

PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES DA ECOMETALURGIA - PRODUÇÃO ALIADA AO CUIDADO DO MEIO AMBIENTE¹

Edwin Auza Villegas²

Resumo

No presente momento, nosso planeta está passando por mais um período crítico de subsistência devido à crescente degradação dos nossos ecossistemas. Sem dúvida o setor industrial tem uma grande contribuição neste processo e também uma profunda responsabilidade na criação de soluções a prazo imediato. No campo industrial, nós metalurgistas precisamos visualizar os processos produtivos de uma nova forma. Uma forma que permita enxergar os resíduos de processo, vistos até agora como materiais descartáveis, como parte intrínseca do sistema, sendo seu destino, portanto, uma responsabilidade das próprias indústrias. A idéia principal é desenvolver um sistema em circuito fechado no qual, os insumos, os produtos, co-produtos, os resíduos e a energia sejam fatores que possuam um potencial permanente de reaproveitamento e recuperação. Neste contexto, todos os materiais podem ser reciclados ou reaproveitados produzindo, conseqüentemente, níveis mínimos ou nulos de descarte de materiais com potencial de impacto ambiental. No presente trabalho são aproveitados os postulados da Ecologia Industrial para mostrar como pode ser isto possível na indústria metalúrgica usando-se como exemplo o setor da produção integrada de aço.

Palavras-chave: Indústria metalúrgica; Meio ambiente; Ecologia industrial.

PRINCIPLES AND APPLICATIONS OF ECOMETALLURGY – PRODUCTION ASSOCIATED TO ENVIRONMENTAL CONCERN

Abstract

At the present time, due to the crescent degradation of its echosystems, our planet is going through a critical period of its existance. No doubt the industry has a great contribution and also a great responsibility as far as finding adequate an immediate solutions for the environmental unbalances that might arise. In today's changing world, we metallurgical engineers must look at the productive process in a new way. We must look at wastes, formerly considered as leaving the industrial system, as intrinsic parts of the process being their destination the industry's responsibility. This target may be attained through the application of Industrial Ecology principles as to develop a system in which no resources are depleted, all products can be continually reused or recicled and no harmful waste is produced or discarded. In this regard nearly all waste materials might be profitably converted into valuable products. It is shown, in the present study, how these principles can be applied in the metallurgical extractive industry to render ecological systems wich will cause minimum environmental impacts. The steelmaking industry will be studied as an example.

Key words: Metallurgical industry; Environment; Industrial ecology.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Ph.D., Professor Associado da UFMG*

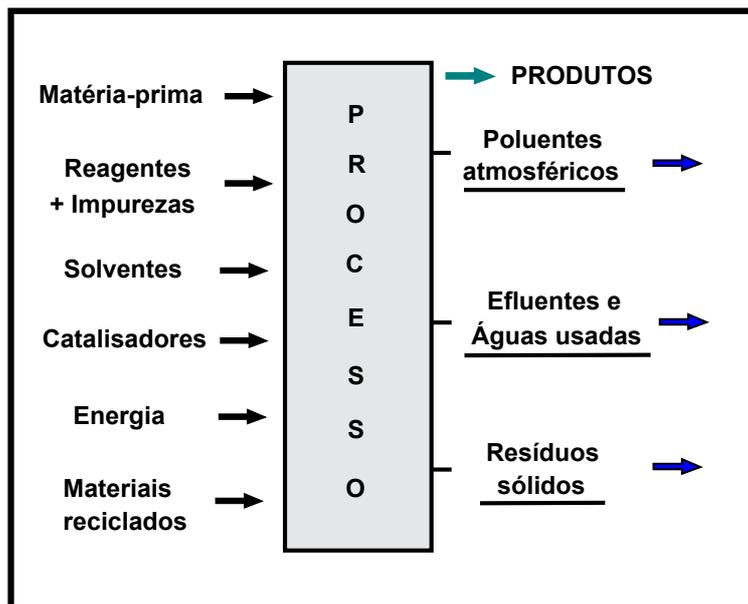
1 INTRODUÇÃO

Uma das principais metas das indústrias modernas é a preservação do meio ambiente. A civilização moderna se depara em todos os continentes do planeta com significativos crescimentos na atividade industrial. Como consequência, é de imediata urgência a criação e/ou adaptação de modelos técnicos e econômicos capazes de regular os impactos ambientais desses crescimentos de maneira a assegurar o desenvolvimento sustentável de nossa sociedade.

Sendo a indústria metalúrgica o foco de atenção no presente trabalho, é importante analisar as formas possíveis em que os processos extrativos podem se tornar ambientalmente sustentáveis através da aplicação das propostas e princípios de modelos desenvolvidos recentemente. Este é o objetivo principal deste trabalho.

1.1 A Indústria Metalúrgica e os Impactos Ambientais

Durante os processamentos de extração, transformação e acabamento metalúrgico é gerada uma grande diversidade de poluentes que possuem os mais variados efeitos de degradação ambiental e que são característicos da natureza das operações em cada etapa. De forma geral os processos extrativos são os mais contaminantes tanto devido aos volumes gerados quanto à diversidade de contaminantes. A seguinte figura, adaptada de Merian,⁽¹⁾ oferece uma visão simplificada do processo metalúrgico como gerador de contaminação ambiental.



Fonte: Figura adaptada de Merian⁽¹⁾

Figura 1 - O Processo Metalúrgico e a Contaminação Ambiental

Observa-se que em todas as indústrias metalúrgicas são gerados resíduos sólidos provenientes de operações tais como o processamento das matérias-primas, desgaste e usinagem de peças, preparação de superfícies metálicas, etc. Também são geradas quantidades consideráveis de efluentes líquidos provenientes de processos de lavagem, decapagem química ou eletrolítica, etc. e emissões atmosféricas provenientes principalmente da queima de combustíveis e processamento de matérias-primas.

As tecnologias tradicionais envolvidas no gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos, nas indústrias metalúrgicas, são de diversa natureza e dependem de uma variedade de fatores como grau de contaminação (periculosidade), teor de valores metálicos residuais com potencial de recuperação, características físicas do resíduo, capacidade de transformação química ou inertização, composição química, etc. Estas técnicas se encontram divulgadas em vários estudos na literatura nacional, Villegas e colaboradores.⁽²⁻⁴⁾

No presente estudo é realizado um ensaio da aplicação dos princípios da “Ecologia Industrial” ao análise da indústria siderúrgica, postulando-se que, a exemplo dessa, outras indústrias extrativas poderão ser analisadas de forma similar.

2 A ECOLOGIA INDUSTRIAL (EI)

Nenhum assunto ou disciplina é completamente novo. Já nos últimos 20 anos existiam idéias e discussões isoladas no mundo científico e ecológico acerca do que hoje é conhecida como a “Ecologia Industrial”. Na realidade, os seus princípios e postulados foram delineados só em 1995⁽⁵⁾ e a partir dessa data, esta área da ciência tem sido o objeto de numerosos estudos que a apontam como uma das principais ferramentas para o estabelecimento do desenvolvimento sustentável.⁽⁶⁻⁸⁾

A EI envolve um campo de rápido crescimento que propõe modelos que analisam sistematicamente as transformações de materiais e energia locais e globais em produtos ou processos enfatizando-se o papel primordial da Indústria na redução dos impactos ambientais. Usa como ferramenta principal de análise o ciclo de vida do produto ou processo seguindo a sequência de procedimentos mostrado na seguinte figura:

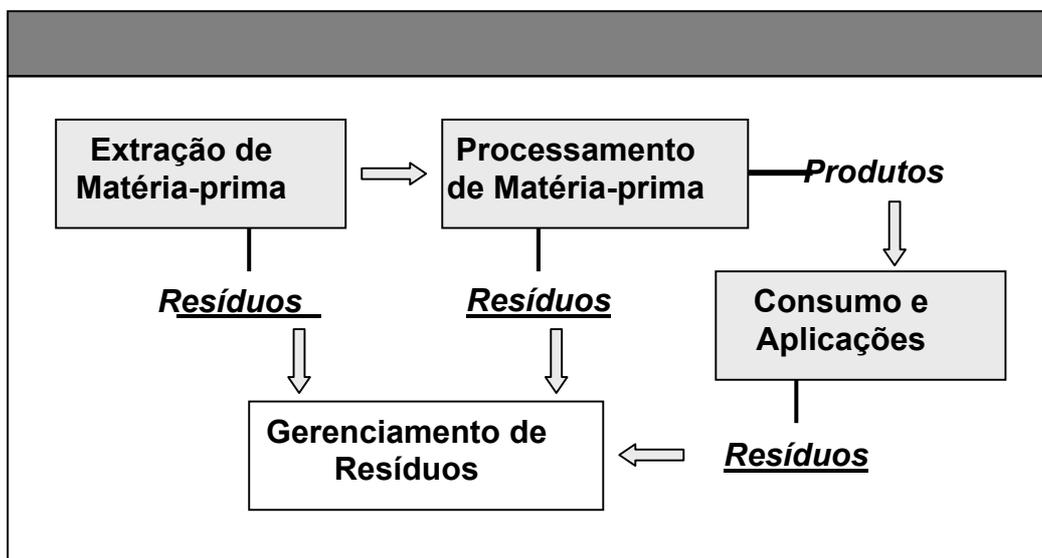


Figura 2 – Ciclo de Vida como ferramenta da Ecologia Industrial

Como pode ser observado, na Figura 2, à diferença de outras tecnologias de controle de impactos ambientais (poluição-zero, tecnologia limpa, end-of-pipe, etc.), a EI baseia-se na geração controlada de resíduos que logo serão, senão reciclados, reaproveitados como matéria-prima por outras indústrias conglomeradas ou gerenciados através de bolsas de resíduos.

Os modelos da EI consideram as entidades corporativas e industriais como participantes estratégicos e reguladores na proteção do meio ambiente principalmente onde as inovações tecnológicas se constituem em chaves para a

consolidação dos processos de desenvolvimento sustentável. Os postulados da EI indicam claramente que a performance da indústria na questão ambiental pode ser consideravelmente melhorada através da aplicação seletiva dos seus modelos.

2.1 Os Princípios da Ecologia Industrial

A Ecologia Industrial fornece modelos adequados para um entendimento científico e tecnológico necessário para operar de forma sinérgica os processos ambientais, econômicos e sociais em direção ao progresso e desenvolvimento sustentável. Os seus princípios são baseados nos seguintes postulados:

1. a base para o progresso sustentável da humanidade é a “Simbiose Industrial”,
2. a simbiose industrial compreende a criação de relações e procedimentos sinérgicos entre várias indústrias, a agricultura e as comunidades humanas,
3. estas relações e procedimentos permitem transformar ou converter rejeitos e resíduos em produtos valiosos de forma lucrativa, de maneira que os descartes de umas indústrias possam servir de matéria-base para outras,
4. estas relações tem início quando determinados setores industriais ou sociais são conscientizados de que indústrias vizinhas ou conglomeradas geram descartes que tem um potencial de matéria-prima valiosa para seus processos produtivos,
5. assim os modos de operação examinam processos e produtos incluindo infra-estruturas, transporte, construções e sistemas de comunicação tanto da perspectiva de competitividade comercial quanto das interações ambientais,
6. as atividades industriais devem ser realizadas usando cuidados e precauções principalmente com relação à origem das matérias-primas e ao destino dos produtos e subprodutos de suas atividades.

A indústria metalúrgica, devido a seu importante papel no desenvolvimento econômico de um país e aos grandes volumes de matéria processados, é um terreno extremamente fértil para a aplicação dos princípios da EI.

3 A ECOMETALURGIA

Para nos, engenheiros, o conceito de Ecologia Industrial pode ser traduzido como “o projeto, construção e uso de processos e produtos industriais com consciência e conhecimento total das implicações ambientais”. A aplicação deste conceito a processos e produtos da indústria metalúrgica permitirá nos situarmos no terreno da “EcoMetalurgia”,^(9,10) termo que apareceu recentemente em alguns países europeus. Na sua essência a EcoMetalurgia ou “Metalurgia Ecológica” rejeita o conceito de descarte e postula que a eliminação ou disposição de materiais metálicos que foram extraídos da terra a custos elevados, tais como cobre, alumínio, etc., carece de sentido econômico, tecnológico e ambiental.

Embora ainda não se encontrem muitos relatos da aplicação dos princípios da EI a sistemas de produção metalúrgica, entende-se que a EcoMetalurgia deve sustentar postulados similares no sentido de, a exemplo dos processos naturais, estabelecer relações simbióticas com outros setores industriais, a agricultura e as comunidades humanas com a finalidade de minimizar os impactos ambientais. Neste contexto, a operação metalúrgica deve ser gerenciada de maneira a reaproveitar todos e cada um dos materiais descartáveis.

O presente trabalho pretende mostrar uma forma de como os modelos da EI podem ser aplicados na indústria metalúrgica usando-se como exemplo a indústria de produção integrada de aço. Na análise deste processo serão usadas ferramentas

principais de gerenciamento de resíduos, como reciclagem e reaproveitamento, as quais formam parte dos modelos da EI.

4 PRODUÇÃO DE AÇO PELO PROCESSO INTEGRADO

Na Figura 3 é mostrado um fluxograma simplificado, típico de uma usina integrada para a produção de aço:

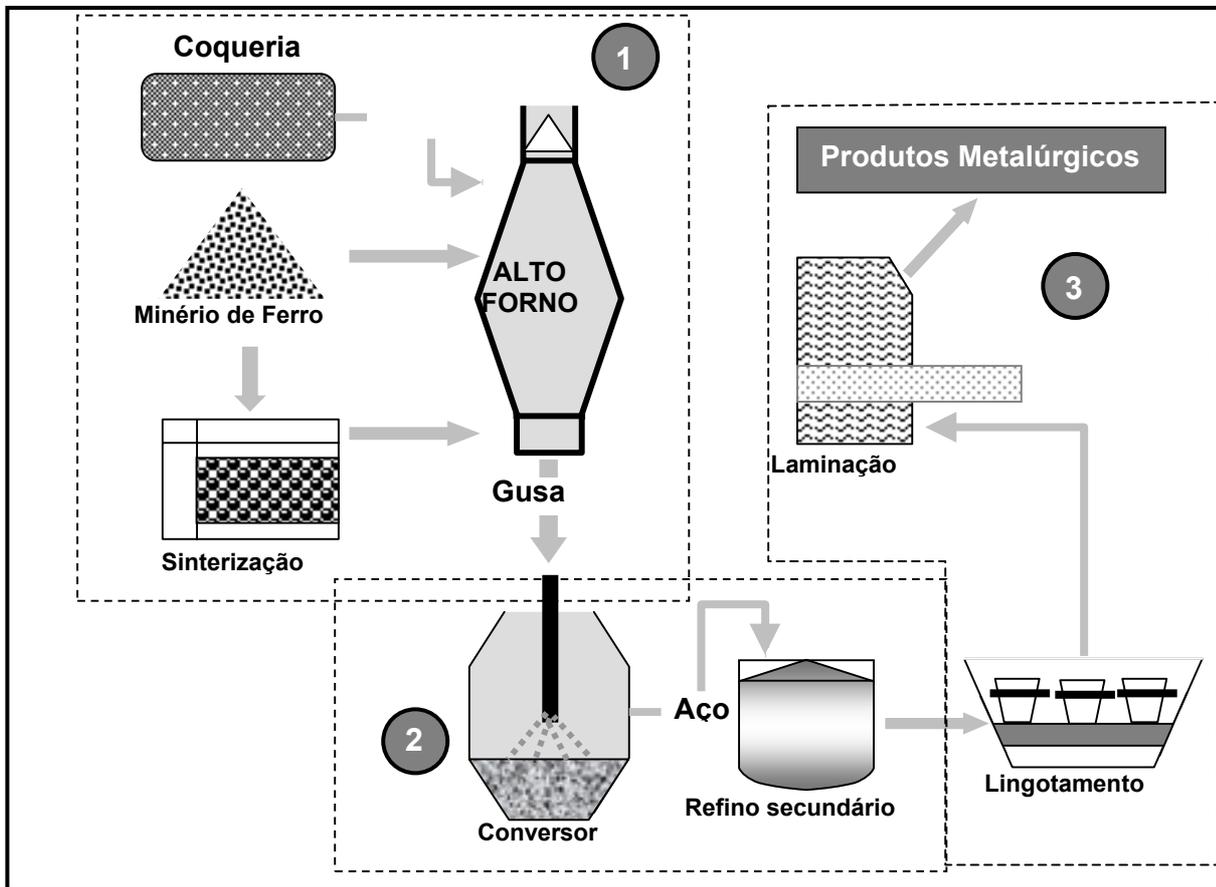


Figura 3. Fluxograma simplificado da Produção de Aço numa Usina Integrada

Existem duas rotas principais para a produção de aço. A primeira, a mais importante e mais usada, é mostrada na figura acima e envolve basicamente a produção de ferro-gusa em altos-fornos e logo o refino do gusa em conversores para a obtenção do aço.

A produção integrada de aço utiliza minério de ferro como matéria-prima base, porém, é prática geral também a adição de sucata. O minério de ferro é constituído principalmente de hematita (Fe_2O_3) e/ou magnetita (Fe_3O_4), o qual é inicialmente sinterizado ou pelletizado para logo ser carregado para o alto-forno. Neste reator, essa carga reage com o coque em presença de ar pré-aquecido e combustíveis auxiliares para ser convertido no produto do alto-forno chamado ferro-gusa. O ferro-gusa quente é logo transformado em aço líquido num conversor chamado BOF (Basic Oxygen Furnace) e logo refinado para a extração das impurezas carregadas com as matérias-primas. Para a purificação do aço, oxigênio é soprado no conversor ou injetado no metal líquido e também são adicionados materiais calcários e fundentes para formar a escória e permitir, através desta, a eliminação de

impurezas. Finalmente, o aço líquido é lingotado e laminado para produzir os produtos acabados ou semi-acabados.

4.1 Gerenciamento dos Subprodutos através da EI

Lembrando que a idéia principal da EI é que o que antes eram resíduos descartáveis, chamados daqui em diante de “subprodutos”, devem ser considerados como matéria-base para o aproveitamento tanto de materiais quanto de energia em outros setores industriais, as seguintes premissas serão adotadas na análise do processo siderúrgico:

- ◆ Usando o diagrama da figura 3 como base, o processo será dividido em 3 partes: 1, setor de redução ou produção de gusa, 2, setor de refino ou produção de aço e 3, setor de conformação mecânica ou produção de produtos acabados,
- ◆ em cada unidade destes três setores será realizada a análise da geração de subprodutos,
- ◆ as ferramentas de gerenciamento EI serão aplicadas apenas aos subprodutos sólidos, considerando-se que tanto emissões gasosas quanto efluentes líquidos podem ser transformados em esses,
- ◆ os tipos de subprodutos sólidos de processo serão as escórias, pós e poeiras, as lamas e as carepas,
- ◆ as ferramentas de gerenciamento EI usadas serão reciclagem e reaproveitamento indicando-se a ação prioritária, em cada situação,
- ◆ nos casos de reaproveitamento serão listados os possíveis destinos de cada subproduto,
- ◆ a análise separada de cada unidade envolve diagramas qualitativos de fluxo de materiais, indicando-se quando os subprodutos são reciclados ou reaproveitados e os possíveis destinos,
- ◆ a análise de ciclo de vida será aplicada localmente a cada processo seguindo a sequência: geração ⇒ processamento ⇒ gerenciamento de subprodutos,
- ◆ disposição de subprodutos não é uma opção da EI e não será considerada.

A análise a ser realizada utilizará como base dados coletados em estudos realizados por Villegas e Benquerer^(11,12) e Villegas e Santos.^(13,14)

4.1.1 Geração de subprodutos no Setor 1

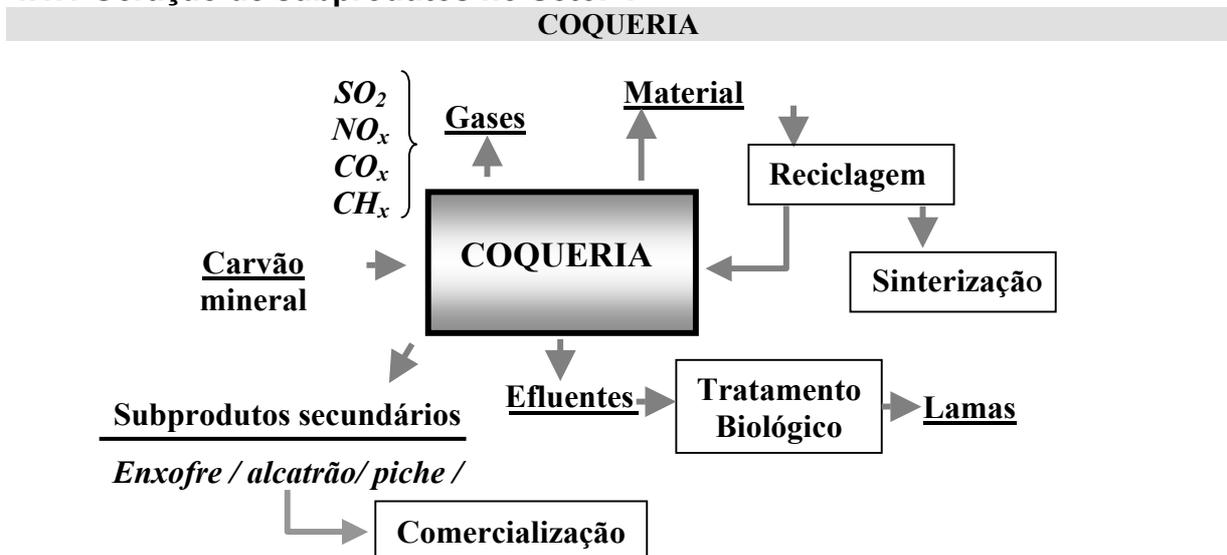


Figura 4. Gerenciamento de Subprodutos na Coqueria.

Quadro 1. Reaproveitamento de Subprodutos da Coqueria

<i>Subproduto</i>	<i>Origem</i>	<i>Destino</i>
Material particulado	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Preparo do carvão ◆ Desenfornamento do coque ◆ Apagamento do coque ◆ Britagem e peneiramento 	Indústria petroquímica
Lamas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Tratamento biológico dos efluentes 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Indústria cerâmica ◆ Indústria de construção civil

Fonte: Referências 11 a 14.

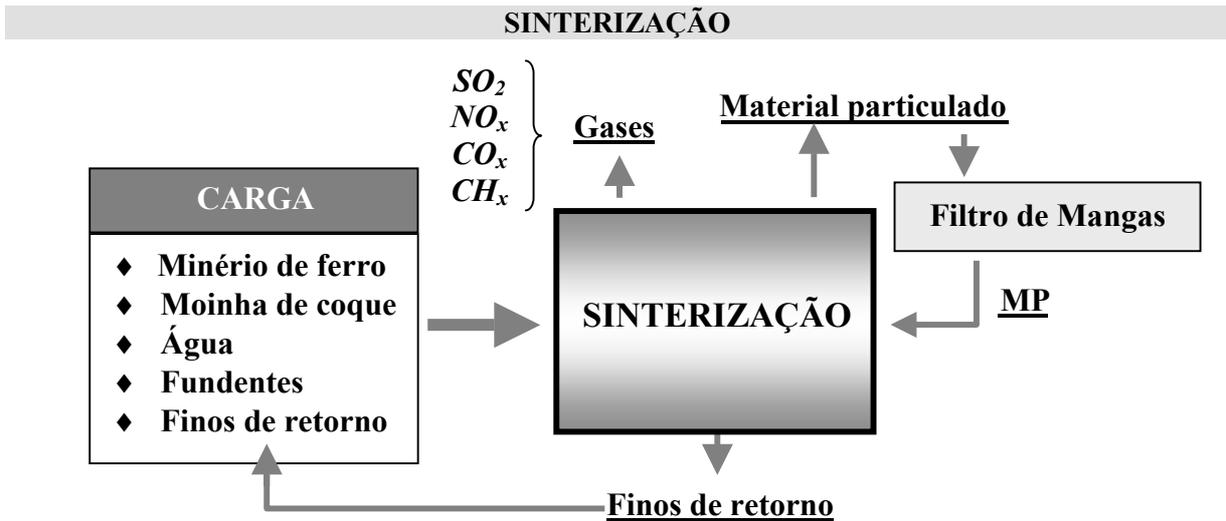


Figura 5. Gerenciamento de Subprodutos na Unidade de Sinterização

Quadro 2. Reciclagem de Subprodutos na Sinterização

<i>Subproduto</i>	<i>Origem</i>
Material particulado	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Gases de sinterização ◆ Britagem e peneiramento a quente ◆ Desempoeiramento da área
Finos de retorno	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Carregamento e peneiramento de matérias-primas ◆ Correias transportadoras

Fonte: Referências 11 a 14.

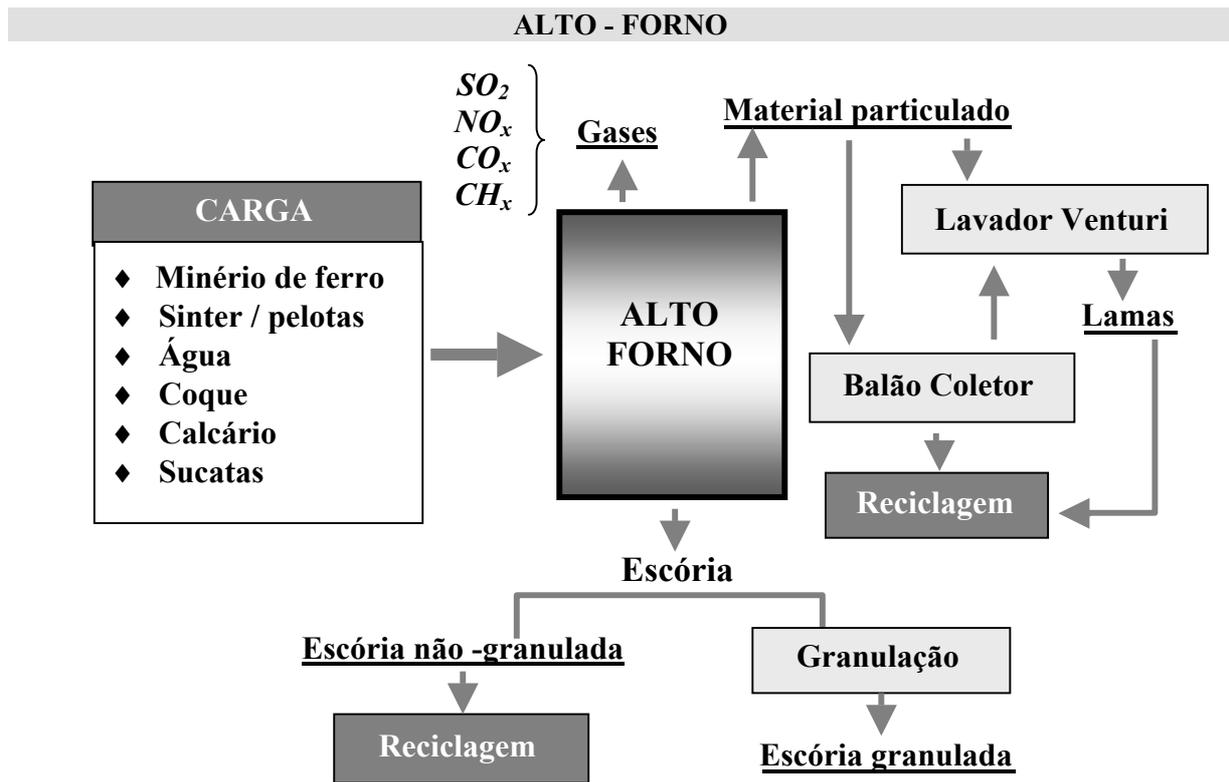


Figura 6. Gerenciamento de Subprodutos no Alto-forno

Quadro 3. Reaproveitamento de Subprodutos do Alto-forno

<i>Subproduto</i>	<i>Origem</i>	<i>Destino</i>
Escória granulada	Processamento no AF	Indústria de cimento
Escória não-granulada	Processamentos no AF	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Lastro rodoviário ♦ Pavimentação de vias ♦ Fabricação de clinker ♦ Fabricação de tijolos ♦ Condicionador de solos ♦ Mistura de concreto
Lamas	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Limpeza de gases de AF ♦ Desempoeiramento 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Indústria cerâmica ♦ Indústria de cimento ♦ Mini-pelotização

Fonte: Referências 11 a 14.

4.1.2 Geração de subprodutos no Setor 2

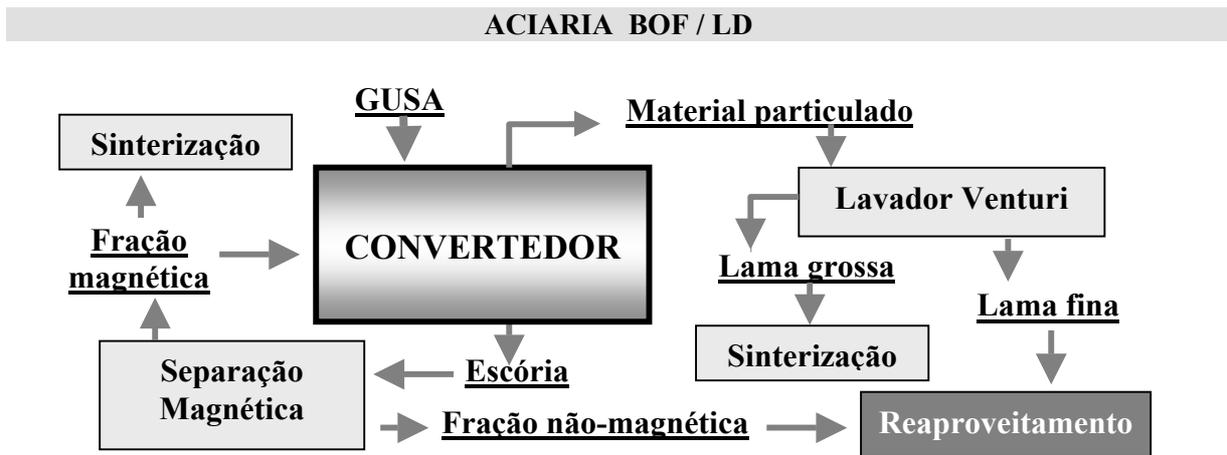


Figura 7. Gerenciamento de Subprodutos na Aciaria

Quadro 4. Reaproveitamento de Subprodutos na Aciaria

<i>Subproduto</i>	<i>Origem</i>	<i>Destino</i>
Escória (Fração não-magnética)	Processamento no conversor	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Agricultura (corretivo do pH do solo) ◆ Fabricação de cimento ◆ Lastro ferroviário e pavimentação ◆ Agregado do concreto
Lama fina	Limpeza de gases do conversor	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Indústria cerâmica ◆ Mini-pelotização

Fonte: Referências 11 a 14.

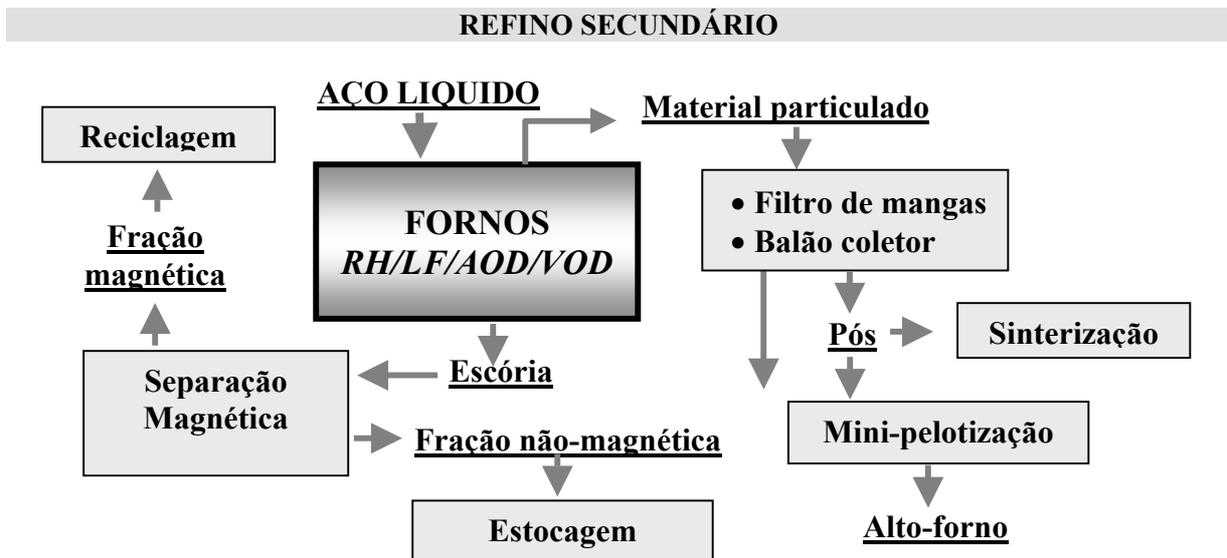


Figura 8. Gerenciamento de Subprodutos no Refino secundário

4.1.3 Geração de subprodutos no Setor 3



Figura 9. Gerenciamento de Subprodutos no Lingotamento contínuo e Laminação

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da aplicação de ferramentas da EI a um processo de produção metalúrgica, proposta neste trabalho, nos permite realizar algumas considerações finais que podem ser úteis para futuras aplicações na prática industrial.

Embora o universo de aplicação considerado dentro do processo siderúrgico tenha sido restringido a resíduos produzidos em grandes volumes, observa-se que é perfeitamente possível o gerenciamento desses usando-se as ferramentas de reciclagem e reaproveitamento. Neste sentido, ainda dentro de determinadas limitações, a meta de descarte-zero é possível de ser atingida.

Observa-se que subprodutos produzidos em pequenas quantidades são ainda de gerenciamento indefinido. A estocagem desses materiais é uma ação temporária que deve ser direcionada para uma solução conveniente para cada indústria.

Embora a análise anterior tenha sido focalizada no ciclo de vida local de cada processo, o campo de análise pode ser estendido a universos maiores que considerem a sequência mostrada na figura 2. Neste caso as análises serão mais complexas e deverão exigir o uso de outras ferramentas delineadas nos modelos da Ecologia Industrial.

Visto que neste trabalho só foram considerados subprodutos sólidos, o gerenciamento de efluentes e emissões deve seguir procedimentos similares levando-se em conta que possivelmente devam ser usadas tecnologias de tratamento para a segregação dos poluentes na forma de lamas. A exemplo do analisado acima, o destino dessas lamas dependerá das suas características, principalmente composição química, granulometria, volumes gerados e potencial de reaproveitamento.

Como pode ser observado, reciclagem e reaproveitamento são duas excelentes ferramentas de gerenciamento de subprodutos que trabalham ora de forma independente ora de forma complementar. É a opinião do autor que seu uso potencial pode ser estendido a uma grande parte das indústrias metalúrgicas produtivas.

No caso particular da indústria extrativa não-ferrosa, além de ferramentas tais como reciclagem e reaproveitamento, outras ferramentas serão necessárias principalmente o processamento dos subprodutos para a eliminação de contaminantes do meio ambiente e, em outras situações, para a recuperação de valores metálicos contidos em concentrações consideráveis em muitos resíduos industriais.

REFERÊNCIAS

- 1 MERIAN, E. Metals and Their Compounds in the Environment, VCH Edit. , New York, 1991.
- 2 VILLEGAS, E.A., RIBEIRO, E.D., CLARETO, D. Gerenciamento de resíduos sólidos na indústria siderúrgica para controle ambiental, In: 50º CONGRESSO ANUAL DA ABM, 1995, Vol 3, p. 319-337.
- 3 VILLEGAS, E.A., DE SOUZA, F. A., DOS SANTOS, L.M. Reciclagem e Alternativas de Tratamento de Resíduos na Indústria de Tratamento e Proteção de Superfícies, In: SEMINÁRIO DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS, ABM, Vitória, 1997, p. 97 – 112.
- 4 VILLEGAS, E.A., DOS SANTOS, L.M. Estruturação de Indicadores e índices ambientais para processos metalúrgicos, In: 56º CONGRESSO ANUAL DA ABM, Belo Horizonte, 2001, p. 1463 - 1472
- 5 WERNICK, I.K. & AUSUBEL, J.H. Industrial Ecology, Some Directions for Research, Office of Energy and Environmental Systems, Lawrence Livermore National Laboratory , USA. Disponível em: http://phe.rockefeller.edu/ie_agenda/. Acesso em: 14 nov. 2006.
- 6 KEITSCH, M.M. Sustainable Development - A Framework for Industrial Ecology, Centre for Environment and Development, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim. Disponível em: <http://www.p2pays.org/ref/16/15726.pdf> . Acesso em: 05 dez. 2006
- 7 SAGE, A.P. Systems Engineering and Management for Industrial Ecology and Sustainable Development, School of Information Technology and Engineering, George Mason University. Disponível em: www.ieeexplore.ieee.org. Acesso em: 27 out. 2006.
- 8 THEMELIS, N.J. Sustainable Development and Industrial Ecology, The School of Mines, Columbia University. Disponível em; <http://www.columbia.edu/cu/21stC>. Acesso em 05 dez. 2006.
- 9 University of Romania, Faculty of Materials Science & Engineering. Disponível em: www.sim.pub.ro. Acesso em 10 nov. 2006.
- 10 Politechnica University of Bucharest, Department of Materials Processing & Ecometallurgy. Disponível em: www.material.ntnu.no. Acesso em: 27 out. 2006.
- 11 VILLEGAS, E.A. & BENQUERER, R.A. Aspectos importantes na reciclagem e reaproveitamento de resíduos siderúrgicos. In: XI SIMPÓSIO MINERO-METALÚRGICO DA UFMG, Belo Horizonte, MG.,2000, CD-ROM.
- 12 BENQUERER, R.A. Reciclagem e Reaproveitamento de Resíduos na Indústria Siderúrgica, Dissertação de mestrado desenvolvida no DEMET, UFMG, 2000.

- 13 VILLEGAS, E.A. & SANTOS, L.M.M. Gerenciamento Ambiental na Indústria Siderúrgica Integrada a Coque. In: VLL SIMPÓSIO MÍNERO-METALÚRGICO DA UFMG, Belo Horizonte, MG., 1996, Anais (12 pp), CD-ROM.
- 14 SANTOS, L.M.M. Desenvolvimento de uma Metodologia e um Software para avaliação ambiental de Processos Metalúrgicos, Tese de doutorado desenvolvida no DEMET, UFMG, 2001.