia), prefere-se a utilização de processos em que o calor presente na placa, após lingotamento, seja aproveitado para o trabalho a quente na laminação. Isto configura uma compactação do processo produtivo.

Pode-se afirmar que a produção de bobinas laminadas a quente está caminhando para um patamar de espessuras inferiores a 2 mm, em função da tecnologia de troca de espessura durante o processo (flying gauge change) para o nível de 1 mm. Por conta disto, espera-se uma concorrência crescente entre as bobinas laminadas a quente e as bobinas laminadas a frio, em aplicações gerais, na faixa de aproximadamente 1,2 mm de espessura.

Outro aspecto importante diz respeito ao conceito aço limpo (clean steel), que corresponde à baixa frequência de defeitos no produto final que possam ser atribuídos à formação de óxidos durante a fabricação do aço. Tal conceito vem se tornando um condicionante imprescindível do lingotamento contínuo.

A laminação é um processo de conformação mecânica, que possibilita a transformação de placas em bobinas laminadas a quente e chapas grossas (no caso de aços planos) e de blocos e tarugos em vergalhões, perfis, barras e fio-máquina (no de aços longos). As propriedades dos metais são geralmente melhoradas pela conformação mecânica. Neste caso, o efeito mais relevante é o encruamento (endurecimento por deformação plástica), frequentemente utilizado com a finalidade de aumentar a resistência mecânica dos materiais.

O processo de laminação pode ser feito a frio ou a quente. Normalmente, a laminação a quente é usada para as operações de desbaste e a laminação a frio, para as operações de acabamento.



Estas envolvem operações de tratamentos térmicos (esferoidização, normalização, recozimento etc.) ou tratamentos superficiais (zincagem, estanhagem, cementação, usinagem, têmpera superficial etc.). A melhoria do desempenho da laminação vem requerendo uma maior instrumentação e um conhecimento fenomenológico mais profundo deste processo (carga, desgaste, formas, temperaturas, microestruturas, propriedades mecânicas etc.).

No caso da laminação de produtos longos, mais recentemente, foi introduzido o conceito de linhas de laminação sem fim (endless rolling), nas quais os esboços são unidos através de solda durante o processamento no trem de laminação. Desta forma é possível eliminar tempos mortos entre laminações sucessivas de esboços e diminuir problemas de variações de temperatura, agarramento do esboço pelos cilindros e bobinamento dos produtos. Este tipo de configuração foi estendido para o lingotamento e laminação sem fim (endless casting and rolling), no qual o aço é lingotado continuamente, o tarugo tem sua temperatura uniformizada, sendo a seguir laminado e tratado termicamente em uma única linha de produção conectada. Também pode ser considerado um importante progresso na configuração das linhas de laminação a utilização de pré-formas (beam blank) lingotadas continuamente como matéria-prima dos laminadores de perfis. Assim, à semelhança dos produtos planos, a lógica de tais inovações é compactar e sincronizar as etapas de fabricação.

Contexto nacional

Alinhado à experiência mundial, mais de 90% do aço brasileiro é lingotado continuamente (em lingotamento contínuo “clássico”). Por outro lado, não foi instalado nenhum equipamento de thin slab continuous casting (aços planos), nem de near-net-shape casting (NNSC, para aços longos).

As usinas brasileiras, em termos operacionais de suas laminações, são consideradas atualizadas. No parque industrial brasileiro, de forma similar ao padrão internacional, são encontrados vários tipos de arranjos físicos para fabricação de produtos siderúrgicos. Tal diversidade é consequência dos seguintes fatores:

- a) O estágio do desenvolvimento tecnológico do fornecedor do equipamento de laminação;
- b) O montante de investimento disponível no momento da implantação e ao longo dos anos de funcionamento da usina;
- c) A capacidade de produção especificada e das futuras ampliações almejadas;
- d) A mistura de produção prevista (tipo de aço, tipo de produto e requisitos de qualidade).



Diretrizes e recomendações

As recomendações podem ser agrupadas em torno de duas diretrizes primordiais:

- (d1) Aprofundamento do conhecimento de tecnologias ainda não disseminadas na siderurgia brasileira;
- (d2) Otimização das condições de funcionamento das tecnologias já difundidas no parque siderúrgico brasileiro (Figura 4.1).

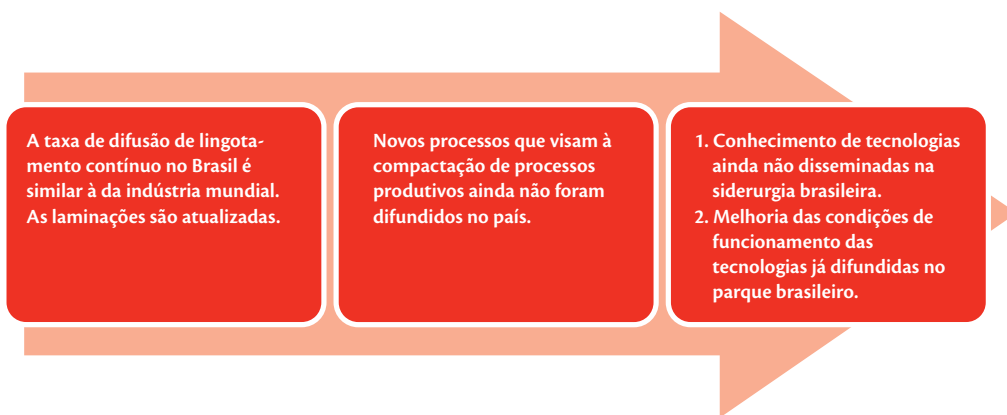


Figura 4.1: Processos de lingotamento e laminação - situação atual e diretrizes

Em relação ao maior conhecimento acerca de tecnologias ainda não adotadas no país, recomenda-se:

- Promover estudos relativos aos processos compact strip production (CSP) e in line strip production (ISP), de integração de lingotamento contínuo com laminação a quente (aços planos), objetivando o uso destas tecnologias em futuro não muito distante;
- Apoiar projeto multi-institucional para o domínio da tecnologia NNSC, visando à fabricação de produtos (aços longos) em velocidades da ordem de 200 metros/minuto, bem como sua vigilância tecnológica em nível mundial;
- Fomentar investigações sobre os mecanismos de formação de segregações e separação de inclusões em condições simuladas de rápida solidificação (processo NNSC): técnicas twin roll strip caster e single belt casting e os correspondentes limites admissíveis de contaminantes;
- Elaborar projeto de vigilância tecnológica a respeito do desenvolvimento de filtros químicos e mecânicos para inclusões, hoje em curso no exterior.



- Quanto à melhoria das condições operacionais das tecnologias em uso pelas siderúrgicas brasileiras, recomenda-se:
- Estimular estudos sobre a minimização de atrito em moldes de lingotamento via fluxos, visando ao aperfeiçoamento dos projetos de máquinas;
- Apoiar o programa multi-institucional de modelagem matemática dos processos de laminação, hoje já nucleado no âmbito da ABM;
- Fomentar o desenvolvimento de fluidos de laminação que garantam maior eficiência na refrigeração dos cilindros.

4.2 Produtos (aços planos e longos)

Contexto internacional

Nos últimos anos a tecnologia da construção civil em aço tem mostrado avanços significativos, englobando projetos de elevada complexidade como prédios de multi-andares (skyscrapers), pontes de grande porte e sofisticadas estruturas especiais. O desenvolvimento na construção civil requer melhores propriedades mecânicas, soldabilidade, redução de peso, acabamento e integração ambiental. O maior interesse recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica (devido à sua resistência mecânica, ductilidade e outras propriedades, os aços estruturais são adequados para a utilização em elementos de construção). Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são:

Elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade micro-estrutural, boa conformabilidade a frio e a quente, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como: corte furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos.

As questões atuais da indústria automobilística se fundem com as questões de meio ambiente e energia, e, assim, com as demandas em relação aos materiais que são utilizados na fabricação de um carro. As principais demandas são:

Redução de peso, absorção de energia de impacto (crashworthiness), segurança e diminuição de emissão de GEE. Esta última considera o ciclo de vida, compreendendo desde a produção do aço até a reciclagem do veículo (cradle to grave). Aproximadamente 60% dos graus de aços utilizados hoje na indústria automobilística foram desenvolvidos nos últimos cinco anos. São os



aços de alta resistência (high-strength steels, HSS), aços avançados de alta resistência (advanced high-strength steels, AHSS) e aços de ultra-alta resistência (ultra-high-strength steels, UHSS), sendo justamente neste segmento que existem oportunidades de desenvolvimentos de fronteira.

Na indústria do petróleo, um dos maiores desafios é a produção nacional de aços de alta resistência para serviço ácido, com conseqüente propensão a problemas de fragilização induzida pelo hidrogênio (hydrogen induced cracking, HIC). Assim, o desenvolvimento de aços duplex, de maior resistência à corrosão e maior resistência mecânica, possibilitará uma maior vida útil, maior segurança e diminuição de peso.

O aço responde por cerca de 22% do custo final de um navio e os desenvolvimentos de aços para aplicações militares levou à evolução dos aços de alta resistência (high tensile steel, HTS), utilizado anteriormente em navios comerciais, para aços de alto escoamento (high yield, HY). Empregando técnicas avançadas, os projetistas têm conseguido utilizar chapas e elementos estruturais mais finos, cujas vantagens não se limitam a retração de custos em construção naval, mas também consideram a economia de consumo de combustível.

Embora no setor de utilidades domésticas não existam grandes novidades, verifica-se na linha branca a tendência de maior emprego de pré-pintados e revestidos. O consumo de aços elétricos de média a alta eficiência também aumentará nos próximos anos, como também é de se esperar um incremento acelerado da fabricação de aços de maior valor agregado, tais como: aços inoxidáveis e aços revestidos, especialmente os galvanizados (também chamados de zincados).

Contexto nacional

No Brasil, apesar do expressivo crescimento recente das estruturas metálicas no mercado brasileiro, sua participação é ainda pequena. A construção civil (concreto armado e vergalhões) é dominante. No país, ainda não se produz perfis pesados laminados acima de 600 mm, o que aparentemente será contornado com investimentos que a Gerdau Açominas está levando a cabo na usina de Ouro Branco em Minas Gerais.

O setor automotivo brasileiro tem apresentado uma trajetória de ampliação do uso de aço de alta resistência, tais como HSS, alta resistência baixa liga (high strength low alloy, HSLA) e bifásicos (dual phase, DP). Porém, no âmbito dos chamados avançados (AHSS), as siderúrgicas estão ainda desenvolvendo os aços DP e bainíticos (de alta resistência), tanto sob a forma de bobina laminada a



quente, quanto de bobina laminada a frio e chapa galvanizada. Deste modo, a indústria doméstica ainda se apresenta em um estágio inferior em relação ao estado-da-arte mundial. Os novos revestimentos, a utilização da técnica de deposição na fase de vapor (phase vapor deposition, PVD), para a deposição de revestimentos de elevada resistência à corrosão, já está sendo avaliada.

Deve-se também mencionar que a falta de regulamentação do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), no que tange à segurança de veículos em acidentes por colisão, é compreendida como um obstáculo ao desenvolvimento de aços para o setor automotivo brasileiro.

O setor de petróleo e gás natural vem apresentando evolução significativa no Brasil, com demandas crescentes de aços com melhores desempenhos estruturais e resistentes à corrosão. Muitos tipos de aço são utilizados por essa indústria, incluindo-se, no caso, aços para perfuração, exploração e distribuição. No entanto, o maior volume está na classe American Petroleum Institute (API), utilizada para a fabricação de tubos de grande diâmetro e essenciais na construção das linhas dutoviárias. Embora o desenvolvimento do aço API X80, já fabricado no Brasil, tenha sido realizado com sucesso, a sua aplicação tem sido limitada aos risers, em plataformas de perfuração. As dificuldades de produção do API X80 decorriam da falta de tecnologia de resfriamento acelerado, que foi recentemente introduzida no país pela Usiminas.

O setor da indústria naval tem apresentado tendência para o uso de aços microligados (em particular com cobre) ou bainíticos, sem comprometimento de suas soldabilidades. Tendo em vista que a indústria naval brasileira praticamente ficou desmobilizada por vários anos, não se constatarem novos desenvolvimentos no que diz respeito aos produtos siderúrgicos.

De um modo geral, cinco fatores concorrem para inibir o desenvolvimento de novos aços no Brasil:

- a) Elevada instabilidade de mercado;
- b) Alto custo requerido para o desenvolvimento;
- c) Falta de capacitação em termos de recursos humanos e infraestrutura laboratorial;
- d) Desinformação por parte dos usuários, acerca de novos tipos de aço;
- e) Falta de padronização, em especial da indústria automobilística, o que dificulta atingir a escala mínima ótima de produção.



Diretrizes e recomendações

Duas são as diretrizes principais:

- (d1) Monitoramento (programa de vigilância tecnológica mundial) em relação aos novos produtos siderúrgicos e articulação entre as usinas siderúrgicas e os consumidores, para o estabelecimento de prioridades quanto ao desenvolvimento de novos aços;
- (d2) Apoio ao desenvolvimento de produtos siderúrgicos de maior sofisticação tecnológica (Figura 4.2).

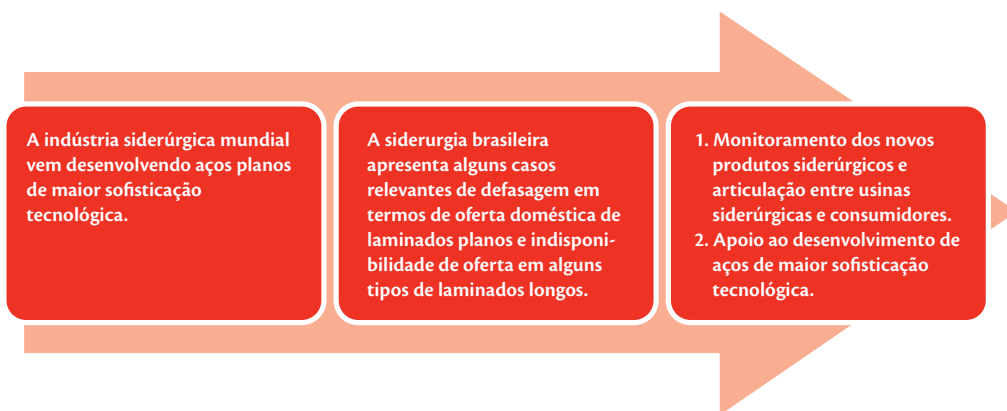


Figura 4.2: Aços Planos e longos - situação atual e diretrizes

Quanto ao monitoramento dos novos produtos siderúrgicos e à articulação entre as usinas siderúrgicas e os consumidores, para o estabelecimento de prioridades para o desenvolvimento de novos aços, recomenda-se:

- Estabelecer um programa de ampla vigilância tecnológica em âmbito mundial, focalizado na concepção e produção de novos aços;
- Construir a matriz de produtos produzidos no Brasil (contendo características químicas, estruturais, de propriedades) e confrontá-la com a da indústria mundial, com objetivo de estimular o avanço gradual dos produtos fabricados domesticamente;
- Estabelecer processo de cooperação com os usuários, visando a identificar e priorizar os novos tipos de aço a serem desenvolvidos, assim como aproveitar as vantagens dos novos produtos.



Em relação ao apoio ao desenvolvimento de aços de maior sofisticação tecnológica, recomenda-se:

- Investir na formação de redes de pesquisa (pessoal, infraestrutura etc.) com o objetivo de aumentar a capacitação para desenvolvimento de aços mais sofisticados, de forma alinhada às tendências mundiais;
- Desenvolver e caracterizar os novos aços, produtos tanto de escala laboratorial, quanto da escala industrial;
- Estabelecer relações de cooperação com o setor de ferro-liga, com o objetivo de redução dos custos deste insumo, bem como o desenvolvimento de ferroligas adequados à fabricação de aços mais sofisticados;
- Apoiar as pesquisas envolvendo os aços AHSS de terceira geração (20 a 60% de alongamento e 600–1.500 MPa de resistência) para a indústria automotiva;
- Fomentar os projetos de interação universidade-indústria de petróleo e gás natural, em relação ao desenvolvimento de aços HIC, resistentes aos ambientes ácidos;
- Estimular pesquisas aplicadas no sentido de se viabilizar a produção de aços com maior resistência ao calor para estruturas metálicas (perfis soldados);
- Desenvolver estudos específicos sobre a oportunidade de produção de laminados longos ainda não produzidos no país, como, por exemplo, trilhos e dormentes metálicos.



CAPÍTULO 5

GESTÃO AMBIENTAL

5.1 Gestão ambiental

Contexto internacional

As características mais relevantes no tocante aos aspectos políticos e institucionais da gestão ambiental na atualidade são:

- a) Crescente e ampla preocupação ambiental;
- b) Proliferação de normas cada vez mais restritivas para a ação humana exploradora dos recursos naturais;
- c) Exacerbação da luta pela preservação de culturas e etnias locais;
- d) Ampliação da atuação do chamado terceiro setor;
- e) Fortalecimento das ações das organizações ambientais.

Tais fatores indicam um novo padrão de desenvolvimento, para o qual as empresas devam estar atentas: o desenvolvimento sustentável.

De fato, não se deve esperar qualquer nível de flexibilização ou normas mais brandas no âmbito legal e institucional no campo da gestão ambiental. Ao contrário, as normas serão cada vez mais restritivas como consequência de:

- a) Relatórios científicos que apontam para o esgotamento do planeta;
- b) Exigência de qualidade de vida por parte das comunidades locais;
- c) Valoração crescente dos seus recursos naturais e culturais.

Não se deve aguardar também uma desaceleração dos processos de descentralização decisória para a agenda ambiental, bem como uma diminuição do papel da sociedade nesses processos; sequer uma separação racional da pauta ambiental e da pauta social.



Faz-se necessário aperfeiçoar os modelos empresariais de gestão para que as empresas estejam preparadas para o novo paradigma do desenvolvimento. Este pressupõe:

- a) A participação da sociedade;
- b) O compartilhamento de informações;
- c) A transparência na gestão;
- d) O respeito aos valores locais ambientais e culturais;
- e) O elevado nível de pressão internacional para a preservação ambiental; e
- f) A função governamental por meio da democracia participativa.

Neste contexto, as empresas precisam comprometer-se com a inovação tecnológica e a capacitação gerencial para uma atuação social e ambientalmente correta, além do que estabelece a legislação. Ademais, necessitam estar adaptadas às políticas de redução da emissão dos GEE.

Contexto nacional

No Brasil, a participação das organizações sociais, especialmente as ambientalistas, nos processos decisórios, que se referem à gestão ambiental, foi institucionalizada. Tal movimento segue, em certa medida, tendência mundial de avanço dos processos democráticos. Entretanto, no país, as chamadas organizações não-governamentais (ONGs), até recentemente, não tinham nenhum controle e regra de atuação. Esse desordenamento causa sérios problemas no que se refere à legitimidade daquelas que participam dos colegiados decisórios e sobre o repasse de recursos financeiros públicos para sua atuação.

Históricas carências sociais e complexos problemas de preservação cultural e étnica, agravadas por uma legislação equivocadamente paternalista e pela ausência do Estado na oferta de serviços sociais básicos em algumas regiões, fazem com que a luta pela preservação dos recursos naturais seja mais uma luta social do que ambiental. Desta forma, especialmente nos processos de licenciamento, governos e empresas precisam estar atentos para o estabelecimento de relações efetivamente sustentáveis, sob pena de ficarem sob a tutela de grupos locais com interesses não muito claros, e, conseqüentemente, ao estabelecimento de demandas infundáveis e pouco transparentes.

À semelhança da experiência internacional, cabe às companhias a compreensão das novas tendências relacionadas à sustentabilidade e a reflexão sobre a necessidade de avançarem ainda mais seus modelos empresariais. Isto é especialmente verdadeiro no que se refere ao melhora-



mento da relação com as comunidades (representadas pelos poderes políticos locais e pelas organizações da sociedade civil), e à possibilidade de ampliar o volume de investimentos em inovação tecnológica, em particular no que tange às tecnologias limpas, por meio de uma maior aproximação com as universidades e centros tecnológicos.

Diretrizes e recomendações

As recomendações relativas ao gerenciamento ambiental podem ser agrupadas em duas diretrizes principais:

- (d1) Aperfeiçoamento dos modelos de gestão empresarial;
- (d2) Articulação governo/sociedade/empresa para definição de projetos ambientais prioritários e na defesa dos interesses setoriais em negociações internacionais (Figura 5.1).

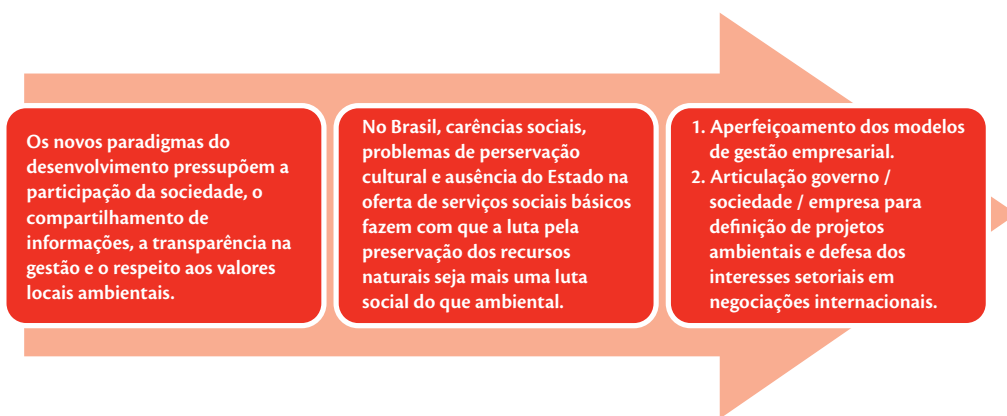


Figura 5.1: Gestão ambiental - situação atual e diretrizes

No que se relaciona ao aprimoramento dos modelos de gestão empresarial, recomenda-se:

- Aperfeiçoar os modelos de gestão para que as empresas estejam melhor alinhadas ao novo paradigma do desenvolvimento;
- Comprometer-se com a inovação tecnológica e a capacitação gerencial para uma atuação social e ambientalmente correta, além do que estabelece a legislação.



Quanto à articulação envolvendo governo, sociedade e setor empresarial, recomenda-se:

- Apoiar a melhor qualificação das instituições públicas, formalmente constituídas, de modo a garantir a governabilidade das políticas públicas ambientais, dando atenção especial para a atuação dos organismos colegiados;
- Estabelecer, por parte das empresas, de forma conjunta e negociada, com governos e sociedade, metas voluntárias, programas e projetos prioritários para a redução dos GEE;
- Fomentar discussão sobre a adoção de biorredutores com vistas ao estabelecimento de políticas e estratégias;
- Envolver toda a cadeia minero-metalúrgica nas negociações internacionais ambientais, para que, em atuação conjunta com o governo brasileiro, os interesses do setor sejam defendidos.

5.2 Gestão de emissão atmosférica

Contexto internacional

As emissões atmosféricas ainda continuam sendo a questão ambiental de maior impacto no processo siderúrgico. Elas estão correlacionadas diretamente com a energia e a conservação de recursos, pois as emissões significam perda de materiais e energia que poderiam estar sendo aproveitados de outra forma. Como no processo siderúrgico ainda não é possível evitar a geração de emissões atmosféricas, essas devem ser mitigadas, de forma a minimizar seus impactos ao ambiente.

A taxa de geração de CO_2 situa-se, atualmente, numa faixa de 1.510 a 2.200 kg/tonelada de aço bruto nas usinas integradas a coque e de 450 a 600 kg/tonelada de aço bruto nas usinas semi-integradas (Figura 5.2). A etapa de redução responde por aproximadamente 85% das emissões de CO_2 nas usinas integradas a coque.

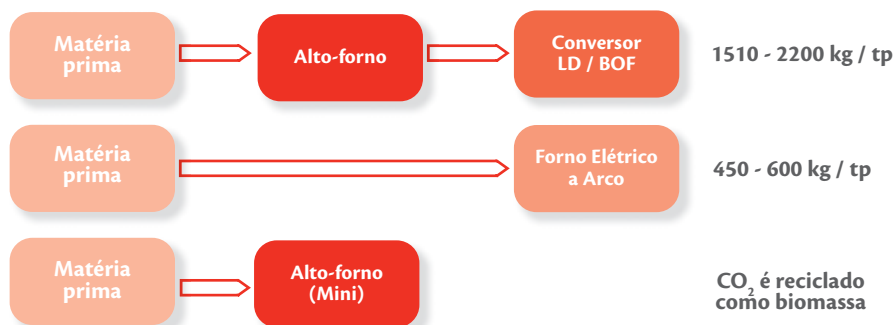


Figura 5.2: Emissões de CO₂ em rotas tecnológicas siderúrgicas selecionadas (kg / tonelada de aço)

Atualmente, com a grande atenção que se está dando às emissões dos GEE, a siderurgia encontra-se numa posição crítica, pois é um dos setores que mais emitem CO₂ na atmosfera. Como consequência, as siderúrgicas vêm atualmente buscando, cada vez mais, maior eficiência, e nos últimos 50 anos reduziram suas emissões de GEE em 55%. Por isso, torna-se difícil o estabelecimento de metas de redução significativa, no curto prazo, dos atuais índices de emissão. Apesar disso, as empresas siderúrgicas vêm priorizando projetos que aumentem a eficiência energética de todo o processo, tais como:

- Troca de combustíveis (exemplo: troca do gás liquefeito de petróleo/GLP por gás natural),
- Aproveitamento de gases para geração de energia e emprego da energia cinética dos gases (turbina de topo nos altos-fornos).

Outro aspecto muito relevante é o fato de que, por estarem intimamente interligadas, as principais iniciativas mundiais de geração de inovações tecnológicas para a mitigação do CO₂ tem buscado, de forma simultânea, a diminuição do consumo energético na siderurgia. Hoje, dois programas, de longo prazo, se encontram em estágios mais avançados relativamente a este tema:

- Ultra Low CO₂ Steelmaking (ULCOS), de natureza multi-institucional no âmbito da Comunidade Européia, que foi iniciado há quatro anos;
- 50% CO₂ - 50% Energia, em desenvolvimento no Japão há quase uma década.

Ambos visam a reduzir substancialmente as emissões de CO₂.



Contexto nacional

Na experiência brasileira, a utilização de carvão vegetal é uma solução poderosa para a mitigação das emissões de CO₂ da indústria siderúrgica no Brasil. O país, além de clima adequado e relativa disponibilidade de terra para plantio do eucalipto, possui uma avançada tecnologia nesse plantio, fabricação do carvão vegetal e uso em altos-fornos. Importante destacar algumas vantagens do carvão vegetal comparativamente ao carvão mineral:

- Inexistência de contaminantes danosos ao aço, nem ao meio ambiente;
- Menor desgaste do alto-forno;
- Menor temperatura de operação do alto-forno, acarretando menor perda térmica;
- Menor produção de escória;
- Menor consumo de energia;
- Emissão negativa de CO₂ para a atmosfera, ao se considerar o ciclo produtivo.

No entanto, é preciso mencionar que a produção de aço via carvão vegetal é limitada por restrição da capacidade de carga no alto-forno. Outro aspecto relevante é o alto investimento em terras, que deve ser feito com pelo menos seis anos de antecedência, comparativamente a um alto-forno, que leva, em média, dois anos para ser construído. Ademais, existem barreiras sócio-ambientais, devido ao fato de que parte do carvão vegetal utilizado nas pequenas siderúrgicas ser proveniente de florestas nativas.

Outra questão importante para a siderurgia brasileira, a ser abordada no futuro próximo, é a da siderurgia carbono neutro, que é um grande passo para a diminuição das emissões do GEE. Quando se aborda o conceito de carbono neutro, a adoção de projetos de energia renovável e de reflorestamento se torna fundamental para a compensação das emissões de CO₂. Isso significa afirmar que todas as emissões decorrentes das atividades da empresa, em toda a sua cadeia de negócios, da extração da matéria-prima ao descarte das embalagens, serão reduzidas ou compensadas. E o carvão vegetal é de grande importância hoje para este processo de neutralização.

Diretrizes e recomendações

- (d1) Uma diretriz baseia-se no apoio às pesquisas relativas ao uso de carvão de biomassa em substituição as fontes de origem fóssil na cadeia siderúrgica (Figura 5.3). Sua



intenção, portanto, é estimular o uso do carvão vegetal no setor, o que é uma peculiaridade do parque nacional.

- (d2) A segunda diretriz visa ao maior conhecimento de progressos tecnológico que permitam a retração das emissões atmosféricas de usinas integradas a coque.

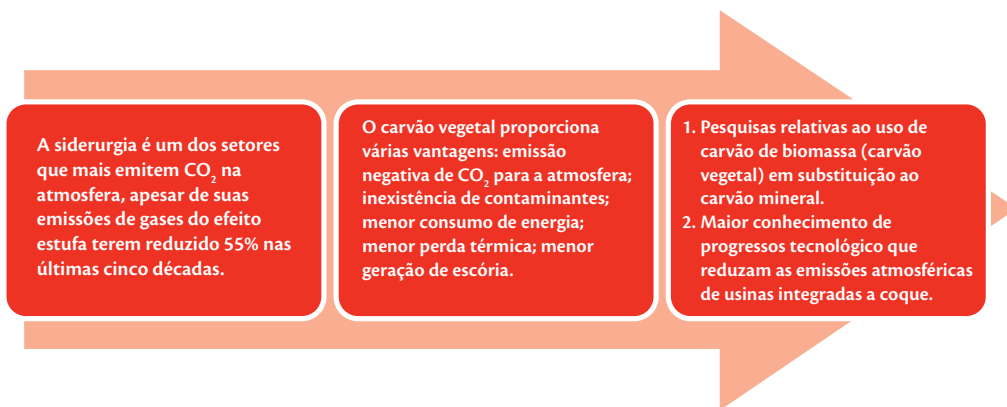


Figura 5.3: Gestão de emissão atmosférica - situação atual e diretrizes

A primeira diretriz não possui desdobramentos em termos de recomendações específicas. Por outro, duas recomendações são associadas à segunda diretriz:

- Apoiar a implementação de projeto multi-institucional visando à vigilância tecnológica dos processos SCBF, HIsarna (que faz parte do Projeto Ultra Low CO₂ Steelmaking/ULCOS), reciclagem de gás de topo nos altos-fornos, redução direta avançada (H₂) e a tecnologia CCS;
- Fomentar a linha de pesquisa de produção de ferro primário por eletrólise (carbon free process).

5.3 Consumo de energia

Contexto internacional

Uma das características marcantes da siderurgia moderna é ser extremamente intensiva em matéria-prima, energia, capital, conhecimento e elementos ambientais. Em relação à energia em particular, é importante destacar que o consumo específico varia consideravelmente conforme a rota tecnológica empregada. A Figura 5.4 mostra que a rota usina integrada a coque (alto-forno



a coque e aciaria LD) necessita de 17 a 19 gigajoule (GJ) por tonelada produzida. No caso de usina semi-integrada (cujo processo se inicia no forno elétrico a arco), o padrão típico de consumo é de 8-10 GJ/ tonelada.

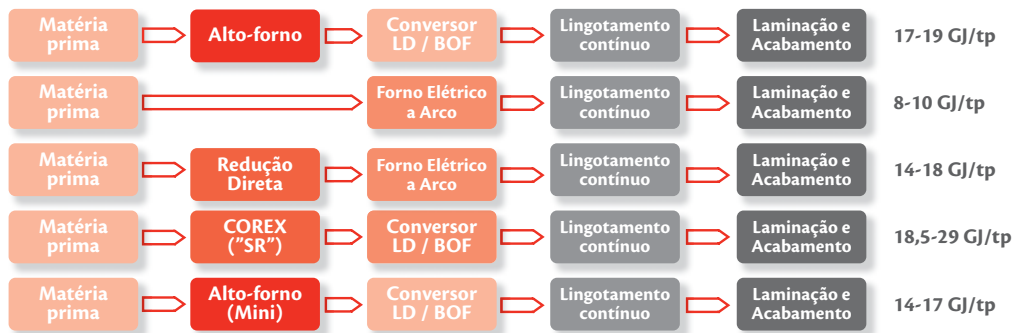


Figura 5.4: Consumo específico de energia das rotas tecnológicas siderúrgicas (GJ/tonelada)

As etapas de matérias-primas e redução das usinas integradas a coque respondem por 80% a 85% do total da energia consumida neste tipo de configuração produtiva. Para as usinas semi-integradas, 70% a 75% da energia total são despendidas nas fases de matérias-primas e refino (aciaria).

Uma das formas clássicas de redução do consumo de energia na indústria siderúrgica tem sido a difusão de tecnologias mais compactas. A adoção do processo NNSC, no caso de aços planos, tem um potencial de economia de até 20% e 50% sobre o total de energia atualmente consumida por usinas integrada a coque e semi-integradas, respectivamente.

Contexto nacional

A siderurgia é considerada uma atividade intensiva na demanda de energia, sendo responsável por 5 a 9% da energia consumida no país. Os energéticos mais empregados na indústria siderúrgica brasileira são o coque, carvão vegetal, outras fontes (incluindo carvão mineral, gás de alto-forno, calcário e alcatrão), eletricidade, gás natural e gás de coqueria, em ordem decrescente de importância. Coque e carvão vegetal tradicionalmente são responsáveis por 60% do total da energia consumida no setor.



Reiterando, a siderurgia a carvão vegetal é um traço peculiar do parque brasileiro. No caso específico do mini alto-forno a carvão vegetal é viável a operação de redução em nível térmico mais baixo que o do alto-forno a coque ($\approx 125^{\circ}\text{C}$) e com menor geração de escoria ($\approx 50\%$).

Diretrizes e recomendações

Foram apresentadas 11 recomendações, que cobrindo vários aspectos distintos, não convergiram para diretrizes. Desta forma, aponta-se apenas uma diretriz genérica, relativa à:

- (d1) necessidade de diminuição do consumo de energia pela indústria siderúrgica brasileira (Figura 5.5).

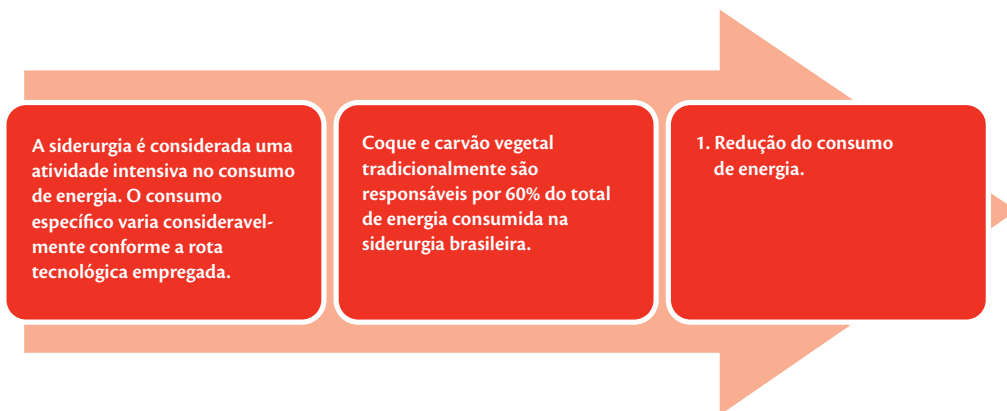


Figura 5.5: Consumo de energia - situação atual e diretrizes

Tendo em vista a interligação dos temas de gestão das emissões atmosféricas e consumo de energia, eles compartilham algumas das recomendações:

- Desenvolver estudos visando à definição das áreas na produção siderúrgica de maior potencial de redução do consumo de energia;
- Desenvolver manuais de boas práticas visando a economizar energia com os recursos existentes;
- Expandir e aperfeiçoar os sistemas de cogeração de energia;
- Investir em estudos de filtragem de gás, especialmente do alto-forno, visando ao aumento da concentração de CO, com consequente aumento do seu potencial energético;



- Apoiar projetos de investigação visando ao aproveitamento da energia térmica contida nas escórias (\approx 3% energia do processo);
- Abrir linhas de fomento às pesquisas, envolvendo o uso de aglomerados autoredutores nos altos-fornos, em particular do projeto brasileiro Tecnored;
- Fomentar pesquisas envolvendo o enriquecimento de oxigênio no sopro dos altos-fornos e a injeção de plásticos pelas ventaneiras;
- Apoiar a realização de estudos técnico-econômicos sobre o uso de carvão vegetal como termoreductor nas tecnologias de redução tradicionais e emergentes;
- Substituir os tratamentos térmicos por tratamento termomecânico;
- Desenvolver equipamentos auxiliares mais eficientes energeticamente, mediante processos cooperativos com as presenças de empresas de bens de capital, empresas siderúrgicas, empresas de engenharia e comunidade acadêmica;
- Apoiar a implementação de programa de vigilância tecnológica de natureza multi-institucional, visando ao monitoramento dos processos NNSC, SCBF, Hlsarna (que faz parte do Projeto ULCOS) e de reciclagem de gás de topo, no que se refere à energia.

5.4 Gestão dos resíduos e reciclagem

Contexto internacional

Os tipos de resíduos gerados na indústria siderúrgica são os mais variados e provenientes, principalmente, do processamento de matérias-primas, do desgaste e usinagem de peças, da preparação de superfícies metálicas, entre outros. Reciclagem, incineração, tratamentos físico-químicos e disposição final em aterros são, entre outros, métodos mais utilizados para o gerenciamento dos resíduos sólidos. A seleção do método mais apropriado normalmente se baseia em considerações econômicas e nas tecnologias disponíveis, de acordo com as leis ambientais em vigor.

Apesar de a indústria siderúrgica ter feito progressos relevantes na diminuição dos impactos da fabricação do aço no meio ambiente, no que se refere à gestão de resíduos, ainda existe um grande potencial de redução. É por meio do sistema de gestão de coprodutos que se têm os maiores avanços no aumento da sustentabilidade ambiental nas indústrias siderúrgicas. Nas usinas integradas a coque, cerca de 80% do total de resíduos sólidos gerados são oriundos apenas de duas



etapas: redução e refino. Nas usinas semi-integradas, as fases de matérias-primas e refino (aciaria) respondem pela quase totalidade da geração.

A escória de alto-forno é o coproduto com maior volume de geração, na faixa de 210 a 310 kg por tonelada de ferro-gusa produzido, dependendo da qualidade das matérias-primas utilizadas. No caso da escória de aciaria, a geração encontra-se na faixa de 100 a 150 kg por tonelada de aço produzido, dependendo da rota tecnológica e matérias-primas empregadas. A geração da escória de forno-panela (um tipo de equipamento que visa ao ajuste fino da composição do aço) é da ordem de 10 a 40 kg por tonelada de aço.

Na etapa de processamento, buscam-se sempre aqueles que proporcionam aplicações mais nobres para o coproduto, tais como: escórias de alto-forno são granuladas e vendidas para a indústria cimenteira; escórias de aciaria podem ser utilizadas na agricultura; pós e carepas podem ser reaproveitadas no processo de produção, quando utilizados na composição de sinter e aglomerados que serão cargas do alto-forno e da aciaria. A grande mudança de paradigma ocorrerá no tratamento dos resíduos, quando passarão a ter os mesmos controles, no seu processo de geração, que o aço recebe atualmente. Tal controle permitirá a geração de coprodutos mais padronizados e com, conseqüentemente, maior valor agregado.

O aço, como material, tem afinidade com a proteção ambiental por possuir um desempenho superior a outros metais e por ser imediatamente reciclável. O aço é hoje o produto mais reciclável e mais reciclado do mundo. Quando finda sua vida útil, produtos como carros, geladeiras, fogões, latas, barras e arames tornam-se sucatas, que alimentam os fornos das usinas, produzindo novamente aço.

Contexto nacional

O setor siderúrgico brasileiro vem, há alguns anos, adotando uma política consistente e sistêmica de gestão de resíduos, que consiste na transformação destes em coprodutos reutilizados no próprio setor ou comercializados como insumos para a utilização em outras atividades. A transformação de resíduos em produtos corresponde a uma forma moderna de medida de eficiência e responsabilidade social de uma atividade produtiva.

De uma maneira geral, dos cerca de 550 kg de resíduos sólidos gerados por tonelada de aço produzido nas usinas integradas a coque, as siderúrgicas já recuperam (e reciclam) cerca de 98% des-



tes materiais, sendo algumas empresas brasileiras consideradas referências internacionais neste campo, com índices superiores aos de várias usinas estrangeiras. Por outro lado, a reciclagem de coprodutos na aciaria e no alto-forno via briquetagem (aglomeração), que é uma prática difundida na siderurgia mundial, ainda é pouco praticada no Brasil.

As iniciativas de reciclagem se intensificam devido aos indícios cada vez mais evidentes de esgotamento dos recursos naturais e à percepção da redução do espaço no planeta para o armazenamento de resíduos gerados pelos processos industriais e pelo descarte pós-consumo. A reciclagem de aço representa atualmente uma importante atividade econômica, que envolve uma grande estrutura composta por aproximadamente 3.000 empresas, reciclando anualmente 4,5 milhões de toneladas de aço. A siderurgia brasileira recicla anualmente cerca de 5,9 milhões de toneladas de sucata, adquiridas no mercado interno, além daquela gerada no próprio processo.

Diretrizes e recomendações

A única diretriz relaciona-se à:

- (d1) Otimização dos esforços já realizados na gestão de resíduos e reciclagem

E isto por meio das recomendações:

- Expandir o sistema atual de aproveitamento de resíduos e reciclagem do aço;
- Construir a matriz de resíduos da indústria siderúrgica e investir em novos programas para desenvolvimento de processos para conversão de resíduos em coprodutos e criação de novas oportunidades, por meio de processo cooperativo, envolvendo empresas e comunidade acadêmica;
- Avaliar a utilização de sucatas de outras origens (plástico pós-consumo, por exemplo) e propor sistema de crédito ambiental por conta da utilização.

5.5 Gestão dos recursos hídricos

Contexto internacional

A utilização de água no processo siderúrgico é na ordem de 100 a 200 m³ por tonelada de aço produzido, suprida, principalmente, pela captação direta em cursos de água próximos às unida-



des industriais. As águas são utilizadas principalmente para o resfriamento dos equipamentos, do aço e na limpeza dos gases e outras atividades secundárias, como granular escória.

Os índices de recirculação nas empresas siderúrgicas vêm crescendo. Há empresas siderúrgicas de aços longos, nas quais o índice de recirculação chega a 98%, sem gerar efluente, pois o restante da água é evaporado. Essas mesmas empresas buscam ainda a diminuição das perdas por evaporação e a melhora dos equipamentos, que exigirão cada vez menos necessidade de resfriamento (já que resfriamento é fuga de calor), diminuindo assim a captação de água e aumentando a taxa de recirculação. Além disso, algumas unidades industriais que têm sua posição geográfica próxima à costa procuram evitar o consumo de água doce e potável para o resfriamento de produto e de maquinário, já que não há empecilho técnico significativo para este uso com águas salobras e/ou salgadas.

Contexto nacional

A adoção da cobrança pelo uso da água em uma bacia hidrográfica foi instituída na Lei Nº 9433, de 1997. A cobrança pelo uso da água já está implantada em duas bacias hidrográficas: Paraíba do Sul e Piracicaba, Capivari e Jundiá, ambas localizadas na Região Sudeste, abrangendo os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. A cobrança pelo uso da água está agindo como instrumento eficaz de incentivo ao uso racional de recursos hídricos, sem causar impactos econômicos significativos aos usuários industriais.

A maior parte da água utilizada no processo produtivo das siderúrgicas decorre da necessidade de refrigeração e equipamentos e materiais. Essa característica tem possibilitado às empresas implantarem medidas que aumentam consideravelmente o volume de água reciclada em seus processos. Algumas iniciativas que refletem esse esforço estão relacionadas à aplicação de tecnologias de ponta para a implantação de sistemas de reuso de efluentes, fechamento de circuitos e ações de conscientização dos operadores da unidade produtiva. Em 2008, o índice da recirculação da água doce da siderurgia brasileira foi de 94%.

Diretrizes e recomendações

Foi apresentada apenas uma única recomendação, qual seja: investir em desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de água, de tal forma a melhorar, em 2015, índices atuais de bom desempenho, a serem determinados setorialmente.



CAPÍTULO 6

DIRETRIZES E RECOMENDAÇÕES (RESUMO)

O objetivo deste capítulo final é o de rerepresentar as diretrizes e as recomendações. Elas foram relacionadas aos conceitos de competitividade sistêmica e competitividade estrutural. O primeiro nível de competitividade diz respeito aos fatores que estão localizados fora das fronteiras do setor industrial; portanto, nesses casos, a melhoria do desempenho empresarial é mais dependente de políticas públicas. A competitividade estrutural (setorial) decorre das condutas dos integrantes da cadeia produtiva, ainda que influenciada por iniciativas governamentais.

O Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico (EPSS) também propõe a criação de programas tecnológicos nacionais, em torno de temas prioritários, sendo que a participação das empresas, universidades e centros de pesquisa em tais programas seria por adesão voluntária.

Um dos projetos será dedicado ao desenvolvimento da metodologia a serem aplicados nos demais projetos, encarregados de sistematizar as seguintes temáticas:

- Biomassas;
- Carvão mineral nacional;
- Infraestrutura para inovação (de caráter transversal);
- Fortalecimento das atividades de consultoria e engenharia;
- Talentos para a siderurgia;
- Vigilância tecnológica.

Uma mesma recomendação pode transpassar mais de um programa tecnológico. Não são citadas aqui todas as possíveis relações, razão pela qual se decidiu priorizar as associações mais importantes entre as mencionadas recomendações e os programas tecnológicos.



Quadro 6.1: Diretrizes e recomendações para minério de ferro

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Maiores investimentos em prospecção geológica	Ampliar investimentos em prospecção geológica, visando à descoberta de reservas com maiores porcentagens de granulado e menores teores de impureza, especialmente de fósforo	Sistêmica	
Estudos adicionais para se adaptar à nova realidade das jazidas de ferro	Criar uma plataforma para o desenvolvimento de estudos em minério de ferro, tendo-se em conta os aspectos econômicos, as novas tecnologias e processos, a diminuição do consumo de energia e os impactos ambientais	Estrutural	Infraestrutura para Inovação
	Incentivar, ampliar e consolidar as integrações siderurgia/mineração e siderurgia/mineração/academia, visando ao desenvolvimento de soluções para o aproveitamento de finos de minério de ferro e minérios com maiores teores de impurezas, especialmente de fósforo	Estrutural	Infraestrutura para Inovação
	Incentivar e consolidar os estudos de geometalurgia dos minérios de ferro, visando à mensuração dos seus valores de uso (value in use)	Estrutural	
	Estimular estudos fundamentais acerca da mineralogia da alumina e do fósforo nos minérios de ferro e as reais possibilidades de sua extração por processos de concentração, em particular a flotação	Estrutural	
	Avaliar, por meio de estudos de caracterização química, o potencial de impacto ambiental dos diferentes minérios de ferro brasileiros (por exemplo, a produção de dioxinas no processo de sinterização)	Setorial	
	Investir nos estudos de beneficiamento dos itabiritos e outros minérios de menor teor de ferro contido	Estrutural	



Quadro 6.2: Diretrizes e recomendações para carvão mineral e coqueria

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Melhor conhecimento das reservas brasileiras de carvão mineral para o uso na cadeia siderúrgica	Apoiar as investigações de caráter multi-institucional (projeto nacional), englobando as atividades de pesquisa mineral, tratamentos de concentração e usos do carvão	Sistêmica	Carvão mineral nacional
	Investir em estudos geológicos visando à determinação segura das reservas atuais e ao real potencial carbonífero do país para uso na siderurgia	Sistêmica	Carvão mineral nacional
	Avaliar, para as reservas existentes e para os possíveis potenciais, os impactos ambiental, social e econômico da sua exploração	Sistêmica	Carvão mineral nacional
	Caracterizar o carvão mineral, hoje lavrado, com o objetivo de garantir o desempenho do seu uso em diferentes processos da indústria siderúrgica (produção de coque, injeção de finos de carvão nos altos-fornos, redução direta, novas tecnologias de fusão-reutora etc.)	Estrutural	Carvão mineral nacional
	Investir na atualização e na ampliação da infraestrutura laboratorial para desenvolvimento de estudos com o carvão mineral brasileiro	Sistêmica	Carvão mineral nacional; Infraestrutura para inovação
	Desenvolver, para os casos mais promissores, estudos visando à concentração do carvão mineral brasileiro, de tal forma a permitir a sua participação na matriz de termoredutores da siderurgia	Estrutural	Carvão mineral nacional
	Estudar o carvão mineral brasileiro sob a ótica do potencial de valores, por exemplo: carvão para a cadeia siderúrgica, fertilizantes a partir das cinzas e recuperação do enxofre	Estrutural	Carvão mineral nacional
Pesquisas quanto ao uso de carvão mineral nacional e do coque verde de petróleo	Avaliar as experiências mundiais no tratamento de carvões não-coqueificáveis	Estrutural	Carvão mineral nacional



Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
	Investigar a real possibilidade de uso do carvão mineral nacional e do CVP, como aditivos nas misturas de carvões para as coquearias, bem como seus usos na forma de injeção de finos nos altos-fornos	Estrutural	Carvão mineral nacional
	Desenvolver, para a situação atual, estudos acerca de rotas econômicas de produção de aço com carvões não-coqueificáveis, como redução direta e fusão-redutora	Estrutural	Carvão mineral nacional
	Pesquisar a gaseificação do carvão mineral nacional em leito fixo e fluidizado, para aplicação nos vários elos das cadeias e rotas siderúrgicas alternativas, como redução direta e fusão-redutora	Estrutural	Carvão mineral nacional
	Estudar a possibilidade de emprego do carvão mineral nacional e do CVP como material carbonoso de adição na produção de pelotas “verdes” e como combustível nos fornos de pelotização	Estrutural	Carvão mineral nacional
	Investigar o uso do carvão mineral nacional e do CVP como agentes autoredutores em aglomerados a frio produzidos pelas tecnologias emergentes nacionais	Estrutural	Carvão mineral nacional



Quadro 6.3: Diretrizes e recomendações para carvão vegetal

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Expansão da base florestal	Apoiar pesquisa aplicada de natureza multi-institucional (projeto nacional), envolvendo a criação e o desenvolvimento de plantações energéticas, com foco na produção de carvão vegetal de forma ambientalmente sustentável	Estrutural	Biomassas
	Realizar estudos geoeconômicos, edafoclimáticos, ambiental e social para definir áreas com vocação sustentável para produção de biomassa para energia e siderurgia, inclusive implantação de áreas experimentais regionalizadas para identificação e aperfeiçoamento de espécies	Sistêmica	Biomassas
	Aperfeiçoar, fomentar e manejar os plantios já existentes para o atendimento das demandas por mudas de elevada produtividade mássica	Sistêmica	Biomassas
	Desenvolver e/ou aperfeiçoar o conceito de sistemas agrosilvopastoris para uso sustentado de pequenos e médios produtores rurais, localizados em regiões próximas dos pontos de consumo de madeira para energia e siderurgia	Sistêmica	Biomassas
Fontes alternativas de biomassa	Investir na geração de conhecimento científico sobre biomassa para energia	Estrutural	Biomassas; Talentos para a siderurgia
	Reavaliar, do ponto de vista técnico-econômico das tecnologias nacionais de fabricação dos carvões vegetal, de capim elefante e do babaçu, e seus desdobramentos a jusante (briquetagem, caracterizações, usos como finos e aproveitamento de coprodutos)	Estrutural	Biomassas



Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
	Criar linhas de fomento para investigações sobre a carbonização de rejeitos agrícolas e seus usos na siderurgia, nas etapas redução e refino	Sistêmica	Biomassas
Melhoria do desempenho técnico-ambiental	Construir a plataforma biomassa e carvão vegetal	Estrutural	Biomassas
	Maximizar a reciclagem dos resíduos do ciclo integrado madeira/aço, no âmbito do conceito de ecossistema de manufatura	Estrutural	Biomassas
	Financiar pesquisa de monitoração in situ do balanço de CO ₂	Sistêmica	Biomassas
	Substituir o sistema atual de unidades pelo sistema internacional, com a utilização do peso seco de biomassa para cobrança de tributos e critérios de qualidade para o carvão vegetal	Sistêmica	Biomassas
	Desenvolver máquinas e equipamentos que facilitem a total mecanização à jusante da floresta	Estrutural	Biomassas
	Desenvolver máquinas e equipamentos para corte e desbaste de árvores que maximizem a recuperação de frações finas, visando à utilização posterior, em formas compactadas, como fonte de energia dentro do sistema integrado floresta/siderurgia	Estrutural	Biomassas
	Identificar, desenvolver e fomentar o uso de tecnologias de carbonização	Estrutural	Biomassas
	Incentivar pesquisa sobre os processos de carbonização sob pressão	Estrutural	Biomassas
	Desenvolver, identificar e adaptar processos de secagem natural e forçada — por exemplo, uso de gases de exaustão da carbonização, previamente tratados, para reduzir a perda de rendimento gravimétrico na carbonização	Estrutural	Biomassas



Quadro 6.4: Diretrizes e recomendações para pelotização e sinterização

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Melhoria do desempenho técnico-ambiental das plantas em operação	Desenvolver estudos com o objetivo de aumentar a eficiência energética dos processos de pelotização e sinterização	Estrutural	
	Desenvolver estudos visando à diminuição e ao controle das emissões nos processos de pelotização e sinterização	Estrutural	
	Desenvolver pelotas e sínteres com maiores teores de ferro, visando à diminuição das emissões, ao incremento da produtividade e ao menor consumo de redutor nos altos-fornos e nos módulos de redução direta	Estrutural	
Desenvolvimento de tecnologias específicas	Avaliar, desenvolver e implantar os processos de aglomeração a frio, tendo-se em conta as tecnologias atuais e as emergentes de redução (Tecnoled, Interferro etc)	Estrutural	
	Apoiar os grupos de pesquisa voltados ao estudo e à produção de pelotas com contaminantes autofluxados	Estrutural	Infraestrutura para Inovação; Talentos para a siderurgia
	Fomentar estudos com vistas à otimização dos mecanismos de micropelotização de finos nas misturas para sinterização	Estrutural	
	Apoiar as investigações objetivando a substituição de particulados de coque por finos de carvão de biomassas na sinterização	Estrutural	Biomassas
	Estimular as pesquisas sobre a otimização do binômio especularita/processo de pelotização	Estrutural	



Quadro 6.5: Diretrizes e recomendações para alto-forno a coque

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Maior articulação empresa/governo/academia e programa de vigilância tecnológica	Elaborar, no conceito de plataforma, um programa setorial de desenvolvimento para a área de redução que, por meio da integração empresa/governo/academia, aborde as questões relativas à dinâmica que vigora entre as tecnologias atuais e os avanços tecnológicos (vigilância tecnológica) e os minérios e redutores disponíveis no país	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Instalar e operar um observatório de dimensão setorial para o acompanhamento e a avaliação de processos e tecnologias de redução	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Fomentar investigações e a vigilância tecnológica internacional acerca das pesquisas inovadoras de captura e estocagem subterrânea de CO ₂ (CO ₂ capture and storage, CCS)	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Promover pesquisas sobre a utilização de aglomerados auto-redutores na mistura de carga dos altos-fornos a coque e manter vigilância tecnológica sobre a proposta inovadora do alto-forno super compacto (super compact blast furnace, SCBF)	Estrutural	Vigilância tecnológica
Adoção de inovações incrementais	Apoiar as linhas de investigação voltadas à modelagem matemática e física do processo de produção de ferro-gusa em alto-forno a coque	Estrutural	



Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
	Fomentar o estudo de modelagens para ampliação da escala (scale-up), voltado para a absorção e adaptação da tecnologia do alto-forno	Estrutural	
	Incentivar as pesquisas relativas ao aumento do uso de frações menores de coque (small coke), à diminuição do consumo de água e ao incremento da quantidade de pelotas na carga dos altos-fornos a coque	Estrutural	
	Apoiar os setores de instrumentação, visando à aplicação e ao desenvolvimento de sondas para o controle dinâmico do processo do alto-forno a coque	Estrutural	
	Apoiar as pesquisas e as atividades de vigilância tecnológica relativa ao processo de reciclagem do gás de topo e de operações com altos índices de enriquecimento de oxigênio no sopro	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Criar linhas de fomento em pesquisa básica focalizada na otimização cinética das etapas do processo de redução dos minérios de ferro (hematíticos e magnetíticos) brasileiros, inseridas no contexto da nanotecnologia	Sistêmica	



Quadro 6.6: Diretrizes e recomendações para alto-forno a carvão vegetal

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Alteração das legislações federal e estaduais	Modificar as legislações federal e estaduais visando incentivar a produção de ferro-gusa em altos-fornos a carvão vegetal	Sistêmica	Biomassas
Financiamento para a construção de usinas integradas a carvão vegetal	Financiar a implantação de usinas integradas a carvão vegetal (com aciarias básicas a oxigênio ou aciarias elétricas), compreendidas como modelos siderúrgicos integrados (ambientalmente sustentáveis) e representando a evolução tecnológica dos atuais guseiros	Sistêmica	Biomassas
	Promover estudos de natureza técnico-econômica para avaliar a alternativa de ampliação de mini-siderúrgicas no país, baseadas em mini altos-fornos a carvão vegetal e aciaria elétrica, com capacidade de produção na faixa de 0,3 a 2 milhões de toneladas por ano	Estrutural	Biomassas
	Promover estudos de natureza técnico-econômica para avaliar a alternativa de construção de mini-siderúrgicas no país, baseadas em mini altos-fornos a carvão vegetal e aciaria a oxigênio	Estrutural	Biomassas
Melhoria do desempenho técnico-ambiental	Apoiar as pesquisas aplicadas de natureza multi-institucional (projeto nacional), envolvendo a utilização das técnicas de resfriamento e dissecação em altos-fornos a carvão vegetal	Estrutural	Biomassas
	Incentivar a consolidação das empresas de consultoria e engenharia detentoras da tecnologia do alto forno a carvão vegetal	Sistêmica	Consultoria e engenharia; Biomassas
	Desenvolver estudos visando ao aperfeiçoamento das cargas metálicas, em especial das relações minério/sínter/pelota, bem como definição/caracterização dos diferentes componentes	Estrutural	



Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
	Desenvolver tecnologias de aglomeração de finos de minério de ferro para atender às condições do setor guseiro	Estrutural	Biomassas
	Desenvolver e incentivar a produção de carvão vegetal no formato granular com o objetivo de melhorar os resultados dos mini altos-fornos	Estrutural	Biomassas
	Desenvolver estudos relacionados com o controle e operação do mini alto-forno a carvão vegetal	Estrutural	Biomassas
	Apoiar estudos visando à recuperação e ao reuso dos particulados gerados nos altos-fornos a carvão vegetal (incentivo às tecnologias nacionais Interferro e TecnoRed)	Estrutural	Biomassas
	Fomentar investigações relacionadas ao uso das escórias de altos-fornos a carvão vegetal	Estrutural	Biomassas
	Avaliar as alternativas e desenvolver modelo para o aproveitamento do potencial energético do gás de mini alto-forno no contexto dos diferentes pólos de produção existentes no país	Estrutural	Biomassas
	Desenvolver modelos de recirculação de resíduos no sistema integrado floresta/siderúrgica	Estrutural	Biomassas



Quadro 6.7: Diretrizes e Recomendações para redução direta e processos emergentes de redução

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Investigação acerca da viabilidade de implantar módulos de redução direta no país	Investigar viabilidade de implantar módulos de redução direta tradicionais (Midrex e HYL) no país, com descarregamento direto de DRI a quente nos fornos elétricos a arco, analisando as suas viabilidades nas regiões litorâneas de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo, frente à maior disponibilidade de gás natural	Estrutural	
Programa de vigilância tecnológica para redução direta e para os processos emergentes	Implantar atividades de vigilância tecnológica dos processos internacionais de redução direta em desenvolvimento, tendo como meta a minimização da emissão de CO ₂	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Promover a vigilância tecnológica acerca da evolução dos processos RHF(s) e Hi-QIP, devido às suas características auto-redutoras, e os processos bath smelting Corex, Finex, Cyclone e Hlsmelt	Estrutural	Vigilância tecnológica
Apoio ao maior desenvolvimento tecnológico, em particular para tecnologias Tecnored e Interferro	Apoiar o desenvolvimento dos processos Tecnored e Interferro, tecnologias inovadoras e genuinamente brasileiras	Estrutural	Engenharia e consultoria
	Fomentar as investigações sobre as reações básicas de fusão-redutora e suas modelagens matemáticas	Estrutural	Engenharia e consultoria
	Apoiar parcerias universidade/mineradoras nacionais objetivando desenvolver pesquisas experimentais de calibração e de modelagens matemáticas a respeito da produção de DRI/HBI com alto teor de carbono (> 4%) e das reações de self-reforming catalisadas pelo ferro metálico	Estrutural	
	Apoiar as modelagens matemáticas dos processos de RD avançados em reatores de cuba, em particular de redução com altos teores de hidrogênio e tecnologia CCS	Estrutural	



Quadro 6.8: Diretrizes e recomendações para aciaria LD

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Melhoria do desempenho ambiental	Elaborar estudos acerca da combustão e pós-combustão dos gases do processo	Estrutural	
	Desenvolver estudos para o aproveitamento de escórias e lamas de aciaria	Estrutural	
	Apoiar as linhas de pesquisa visando à recuperação de zinco das lamas finas do sistema de limpeza de gases	Estrutural	
	Incentivar as pesquisas visando reduzir a expansibilidade das escórias (cal livre)	Estrutural	
	Apoiar o desenvolvimento de técnicas de incorporação contínua de aditivos em escórias líquidas, visando à geração de produtos para uso agrícola e em pavimentação	Estrutural	
Desenvolvimento de inovações incrementais	Fomentar a formação de redes de pesquisa em refino de aço por oxigênio por meio da construção de um sistema envolvendo empresas, governo e comunidade acadêmica	Estrutural	Talentos para a siderurgia
	Desenvolver estudos sobre as tecnologias periféricas de produção de aço na rota integrada convencional (alto-forno a coque e conversores básicos a oxigênio), no que tange à dessulfuração, à desfosforação, à transformação de gusa e ao refino secundário do aço	Estrutural	
	Elaborar estudos para recuperação de valores contidos em ferroligas	Estrutural	
	Estudar fundentes alternativos à fluorita	Estrutural	
	Desenvolver estudos e pesquisas referentes ao potencial de desfosforação na emulsão escória-banho metálico, atendidas as condições operacionais do conversor LD	Estrutural	
	Incentivar a modelagem matemática dos refinamentos primário e secundário, bem como investir em sistemas de controle e automação do processo, inclusive para a variante EOF	Estrutural	



Quadro 6.9: Diretrizes e recomendações para aciaria elétrica

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Fornecimento de energia elétrica a custos competitivos	Garantir o suprimento de energia elétrica em condições competitivas para as usinas à base de EAF (com ou sem altos-fornos).	Sistêmica	
	Incentivar estudos que simulem novos modelos siderúrgicos para o país	Estrutural	Consultoria e engenharia
Desenvolvimento de modelamento matemático para controle do processo dinâmico	Fomentar desenvolvimentos em mini-siderúrgicas, por meio de qualificação de pessoal, empresas brasileiras de engenharia e linhas especiais de financiamento	Sistêmica	Consultoria e Engenharia; Talentos para a siderurgia
	Elaborar pesquisa sobre novos processos de descontaminação prévia de sucatas	Estrutural	
	Providenciar análises técnico-econômicas de processos químicos de descontaminação de sucatas já comprovados	Estrutural	
	Elaborar pesquisas e estudos relacionados às tecnologias de pré-aquecimento de sucata	Estrutural	
	Desenvolver estudos acerca da competitividade de rotas que contemplem um maior uso de ferro-gusa líquido e pré-reduzidos na carga metálica dos EAFs	Estrutural	
	Estimular pesquisas de modelagem matemática do processo em EAF, com vistas a simular o pré-aquecimento de sucata, maiores taxas de injeção de carbono e de oxigênio, bem como o menor consumo específico de sucata	Estrutural	
	Desenvolver sistemas para o aproveitamento do gás de aciaria elétrica para co-geração, com abatimento na produção de emissões de gás de efeito estufa	Estrutural	



Quadro 6.10: Diretrizes e recomendações para produção direta de aço

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Programa de vigilância tecnológica	Desenvolver programa de vigilância tecnológica relativamente às versões de processos em desenvolvimento (AISI-DI, IRSID, Ifcon) e de outras iniciativas emergentes	Estrutural	Vigilância tecnológica
Desenvolvimento científico-tecnológico	Apoiar pesquisas básicas sobre os fundamentos do binômio fusão-reduzida/refino, em condições simuladas	Estrutural	Consultoria e engenharia
	Incentivar estudos acerca da possibilidade do uso de carvões de biomassas nos processos de produção direta e contínua de aço, no sentido de adicionar marcantes vantagens sócio-ambientais	Estrutural	Biomassas

Quadro 6.11: Diretrizes e recomendações para processos de lingotamento e laminação

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Aprofundamento do conhecimento de tecnologias ainda não disseminadas na siderurgia brasileira	Promover estudos relativos aos processos CSP e ISP, de integração de lingotamento contínuo com laminação a quente (aços planos), objetivando o uso destas tecnologias em futuro não muito distante	Estrutural	
	Apoiar projeto multi-institucional para o domínio da tecnologia NNSC, bem como sua vigilância tecnológica em nível mundial	Estrutural	Vigilância Tecnológica
	Fomentar investigações sobre os mecanismos de formação de segregações e separação de inclusões em condições simuladas de rápida solidificação (processo NNSC): técnicas twin roll strip caster e single belt casting e os correspondentes limites admissíveis de contaminantes	Estrutural	
	Elaborar projeto de vigilância tecnológica a respeito do desenvolvimento de filtros químicos e mecânicos para inclusões, hoje em curso no exterior	Estrutural	Vigilância tecnológica
Melhoria das condições operacionais de tecnologias em uso pelas siderúrgicas brasileiras	Estimular estudos sobre a minimização de atrito em moldes de lingotamento via fluxos, visando ao aperfeiçoamento dos projetos de máquinas	Estrutural	
	Apoiar o programa multi-institucional de modelagem matemática dos processos de laminação, hoje já nucleado no âmbito da ABM	Estrutural	Talentos para a siderurgia
	Fomentar o desenvolvimento de fluidos de laminação que garantam maior eficiência na refrigeração dos cilindros	Estrutural	



Quadro 6.12: Diretrizes e recomendações para produtos

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Vigilância tecnológica em relação aos novos produtos siderúrgicos e articulação entre as usinas siderúrgicas e os consumidores	Estabelecer um programa de ampla vigilância tecnológica em âmbito mundial, focalizado na concepção e produção de novos aços	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Construir a matriz de produtos produzidos no Brasil e confrontá-la com a da indústria mundial, com objetivo de estimular o avanço gradual dos produtos fabricados domesticamente	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Estabelecer processo de cooperação com os usuários, visando a identificar e priorizar os novos tipos de aço a serem desenvolvidos, assim como aproveitar as vantagens dos novos produtos	Estrutural	
Apoio ao desenvolvimento de produtos siderúrgicos de maior sofisticação tecnológica	Investir na formação de redes de pesquisa (pessoal, infraestrutura etc.) com o objetivo de aumentar a capacitação para desenvolvimento de aços mais sofisticados, no contexto das tendências mundiais	Sistêmica	Talentos para a siderurgia
	Desenvolver e caracterizar os novos aços, produtos tanto de escala laboratorial quanto da escala industrial	Estrutural	
	Estabelecer relações de cooperação com o setor de ferroliga, com o objetivo de redução dos custos deste insumo, bem como o desenvolvimento de ferroligas adequados à fabricação de aços mais sofisticados	Estrutural	
	Apoiar as pesquisas envolvendo os aços AHSS de terceira geração para a indústria automotiva	Estrutural	
	Fomentar os projetos de interação universidade-indústria de petróleo e gás natural, em relação ao desenvolvimento de aços HIC, resistentes aos ambientes ácidos	Estrutural	
	Estimular pesquisas aplicadas no sentido de se viabilizar a produção de aços com maior resistência ao calor para estruturas metálicas (perfis soldados)	Estrutural	
	Desenvolver estudos específicos sobre a oportunidade de produção de laminados longos ainda não produzidos no país, como, por exemplo, trilhos e dormentes metálicos	Estrutural	



Quadro 6.13: Diretrizes e recomendações para gestão ambiental

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Aprimoramento dos modelos de gestão empresarial	Aperfeiçoar os modelos de gestão para que as empresas estejam melhor alinhadas ao novo paradigma do desenvolvimento	Estrutural	
	Comprometer-se com a inovação tecnológica e a capacitação gerencial para uma atuação social e ambientalmente correta, além do que estabelece a legislação	Estrutural	
Articulação governo/sociedade/empresa para definição de projetos ambientais prioritários e na defesa dos interesses setoriais em negociações internacionais	Apoiar a melhor qualificação das instituições públicas, formalmente constituídas, de modo a garantir a governabilidade das políticas públicas ambientais, dando atenção especial para a atuação dos organismos colegiados	Sistêmica	
	Estabelecer, por parte das empresas, de forma conjunta e negociada, com governos e sociedade, metas voluntárias, programas e projetos prioritários para a redução dos GEE	Sistêmica	
	Fomentar discussão sobre a adoção de biorredutores com vistas ao estabelecimento de políticas e estratégias	Sistêmica	Biomassas
	Envolver toda a cadeia mínero-metalúrgica nas negociações internacionais ambientais, para que, em atuação conjunta com o governo brasileiro, os interesses do setor sejam defendidos	Sistêmica	



Quadro 6.14: Diretrizes e recomendações para gestão de emissões atmosféricas

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Estímulo ao uso do carvão vegetal no setor	Apoiar as pesquisas relativas ao uso de carvão de biomassa em substituição as fontes de origem fóssil na cadeia siderúrgica	Estrutural	Biomassas
Maior conhecimento de progressos tecnológico que permitam a retração das emissões atmosféricas de usinas integradas a coque	Apoiar a implementação de projeto multi-institucional visando à vigilância tecnológica dos processos SCBF, Hlsarna, reciclagem de gás de topo nos altos-fornos, redução direta avançada (H2) e a tecnologia CCS	Estrutural	Vigilância tecnológica
	Fomentar a linha de pesquisa de produção de ferro primário por eletrólise (carbon free process)	Estrutural	



Quadro 6.15: Diretrizes e recomendações para consumo de energia

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Diminuição do consumo de energia pela indústria siderúrgica brasileira	Desenvolver estudos visando à definição das áreas na produção siderúrgica de maior potencial de redução do consumo de energia	Estrutural	
	Desenvolver manuais de boas práticas visando a economizar energia com os recursos existentes	Estrutural	
	Expandir e aperfeiçoar os sistemas de co-geração de energia	Estrutural	
	Investir em estudos de filtragem de gás, especialmente do alto-forno, visando ao aumento da concentração de CO	Estrutural	
	Apoiar projetos de investigação visando ao aproveitamento da energia térmica contida nas escórias	Estrutural	
	Abrir linhas de fomento às pesquisas envolvendo o uso de aglomerados autoredutores nos altos-fornos, em particular do projeto brasileiro TecnoRed	Estrutural	
	Fomentar pesquisas envolvendo o enriquecimento de oxigênio no sopro dos altos-fornos e a injeção de plásticos pelas ventaneiras	Estrutural	
	Apoiar a realização de estudos técnico-econômicos sobre o uso de carvão vegetal como termo-redutor nas tecnologias de redução tradicionais e emergentes	Estrutural	Biomassas
	Substituir os tratamentos térmicos por tratamento termomecânico	Estrutural	
	Desenvolver equipamentos auxiliares mais eficientes energeticamente	Estrutural	
Apoiar a implementação de programa de vigilância tecnológica de natureza multi-institucional, visando ao monitoramento dos processos NNSC, SCBF, HIsarna e de reciclagem de gás de topo, no que se refere à energia	Estrutural	Vigilância tecnológica	



Quadro 6.16: Diretrizes e recomendações para gestão de resíduos, reciclagem e recursos hídricos

Diretrizes	Recomendações	Competitividade	Programas Tecnológicos
Otimização dos esforços já realizados na gestão de resíduos e reciclagem	Expandir o sistema atual de aproveitamento de resíduos e reciclagem do aço	Estrutural	
	Construir a matriz de resíduos da indústria siderúrgica e investir em novos programas para desenvolvimento de processos para conversão de resíduos em coprodutos e criação de novas oportunidades, por meio de processo cooperativo, envolvendo empresas e comunidade acadêmica	Estrutural	
	Avaliar a utilização de sucatas de outras origens (plástico pós-consumo, por exemplo) e propor sistema de crédito ambiental por conta da utilização	Estrutural	
Aperfeiçoamento da gestão de recursos hídricos	Investir em desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de água, de tal forma a melhorar, em 2015, índices atuais de bom desempenho, a serem determinados setorialmente	Estrutural	



LISTA DE DOCUMENTOS INTERMEDIÁRIOS DO ESTUDO

Recomendações político-institucionais para a siderurgia do Brasil 2010-2025. Documento propositivo. Brasília, DF, Set/2009. 35p.

Marcelo de Matos. Este documento contém o essencial para que se fundem as bases da siderurgia brasileira do futuro. Tudo vai depender da extensão a que as ações propostas serão levadas e, isto, é uma tarefa da relevância dos tomadores de decisão do setor siderúrgico do Brasil.

Recomendações para inovação tecnológica na siderurgia do Brasil 2010-2025. Documento propositivo. Brasília, DF, Out/2009. 36p.

José Carlos D'Abreu. O documento representa o conjunto de ações que devem permitir à siderurgia brasileira manter-se competitiva e sustentável. Mais ainda, a sua construção, caracterizada por uma visão democrática, imperiosa nestas situações, contou com a colaboração de representantes do governo, academia e empresas, num esforço que, sem dúvida, se não inédito, é uma demonstração dada à questão tecnológica por tantos quantos têm compromisso com o futuro da siderurgia brasileira.

Siderurgia: Sustentabilidade é tema estratégico para setor de produção de aço, recomenda estudo; crise adia investimento e expansão. Artigo publicitário. Brasília, DF, Mai/2009. 3p.

Juliana Marinho. Mais financiamento para pesquisa, desenvolvimento e inovação; melhoria na formação de recursos humanos; revisão do modelo de tributação; redução das emissões de gases de efeito estufa e do consumo de água e energia. Estas são recomendações preliminares para o setor siderúrgico que resultam da atividade do CGEE denominada Tecnologias Críticas em Setores Econômicos Estratégicos.

Deliberações do Comitê Executivo: relato de reunião extraordinária. Ata de reunião. Brasília, DF, Fev/2009. 20p.

Fernando Cosme Rizzo Assunção. O CGEE avaliou a reunião da comissão do EPSS (realizada em 03/02/2009) como muito positiva e esclarecedora da importância da continuidade do Estudo, no sentido do cumprimento de seu objetivo maior: o fortalecimento dos pilares de competitividade, sustentabilidade e responsabilidade social no setor, fazendo-se uso do enorme conhecimento promovido e registrado nos documentos técnicos produzidos na fase do panorama setorial.

Mapeamento estratégico do setor siderúrgico brasileiro. Caderno de informações de base (oportunidades, desafios, forças, fraquezas). Relatório de oficina. Brasília, DF, Nov/2008. 98p.

Elyas Ferreira de Medeiros. Esse Caderno contém informações (preliminares) de base estratégica para o EPSS, cujo horizonte temporal se estende a 2025. Nele, o leitor encontrará transcrições de tendências, previsões, fatos portadores de futuro, pontos fortes, pontos fracos e recomendações de interesse da siderurgia brasileira.



Considerações metodológicas para estratégias. Artigo pela equipe técnica do CGEE. Brasília, DF, Abr/2009. 6p.

Elyas Ferreira de Medeiros. Trata da produção de estratégias para quatro frentes de interesse imediato do setor siderúrgico: formação de quadros-técnicos; arranjos para inovação tecnológica; diagnóstico prospectivo para o setor mineral; e construção de observatório tecnológico para o setor minero-metalúrgico.

Resumo de notas técnicas do EPSS. Relatório pela equipe técnica do CGEE. Brasília, DF, Dez/2008. 25p.

Beatriz Mangas. O objetivo é apoiar o estudo da siderurgia nas Fases II e III com vistas à montagem de roteiros de ações estratégicas e tecnológicas para o setor. Cuidamos da revisão e formatação das Notas Técnicas, segundo as normas adotadas pelo CGEE. Ademais, produzimos o documento Resumo Executivo das Notas Técnicas do Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico, no qual podem ser encontradas sínteses das mesmas.

Documento do panorama do setor siderúrgico. Relatório. Brasília, DF, Out/2008. 117p.

Marcelo de Matos. As discussões apresentadas ao longo deste trabalho mostraram que há, em curso nos dias de hoje, um processo de mudanças profundas. Sustentabilidade e competitividade representam, para as empresas, dois eixos que suportarão todos os seus desenvolvimentos a partir de agora. Bem próxima está a regulamentação da responsabilidade social. Produzir, nos dias de hoje, não significa apenas quantidades e lucros, há, subjacente ao universo operacional, um conjunto de fatores que devem ser considerados.

Recomendações para siderurgia quanto a inovações tecnológicas, eficiência energética, responsabilidade social, aspectos macroeconômicos. Relatório de oficina. Brasília, DF, Jan/2009. 17p.

Beatriz Mangas. A proposta desta Nota é explicitar, do material produzido em seminário na ABM, o conjunto das principais recomendações de especialistas para, então, desdobrá-las em estratégias e planos de ação com a participação de formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão nos âmbitos de governo, empresas e academias. O documento contém: (1) Uma visão estratégica sobre inovações tecnológicas na siderurgia; (2) Uma visão estratégica sobre eficiência energética na siderurgia; (3) O papel da responsabilidade social na sustentabilidade de setores industriais; e (4) Aspectos macroeconômicos com impacto no mercado de commodities e do aço.

Inovações tecnológicas. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 31p.

José Carlos D'Abreu. As tendências tecnológicas mundiais dos vários setores que compõe a cadeia produtiva da siderurgia estão, pelo momento, bem estabelecidas. Algumas propostas inovadoras de natureza radical justificam plenamente um programa de vigilância tecnológica contínua por parte do setor nacional, tendo em vista que representam ameaças às tecnologias vigentes, principalmente os "carbon less processes" e as tecnologias de baixo consumo energético e de minimização da emissão de CO₂.

Tecnologia e Inovação. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 50p.

José Carlos D'Abreu. Esta nota técnica apresenta o tema relativo à inovação tecnológica na siderurgia, abor-



dando inicialmente alguns tópicos gerais e conceituais e o desenvolvimento da siderurgia brasileira, dos anos 70 até a atualidade, analisando a perspectiva de investimento em PDE&I referente ao período 2007-2012. No aspecto do processo de inovação na siderurgia é discutida a influência dos setores “fronteiras” com a cadeia siderúrgica, sendo inicialmente apresentados dois indicadores de desenvolvimento tecnológico.

Biomassa para siderurgia. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 17p.

Ronaldo Santos Sampaio. É viável e atraente, para a competitividade da siderurgia brasileira, a intensificação do uso de plantios florestais sustentáveis para a produção de carvão vegetal e seus coprodutos. Os principais vetores para o sucesso do uso dos plantios florestais são apontados e sugestões de pontos relevantes colocadas; o assunto é complexo, contudo. Este documento indica parte dos assuntos relevantes considerados vitais para o contínuo sucesso e crescimento sustentado dessa atividade no Brasil.

Conversão da biomassa em carvão vegetal. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 18p.

Ronaldo Santos Sampaio. Discorre-se sobre o processo de carbonização e ressalta-se a necessidade de se utilizar o sistema “peso seco” de madeira e carvão vegetal produzido para o dia a dia desta atividade. A quantidade e qualidade do carvão vegetal dependem de fatores tais como a madeira e suas características químicas e físicas, assim como sua umidade, dentre outros. Tecnologias simples para esse processo ainda prevalecem no Brasil, mas outras já estão sendo aprimoradas; e novas, implantadas.

Uso de carvão vegetal em mini altos-fornos. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 17p.

Ronaldo Santos Sampaio. A Nota trata de assuntos e metas relevantes na produção do ferro gusa nos mini altos-fornos e propõem várias recomendações para o setor, dentre as quais: atuar em legislações estaduais e federais que incentivem a agregação de valor aos recursos naturais como é a produção de ferro gusa e aços a partir dos minérios no Brasil. O vetor suprimento de carvão vegetal pode vir a ser reforçado com suprimento de madeira de produtores independentes fomentados pelos órgãos públicos de financiamento ao desenvolvimento de pequenos e médios empresários do campo. Assim, as regras legais precisam melhor incluir também o produtor independente de madeira e carvão vegetal de florestas plantadas.

Sustentabilidade do setor mineiro-metalúrgico. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Jul/2008. 08p.

Jacques Marcovitch. Entre as recomendações para reduzir a concentração de efeito estufa na atmosfera, as cinco escolhidas com maiores índices de apoio foram: (1) Investir em pesquisas de tecnologias limpas; (2) Estruturar sistemas regulatórios de padrão internacional; (3) Atrair tecnologia limpa; (4) Reduzir emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE); (5) Induzir a redução de GEE nas cadeias de fornecimento e distribuição.

Gás Natural. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 13p.

Paulo Ludmer. A multiplicação dos preços internacionais do petróleo afetou os preços relativos dos demais insumos energéticos. Atingiu também o gás natural e abriu espaço para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia, antes antieconômicas. O gás, o mais atrativo entre os combustíveis de hidrocar-



bonetos fósseis, terá pela frente um agudo consenso da humanidade em sintonia com a energia limpa e sustentável, geopoliticamente independente e avessa a riscos da volatilidade. O papel do gás na sociedade segue atrativo e com vida longa, mas sob balizas inteiramente novas e em definição.

Laminação. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Jul/2008. 23p.

Ernandes Marcos da Silveira Rizzo. A importância dos metais na tecnologia moderna deve-se em grande parte à relativa facilidade com que estes podem ser processados com o objetivo de se obter uma forma desejada, com propriedades controladas e a um custo compatível com a sua utilização.

Minério de ferro e pelotas: Situação atual e tendências 2025. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 50p.

José Murilo Mourão. A mineração de ferro brasileira ocupa posição relevante no cenário mundial, liderando os principais mercados, tanto em volume quanto em qualidade. Com os investimentos anunciados deverá consolidar essa condição, no longo prazo. Sendo atividade intensiva em capital, a escala e a qualidade das reservas minerais, assim como dos ativos de produção e logística, continuarão sendo fatores determinantes para a competitividade em nível global.

Metálicos para aciarias: sucatas, gusa, ferro esponja. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 33p.

Boaventura Mendonça d'Ávila Filho. No Brasil, cinco fatores diferenciam seu mercado de sucata, em relação ao quadro mundial: (1) elevada participação das usinas integradas na produção de aço; (2) disponibilidade de gusa (ofertado) por uma produção independente (devido disponibilidade ímpar de minério de ferro no país); (3) parcela significativa do semi-acabado na produção vendida pelas siderúrgicas, para exportação; (4) mais de 1/3 da produção de aço (acabado e semi-acabado) destinado à exportação; (4) produção automobilística não proporcional (para maior) ao nível de renda per capita do país.

Carvão e coque. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 24p.

Eduardo Osório, Antônio Vilela, Carlos Hoffmann. A NT apresenta as diversas possibilidades de inserção de carvão e coque nas rotas de produção de aço. São definidos os principais conceitos de carvão, lavra, beneficiamento, critérios para caracterização de carvões e processos de conversão para uso na siderurgia. Entretanto, os principais objetivos são: apresentar as perspectivas e entraves tecnológicos para o setor de carvão e coque na siderurgia, tendências para os próximos anos, oportunidades e desafios para o setor produtor e consumidor de carvão. Fazendo referência à situação atual e passada da produção de carvão, (mineração e beneficiamento). São feitas recomendações às instituições setoriais (academia, empresas mínero-metalúrgicas) e governo, a fim de melhorar a competitividade e sustentabilidade da siderurgia no país, nos âmbitos econômico, social, cultural e ecológico.

Fundentes e escorificantes: situação atual com tendências 2025. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 26p.

Katsujiro Susaki. O objetivo desta Nota é apresentar o estado da arte da tecnologia siderúrgica com relação aos fundentes e fluxantes, e analisar de que maneira os diversos vetores econômicos, tecnológicos e sociais afetarão a forma como os escorificantes serão utilizados na atividade siderúrgica no horizonte de 2025. Os escorificantes são insumos de baixo valor e os problemas a eles associados são basicamente a logística de



transporte e suprimento de gás natural para calcinação. Mas o que merece atenção para que o país se torne realmente um grande player siderúrgico mundial é o domínio dos processos de refino de aço.

Outros Insumos: ferro-ligas, zinco, estanho, cromo, níquel, alumínio e minério de manganês: situação atual com tendências 2025. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 54p.

Claudio Parra De Lazzari. O presente trabalho teve por objetivo efetuar uma análise detalhada a respeito dos assuntos relevantes relacionados a alguns importantes insumos utilizados na indústria siderúrgica (ferro-ligas, zinco, estanho, cromo, níquel, alumínio e minério de manganês). Como resultado, para cada um destes insumos pesquisados, foi possível elaborar um diagnóstico preciso em termos de situação passada, da atual e das implicações futuras, previstas dentro do horizonte de 2025. A Nota Técnica apresenta uma série de recomendações a serem seguidas tendo por base o desenvolvimento previsto para o setor siderúrgico nos próximos anos.

Eficiência energética na siderurgia. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Fev/2009. 32p.

Sérgio Valdir Bajay. Esta Nota Técnica procura mostrar que, de um lado, houve grandes progressos na gestão dos principais insumos energéticos; mas, de outro, ainda há elevados limites de conservação de energia, tanto térmica como elétrica, que podem ser atingidos, com substanciais benefícios em termos de competitividade e sustentabilidade ambiental. Bem verdade que tudo isso dependerá da adoção de estratégias empresariais adequadas e da formulação de políticas públicas de fomento apropriadas.

Engenharia de projetos. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 09p.

Pedro Braga. No Brasil, a disciplina de engenharia de projetos na área siderúrgica sofreu nas décadas de 1980-1990 um forte processo de esvaziamento. Empresas tradicionais desapareceram definitivamente ou diminuíram drasticamente de tamanho. Com a retomada do desenvolvimento da indústria siderúrgica nacional a partir do final da década de 1990 e com a grande aceleração deste desenvolvimento a partir de 2004, as empresas sobreviventes buscam reunir recursos para fazer frente ao imenso desafio e novas empresas se formam no processo.

Engenharia de montagem. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2009. 19p.

Mauro Ottoboni Pinho. Um novo ciclo de prosperidade econômica deve alavancar a economia brasileira para um patamar mais elevado, o que significa maior demanda por produtos siderúrgicos no curto prazo. Exemplo disso é a produção automobilística brasileira, já se colocando entre as seis maiores do mundo. Outros exemplos mostram ser urgente um plano estratégico de crescimento sustentável da siderurgia nacional, evitando-se os pontos de estrangulamento na cadeia produtiva. A existência de mão-de-obra qualificada em quantidade adequada é de grande importância para garantir o atendimento dos diversos empreendimentos siderúrgicos que deverão ser estabelecidos no país nos próximos 15 anos.

Formação e desenvolvimento de quadros-técnicos para o setor siderúrgico. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Jul/2008. 16p.

Joel Souza Dutra. A gestão de pessoas tem passado por grandes transformações. Observa-se abandono de um modelo focado no controle de pessoas para um modelo focado no desenvolvimento de pessoas. Esse modelo está baseado na idéia do mútuo desenvolvimento, ou seja, a expectativa da pessoa contri-



buindo de forma efetiva para o desenvolvimento da organização e a organização criando condições objetivas para o desenvolvimento das pessoas.

Tributação, financiamento e incentivos. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Ago/2008. 48p.

Sérgio de Jesus Pereira. A Nota Técnica apresenta um panorama do sistema tributário brasileiro, com ênfase em aspectos que afetam diretamente a indústria siderúrgica no país. Identifica as situações que prejudicam a competitividade das empresas do setor frente aos competidores de outros países, bem como formula recomendações com vistas a eliminar as distorções e assegurar condições de crescimento nos próximos anos.

Mercado e produtos: quantificações e projeções. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 46p.

Boaventura Mendonça d'Ávila Filho. A presente Nota Técnica abrange quantificação e projeção do mercado brasileiro de aço, assim entendidos: os produtos laminados entregues pelas usinas diretamente aos consumidores finais, ou que a estes chegam por meio de distribuidores e centros de serviço, após algum processamento adicional. São exemplos: corte de bobinas em chapas, fitas, tiras e blanks, acabamento superficial de barras, preparação de vergalhões para armação de concreto, trefilaria de arames e outros.

Gestão de coprodutos. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Jul/2008. 28p.

Luis Cláudio Pinto Oliveira. A indústria siderúrgica é uma atividade intensiva em utilização de energia, água e materiais. Adicionalmente, é bastante significativa a geração de resíduos sólidos por tonelada de aço produzido, que caso não fossem reaproveitados provavelmente inviabilizariam a produção de aço por fatores econômicos e ambientais.

Logística de transportes. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Out/2008. 33p.

Boaventura Mendonça d'Ávila Filho. Esta Nota Técnica compreende a quantificação da demanda atual e futura de transporte de produtos e matérias-primas pela siderurgia brasileira e a indicação dos aspectos relevantes da operação dos modais ferroviário, rodoviário e portuário/marítimo que poderão entrar o crescimento de produção de aço no Brasil, caso investimentos fixos e operacionais não sejam efetivados.

Gestão ambiental: marcos regulatórios e gestão de utilidades. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 64p.

Patrícia Helena Gambogi Bóson. Na Nota Técnica traz a dinâmica da política ambiental no mundo e no Brasil, com ênfase para a evolução das normas ambientais. Ainda, os aspectos específicos da gestão de utilidade; o cenário legal e institucional da gestão ambiental e de recursos hídricos que afetam o setor siderúrgico; as tendências, considerando a dinâmica da gestão ambiental; os desafios e as oportunidades com base nessas tendências.

Gestão da qualidade. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Dez/2008. 16p.

Carlos Augusto Oliveira. A partir de 1990 houve uma abertura do mercado siderúrgico, inserindo a indústria no mercado global. A indústria automobilística e a de eletrodomésticos, como os mais exigentes



clientes, passaram a cobrar maior desempenho funcional dos produtos siderúrgicos e a exigir normalizações específicas. A situação de mercado mais exigente e com novas fontes alternativas de abastecimento passa a receber forte influência das exigências dos clientes e a ameaça de produtos substitutos. Neste trabalho procura-se mapear as ações e metodologias que precisam ser introduzidas ou aperfeiçoadas para manter um bom posicionamento do aço brasileiro em termos de qualidade.

Aciaria LD. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Ago/2008. 14p.

André Luiz V. da Costa e Silva. O roteiro de produção industrial dos aços é pouco usual, dentre os metais. Envolve dois processos complementares, um de redução, tipicamente realizado em alto-forno, produzindo gusa e um de refino, envolvendo oxidação controlada, seguida de desoxidação. O refino, em geral, emprega o gusa e, em maior ou menor escala, outras cargas metálicas tais como sucata e pré-reduzidos. Após o refino, uma etapa essencial é o lingotamento. Em geral, as aciarias no mundo inteiro incluem os processos de refino e de lingotamento. Em muitas aciarias, o eventual “pré-tratamento” do gusa líquido, é incluído, também, na aciaria. O escopo desta Nota Técnica inclui todas as atividades de refino após o vazamento do gusa do alto-forno.

Aciaria elétrica: Situação atual e tendências 2025. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Nov/2008. 23p.

Lauro Chevrand. O processo produtivo LD + EOF (Energy Optimizing Furnace) responderá por 90% do total de produção de aço contra 10% de FEA (Forno Elétrico a Arco). Atualmente temos aproximadamente 80% de LD + EOF. Este fato acarreta uma situação muito interessante para o Brasil, pois permite uma continuidade tranquila da produção de aços via FEA, sem a necessidade de se importar sucata para tal. Esta assertiva se deve principalmente ao aumento da produção de aço, que cria maior industrialização do país, como a conseqüente geração de sucata. Este é um dos pontos críticos no processo de fabricação de aços via FEA no Brasil.

Tendências e inovações em aços. Nota técnica de consultor. Brasília, DF, Ago/2008. 44p.

Ivani de S. Bott. Cerca de 70% dos aços utilizados, entre os 3500 diferentes tipos, foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. O desenvolvimento da construção civil demanda melhores propriedades mecânicas, soldabilidade, redução de peso, acabamento e integração ambiental. No Brasil, apesar de ainda ser dominante a edificação com estruturas de concreto armado, nota-se um acentuado crescimento do uso das edificações de aço. Apesar do expressivo crescimento das estruturas metálicas no mercado brasileiro, sua participação é ainda pequena.

Siderurgia: sustentabilidade é tema estratégico para setor de produção de aço. Artigo publicitário. Brasília, DF, Mai/2009. 3p.

Juliana Marinho. Em meio a mais grave crise (a de 2008) que afetou a siderurgia mundial, o setor no Brasil elaborou um estudo que visa apontar diretrizes para nortear seus rumos nas próximas décadas. O horizonte é de longo prazo, 2025. A proposta envolve desde formação de recursos humanos a novas tecnologias na cadeia produtiva, uso de novas fontes de energia nos processos, como a biomassa, e até como alavancar o consumo de aço no país. O Brasil, como se sabe, tem ainda um dos mais baixos índices per capita de consumo do mundo - pouco acima de 100 quilos.



LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1.1: Usinas integradas a coque	18
Figura 1.2: Usinas semi-integradas	18
Figura 1.3: Produtores independentes de ferro-gusa	19
Figura 1.4: A mineração de ferro e a siderurgia	21
Figura 1.5: Minério de ferro - situação atual e diretrizes	24
Figura 1.6: Carvão Mineral - situação atual e diretrizes	29
Figura 1.7: Carvão Vegetal - situação atual e diretrizes	33
Figura 2.1: Pelotização e Sinterização - situação atual e diretrizes	39
Figura 2.2: Alto-Forno a coque - situação atual e diretrizes	41
Figura 2.3: Alto-Forno a Carvão Vegetal - situação atual e diretrizes	44
Figura 2.4: Maturidade tecnológica dos processos de produção de ferro primário	46
Figura 2.5: Redução direta e processos emergentes de redução - situação atual e diretrizes	48
Figura 3.1: Aciaria LD - situação atual e diretrizes	55
Figura 3.2: Aciaria elétrica - situação atual e diretrizes	58
Figura 4.1: Processos de lingotamento e laminação - situação atual e diretrizes	64
Figura 4.2: Aços Planos e longos - situação atual e diretrizes	68
Figura 5.1: Gestão ambiental - situação atual e diretrizes	72
Figura 5.2: Emissões de CO ₂ em rotas tecnológicas siderúrgicas selecionadas (kg / tonelada de aço)	74
Figura 5.3: Gestão de emissão atmosférica - situação atual e diretrizes	76
Figura 5.4: Consumo específico de energia das rotas tecnológicas siderúrgicas (GJ/tonelada)	77
Figura 5.5: Consumo de energia - situação atual e diretrizes	78
Gráfico 3.1: Participação das usinas integradas e semi-integradas na produção siderúrgica mundial, 2000-2030 (percentual)	52



LISTA DE QUADROS

Quadro 6.1: Diretrizes e recomendações para minério de ferro	84
Quadro 6.2: Diretrizes e recomendações para carvão mineral e coqueria	85
Quadro 6.3: Diretrizes e recomendações para carvão vegetal	87
Quadro 6.4: Diretrizes e recomendações para pelotização e sinterização	89
Quadro 6.5: Diretrizes e recomendações para alto-forno a coque	90
Quadro 6.6: Diretrizes e recomendações para alto-forno a carvão vegetal	92
Quadro 6.7: Diretrizes e Recomendações para redução direta e processos emergentes de redução	94
Quadro 6.8: Diretrizes e recomendações para aciaria LD	95
Quadro 6.9: Diretrizes e recomendações para aciaria elétrica	96
Quadro 6.10: Diretrizes e recomendações para produção direta de aço	97
Quadro 6.11: Diretrizes e recomendações para processos de lingotamento e laminação	97
Quadro 6.12: Diretrizes e recomendações para produtos	98
Quadro 6.13: Diretrizes e recomendações para gestão ambiental	99
Quadro 6.14: Diretrizes e recomendações para gestão de emissões atmosféricas	100
Quadro 6.15: Diretrizes e recomendações para consumo de energia	101
Quadro 6.16: Diretrizes e recomendações para gestão de resíduos, reciclagem e recursos hídricos	102



LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial	HIC	Hydrogen Induced Cracking
ABM	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração	Hi-QIP	High-Quality Iron Pebble
AFP	Aços Finos Piratini	HSLA	High Strength Low Alloy Steel
AHSS	Advanced High-Strength Steel	HSS	High Strength Steel
AISI-DS	American Iron and Steel Institute – Direct Steelmaking	HTS	High Tensile Steel
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social	HY	High Yield
BOF	Basic Oxygen Furnace	IABr	Instituto Aço Brasil
CCS	CO ₂ Capture and Storage	IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos	ISP	Inline Strip Production
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito	IRSID	Institut de Recherches de la Siderurgie Francaise
CPRM	Serviço Geológico Brasileiro	LD	Linz Donawitz
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional	MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
CSP	Compact Strip Production	MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
CVP	Coque Verde de Petróleo	MME	Ministério de Minas e Energia
DP	Dual Phase	MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
DRI	Direct Reduced Iron	NNSC	Near-Net-Shape Casting
EAF	Electric Arc Furnace	ONG	Organização Não-Governamental
EOF	Energy Optimized Furnace	PCI	Pulverized Coal Injection
EPSS	Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico, 2010-2025	PVD	Phase Vapor Deposition
Finep	Financiadora de Estudos e Projetos	RD	Redução Direta
GEE	Gases do Efeito Estufa	RHF	Rotary Hearth Furnace
GJ	Gigajoule	ROM	Run of Mine
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo	SCBF	Super Compact Blast Furnace
HBI	Hot Briquetted Iron	UHSS	Ultra- High-Strength Steel
		ULCOS	Ultra Low CO ₂ Steelmaking



cgée

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

Ministério da
Ciência e Tecnologia