

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Patrícia Maria dos Santos

**Avaliação de alternativas para a prevenção, reciclagem e co-processamento de  
resíduos em uma empresa do setor siderúrgico**

São Paulo

2006

Patrícia Maria dos Santos

**Avaliação de alternativas para a prevenção, reciclagem e co-processamento de  
resíduos em uma empresa do setor siderúrgico**

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas  
Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, para a  
obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ângelo José Consoni

São Paulo  
2006

## DEDICATÓRIA

À minha família e a todos que, mesmo distantes, diretamente ou indiretamente contribuíram para a minha formação e incentivo à elaboração e conclusão deste trabalho de pesquisa.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela saúde e disposição para conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, José Domingos e Célia, aos meus irmãos João Maurício e Daniela, pelos valores ensinados e pelo apoio eterno.

Aos professores da banca examinadora Dr. Jorge Alberto Soares Tenório (USP), Dra. Mônica Speck Cassola (IPT) e Prof. Dra. Clarita Schvartz Peres pelos comentários, análises de aconselhamento.

Uma gratidão especial ao meu orientador Prof. Dr. Ângelo José Consoni do IPT, pela sua compreensão, sabedoria e orientação fornecidas durante a elaboração desta dissertação.

Às empresas siderúrgicas e aos especialistas pelas informações disponibilizadas, possibilitando as diversas análises e conclusões aqui listadas.

À Prof. Dra. Vilma Alves Campanha que, durante a aplicação de suas aulas, muito nos ensinou em disciplina e conhecimento.

A todos os mestres Doutores do Cenatec, pelas orientações e colaboração.

Aos colegas e funcionários do CENATEC pela compreensão e pelos momentos convvidos, aprendizados e trocas de experiências.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo avaliar e sugerir alternativas e oportunidades para a prevenção, reciclagem e co-processamento de resíduos de uma empresa siderúrgica, que contribuam nos aspectos econômico e ambiental.

O campo de estudo é representado por três plantas de uma mesma empresa siderúrgica, localizadas no Estado de São Paulo.

Inicia-se o estudo, caracterizando e selecionando-se os resíduos mais representativos do cenário em questão, por critérios de volume, receitas versus custos para destinação, e periculosidade. São eles: carepa de ferro (gerada do processo de trefila de arame e laminação de barras de aço), borra de fosfato e cloreto ferroso (ambos gerados da decapagem química do arame de ferro) e o lodo da estação de tratamento de efluentes (gerado do tratamento dos efluentes industriais de unidades que possuem decapagem química e/ou galvanização).

Em seguida, avalia-se a forma de gestão atual dos quatro resíduos estudados, descrevendo-se os padrões existentes, metas em curto, médio e longo prazo, controles utilizados, envolvimento das partes interessadas, resultados obtidos, dentre outros aspectos.

A revisão bibliográfica serve ao estabelecimento de um processo de benchmarking para o cenário identificado.

Tomando como base as características do campo de estudo e dos resultados obtidos, são avaliadas as alternativas identificadas, confrontando o cenário atual de gerenciamento nas plantas avaliadas ante às melhores práticas nacionais, internacionais, cenários futuros, priorização, custos e benefícios ambientais.

Como resultados, são apontadas as alternativas mais promissoras para a prevenção, reciclagem e co-processamento dos quatro resíduos siderúrgicos analisados, contribuindo para o controle dos impactos ambientais negativos associados a aspectos de seu processo produtivo, tais como, por exemplo, a continuidade do processo de co-processamento da carepa de ferro em cimenteiras e do reaproveitamento do cloreto ferroso em empresas especializadas.

**Palavras-Chave:** Resíduos, Siderurgia, Gerenciamento, Prevenção, Reaproveitamento, Reciclagem, Co-processamento, Disposição Final.

## ABSTRACT

This work aims to evaluate and to suggest alternatives and opportunities for prevention, recycling and co-processing of wastes in a steel making industry, contributing with its economic and environmental aspects.

The case study is about three different plants belonging to the same iron and steel industry located in the Sao Paulo State.

The study is initiated with definitions of the most representative wastes of this kind of industry, by criteria of volume, incomes versus costs in destination, and its hazards. It was chosen four different wastes to the study: scale of iron (from the drawing and lamination process), phosphate waste and ferrous chloride (from the chemical surface treatment) and the sludge from the industrial wastewater treatment.

After that, it is evaluated procedures for management of selected wastes, describing controls, results, standards, stake holders, goals in the short, medium and long term, among others.

A bibliographical review was performed as part of a process of benchmarking for the identified scenario.

Based on the characteristics studied and in the findings of this research, identified alternatives of management were evaluated, by comparisons nowadays scenario at the three plants in study with national and international best practices, future scenarios, priorities, costs and environmental benefits.

As results, it is presented more promising alternatives to prevention, recycling and co-processing of the studied wastes, contributing to the control of environmental impacts associated to aspects of the pilot iron and steel industry studied, such as a recommendation to continue the co-processing for fine of iron and the re-use for the ferrous chloride.

**Keywords:** Iron and steel industry, Waste management, Waste prevention, Re-use, Recycling, Co-processing, Waste disposal.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	<b>p.</b>
<b>Figura 1:</b> Esquema de produção mais limpa .....	16
<b>Figura 2:</b> Ciclo de reciclagem do aço .....	18
<b>Figura 3:</b> Fluxo de produção do aço .....	23
<b>Figura 4:</b> Fluxograma geral de geração de resíduos na indústria do aço .....	26
<b>Figura 5:</b> Abordagem atual na gestão de resíduos .....	51
<b>Figura 6:</b> Visão da gestão integrada de resíduos .....	52
<b>Figura 7:</b> Demandas do mercado ambiental .....	53
<b>Figura 8:</b> Gestão de resíduos siderúrgicos .....	60
<b>Figura 9:</b> Beneficiamento da carepa de ferro .....	71
<b>Figura 10:</b> Fluxograma de processo de trefila de arames .....	78
<b>Figura 11:</b> Fluxograma de processo de galvanização de arames .....	78
<b>Figura 12:</b> Fluxograma de processo de laminação de barras de aço .....	79
<b>Figura 13:</b> Fluxograma de processo de laminação de arame para solda .....	79
<b>Figura 14:</b> Carepa de ferro e seus processos geradores .....	80
<b>Figura 15:</b> Cloreto ferroso e borra de fosfato com seu processo gerador .....	81
<b>Figura 16:</b> Lodo e seus processos geradores .....	81

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

	<b>p.</b>
<b>Fotografia 1:</b> Exemplos de produtos em aço .....	24
<b>Fotografia 2:</b> Despoeirador de usina siderúrgica .....	59
<b>Fotografia 3:</b> Exemplos de resíduos siderúrgicos processados .....	61
<b>Fotografia 4:</b> Exemplos de aplicação de resíduos siderúrgicos .....	61



## LISTA DE TABELAS

	<b>p.</b>
Tabela 1: Produção siderúrgica brasileira .....	19
Tabela 2: Tipos de produtos de aços planos no Brasil .....	21
Tabela 3: Tipos de produtos de aços trefilados no Brasil .....	21
Tabela 4: Tipos de produtos de aços longos no Brasil .....	22
Tabela 5: Principais geradores de sucata no Brasil .....	41
Tabela 6: Taxa de reciclagem de embalagens de aço.....	56
Tabela 7: Projetos típicos para controle da poluição atmosférica .....	58
Tabela 8: Projetos típicos para controle da poluição hídrica .....	59
Tabela 9: Características químicas do lodo de fosfatização da Mahle Metal Leve S.A., em maio de 2002 .....	66
Tabela 10: Geração dos resíduos siderúrgicos estudados .....	76
Tabela 11: Principais características dos resíduos siderúrgicos estudados .....	82
Tabela 12: Custo com destinação de resíduos siderúrgicos estudados .....	83
Tabela 13: Recomendações para os resíduos da pesquisa .....	97

## LISTA DE SIGLAS

ABM .....	Associação Brasileira de Metais e Metalurgia
ABNT .....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABETRE .....	Associação Brasileira das Empresas de Tratamento de Resíduos
ANTT .....	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ANVISA .....	Agência Nacional da Vigilância Sanitária
APEAL .....	Association of European Producers of Steel for Packaging
ASTM .....	American Society of Testing and Materials
CADRI.....	Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais
CETESB .....	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CGN .....	Comitê Gestor Nacional
CNTL .....	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA .....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSIPA .....	Companhia Siderúrgica Paulista
CPRH.....	Companhia Pernambucana de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
CREUPI.....	Centro Regional Universitário do Espírito Santo do Pinhal
CSN .....	Companhia Siderúrgica Nacional
CST .....	Companhia Siderúrgica de Tubarão
CVS .....	Centro de Vigilância Sanitária
DRI .....	Dynamic Range Increase
DTPA.....	Dietilenotriamina penta-acético
ETE .....	Estação de Tratamento de Efluentes
FEA.....	Faculdade de Engenharia de Alimentos
FEMAQ.....	Fundição Engenharia e Máquinas Ltda

GESP ..... Governo do Estado de São Paulo

IBAMA ..... Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBS ..... Instituto Brasileiro de Siderurgia

INESFA ..... Instituto Nacional das Empresas de Preparação de Sucata Não Ferrosa e de Ferro e Aço

INMETRO..... Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

LD ..... Linz-Donawitz

LVA ..... Latossolo Vermelho-Amarelo

LV ..... Latossolo Vermelho

MINTER ..... Ministério do Interior

NBR ..... Norma Brasileira

PET..... Politereftalato de Etileno

PGRS ..... Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PRNT ..... Poder Relativo de Neutralização Total

SABESP ..... Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEMA ..... Secretaria do Meio Ambiente

SES ..... Secretaria de Estado de Saúde

SNA ..... Secretaria Nacional de Agricultura

UNESP..... Universidade Estadual de São Paulo

WMT..... Waste Minimization Tool

## SUMÁRIO

	p.
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 SUSTENTABILIDADE E ECOEFICIÊNCIA.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 A PRODUÇÃO DO AÇO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO AÇO .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 GESTÃO DE RESÍDUOS.....</b>	<b>29</b>
<b>1.6 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS .....</b>	<b>30</b>
<b>1.7 PGRS (PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS).....</b>	<b>32</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>36</b>
<b>3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS .....</b>	<b>37</b>
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 DIRETRIZES AMBIENTAIS E LEGISLAÇÃO VIGENTE.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 MINIMIZAÇÃO DE RESÍDUOS E O PGRS.....</b>	<b>47</b>
<b>4.3 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS APLICADAS AOS RESÍDUOS DA SIDERURGIA.....</b>	<b>55</b>
4.3.1 Aplicações na agricultura.....	62
4.3.2 Produção de peças cerâmicas .....	67
4.3.3 Co-processamento em cimenteiras .....	67
4.3.4 Resíduo oriundo do forno elétrico.....	68
4.3.5 Lama de aciaria.....	69
4.3.6 Escória .....	69
4.3.7 Pelotas auto-redutoras.....	70
4.3.8 Carepa de ferro .....	71

4.3.9 Borra de fosfato .....	71
4.3.10 Lodo galvânico .....	73
4.3.11 Remoção de metais pesados por eletroflotação .....	75
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>76</b>
<b>5.1 DETALHAMENTO DOS RESÍDUOS SELECIONADOS.....</b>	<b>80</b>
5.1.1 Carepa de ferro .....	82
5.1.2 Borra de fosfato .....	84
5.1.3 Cloreto ferroso.....	84
5.1.4 Lodo da ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	84
<b>5.2 OPORTUNIDADES PARA MELHORIA DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SELECIONADOS.....</b>	<b>85</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXO 1 - PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES E NORMAS APLICÁVEIS A RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>104</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Com o aparecimento das indústrias de exploração e transformação dos recursos naturais, desde sua forma mais simples e artesanal, até a sua forma mais desenvolvida e atual, a geração de resíduos tem sido parte inerente ao complexo mundo dos processos industriais.

Os resíduos, de uma forma ou de outra, têm sido agentes impactantes do meio ambiente. A postura das sociedades, ao longo dos tempos, em relação aos contaminantes ambientais foi, inicialmente, de não tomar nenhuma ação, uma vez que ainda não havia percepção clara dos danos ambientais, reversíveis ou irreversíveis, e suas conseqüências para a biosfera. À medida que os impactos negativos se tornaram mais significativos, adotou-se a estratégia de diluí-los. Ao se constatar que a capacidade de o meio ambiente depurar as cargas tóxicas estava se exaurindo, concluiu-se que o caminho a ser seguido seria o tratamento das emissões e dos resíduos gerados.

Segundo Araújo (1997), na verdade os resíduos significam perdas em material, energia e custos associados aos recursos humanos; da mesma forma, os recursos naturais matéria-prima e energia são limitados.

Conceitos estabelecidos de que a capacidade de produção estaria associada unicamente à tecnologia e à produtividade dos processos e aos recursos humanos começam a ser revistos. Hoje, já se relaciona a capacidade de produção à existência e disponibilidade de matérias-primas e insumos.

### **1.1 Sustentabilidade e Ecoeficiência**

De acordo com Derisio (2000), mais recentemente, surgiu o conceito de sustentabilidade que, nas suas dimensões econômica, social e ambiental, busca a perpetuação do Planeta e da vida nele existente. Para isso, várias estratégias e conceitos foram concebidos e postos em prática entre eles o de ecoeficiência. Ou seja, nas dimensões ambiental e econômica e rumo à sustentabilidade, à

ecoeficiência desempenha papel e contribuição importantes, visto que a não-geração de resíduos significa um aproveitamento racional, econômico e cada vez mais sustentável dos recursos naturais e, em conseqüência, um melhor caminho para o Planeta.

Surge, então, a produção mais limpa que significa a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, por meio da não-geração, reuso ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Bonezzi (2005) indica que esta abordagem induz inovação nas empresas, dando um passo em direção ao desenvolvimento econômico sustentado e competitivo, não apenas para elas, mas para toda a região que abrangem.

Como base documental e gerencial, o programa de gerenciamento de resíduos sólidos aponta e descreve as ações relativas ao seu manejo, contemplando os aspectos referentes à minimização na geração, segregação, acondicionamento, identificação, coleta e transporte interno, armazenamento temporário, tratamento interno, armazenamento externo, coleta e transporte externo, tratamento externo e disposição final.

## **1.2 Produção Mais Limpa**

A prioridade da Produção mais Limpa está na minimização dos resíduos e emissões, ou seja, em evitar a geração de resíduos e emissões (nível 1). Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Na impossibilidade, desta medida, a reciclagem fora da empresa pode ser utilizada (nível 3). A apresentação dos níveis 1, 2 e 3 consta da Figura 1.

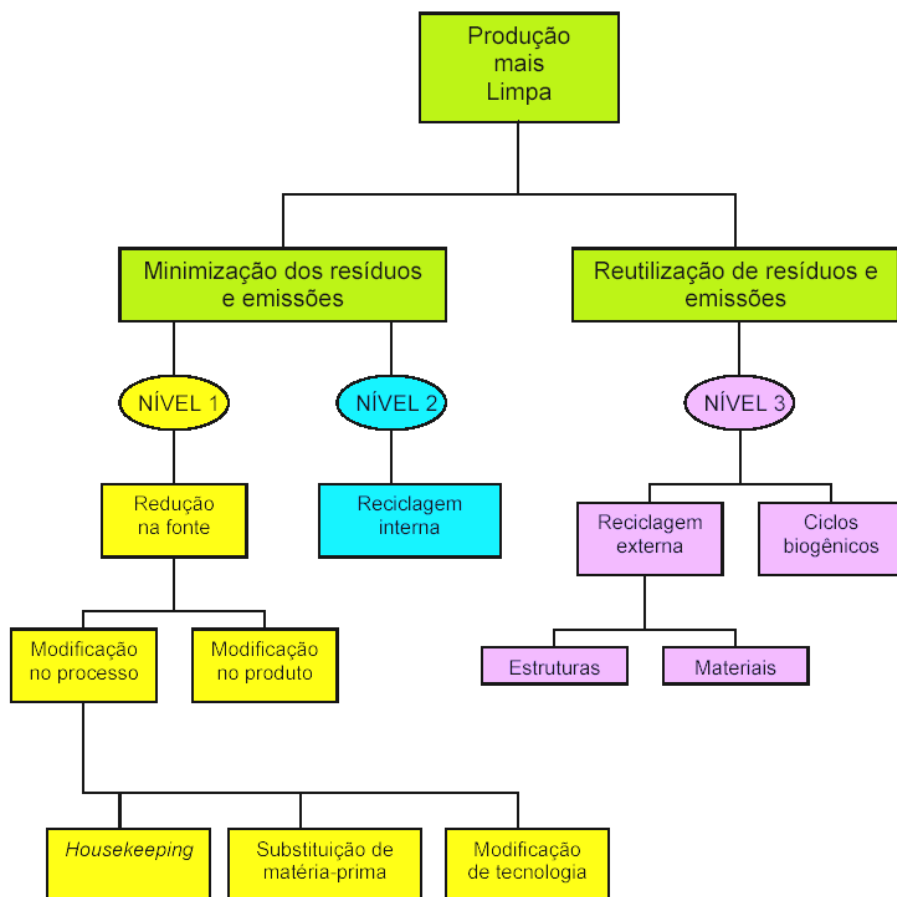
A prática da Produção mais Limpa leva ao desenvolvimento e implantação de Tecnologias Limpas nos processos produtivos.

A mudança nos paradigmas ambientais induz as empresas a voltarem-se para a origem da geração de seus resíduos sólidos, emissões atmosféricas e seus

efluentes líquidos, buscando soluções nos seus próprios processos produtivos, minimizando, assim, o emprego de tratamentos convencionais de fim-de-tubo, muitas vezes onerosos e de resultados não-definitivos para os resíduos.

Devido a uma intensa avaliação do processo de produção, a minimização de resíduos e emissões, geralmente, induz a um processo de inovação dentro da empresa.

A aplicação da metodologia de implantação de técnicas de Produção mais Limpa a processos produtivos permitirá a obtenção de soluções que contribuam mais efetivamente para a solução definitiva dos problemas ambientais, já que a prioridade desta metodologia é a identificação de opções de não-geração dos resíduos nos processos produtivos.



**Figura 1:** Esquema de produção mais limpa.

Fonte: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2006.



Reduzir a poluição pelo uso racional de matéria-prima, água e energia significa uma opção ambiental e econômica definitiva. Diminuir os desperdícios implica em maior eficiência no processo industrial e menores investimentos para soluções de problemas ambientais. A transformação de matérias-primas, água, energia em produtos, e não em resíduos, torna a empresa mais competitiva.

O tema Produção mais Limpa não é apenas um tema ambiental e econômico. A geração de resíduos em um processo produtivo, muitas vezes, está diretamente relacionada com problemas de saúde ocupacional e de segurança dos trabalhadores. Reduzí-la minimiza estes riscos, na medida em que são identificadas matérias-primas auxiliares menos tóxicas, contribuindo para a melhor qualidade do ambiente de trabalho.

### **1.3 A Produção do Aço**

Há cerca de 4.500 anos, o ferro metálico, usado pelo homem, era encontrado *in natura* em meteoritos recolhidos pelas tribos nômades nos desertos da Ásia Menor. Também existem indícios da ocorrência e do emprego desse material em regiões tão diversas como a Groelândia. Por sua beleza, maleabilidade e difícil obtenção era considerado um metal precioso que se destinava, principalmente, ao adorno.

Aos poucos, o ferro passou a ser usado com mais freqüência, a partir do momento em que se descobriu como extraí-lo de seu minério. A exploração regular de jazidas começou em torno de 1.500 a.C., provavelmente no Oriente Médio, de onde o metal teria sido importado por assírios e fenícios. Do primeiro milênio da era cristã em diante, o ferro difundiu-se por toda bacia do Mediterrâneo.

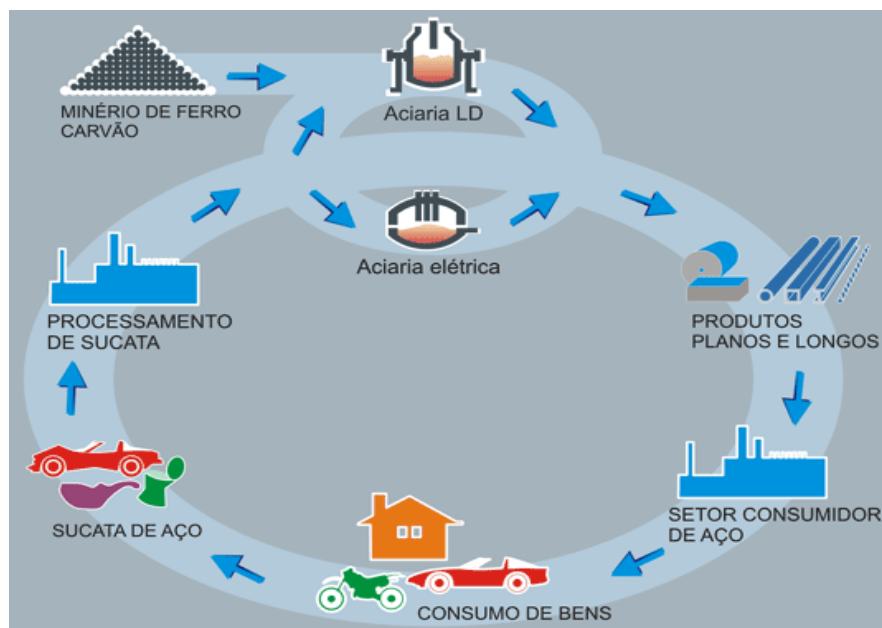
Quando o homem conseguiu a quantidade necessária de calor para fundir o minério de ferro, encerrou-se a Idade do Bronze e deu início à Idade do Ferro.

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como lhes

adicionar propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão etc. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, o aço passou a representar cerca de 90 % de todos os metais consumidos pela civilização industrial.

Hoje o aço é 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 com a mesma qualidade. A Figura 2 mostra o ciclo de reciclagem do aço.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Siderurgia (2006), o setor se impôs o desafio de ir além do atendimento às exigências da legislação de proteção ambiental, desenvolvendo tecnologias limpas. Para isso, estabeleceu parcerias com universidades, instituições de pesquisa e outros segmentos industriais, promovendo estudos e projetos que permitem racionalizar o consumo de matérias-primas e insumos, aperfeiçoar a eficiência energética e maximizar o aproveitamento dos gases, água e co-produtos dos processos envolvidos na produção do aço.



**Figura 2:** Ciclo de reciclagem do aço.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

Programas de treinamento e educação ambiental para os funcionários e a comunidade são desenvolvidos como forma de reduzir os riscos de acidentes e impactos ambientais negativos, bem como para melhor integrar e dar transparência

às atividades das empresas junto à população. De 1994 a 2004, os investimentos do setor siderúrgico em meio ambiente somaram US\$ 1,06 bilhão. A previsão de investimentos ambientais, entre 2005 e 2010, é de US\$ 184 milhões (INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, 2006).

A produção de aço bruto, em maio deste ano, foi de 2,5 milhões de toneladas (INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA, 2006). Esse resultado é 9 % inferior ao do mesmo mês do ano anterior, mas 3,3 % superior ao do mês de abril. A produção acumulada no período janeiro/maio foi de 12,1 milhões de toneladas, o que, abstraindo a parada de um grande alto-forno da Companhia Siderurgia Nacional, mostra resultados equivalentes ao mesmo período de 2005. A Tabela 1 apresenta valores de produção, por linha de produtos, para períodos entre 2005 e maio de 2006.

**Tabela 1:** Produção siderúrgica brasileira - 10<sup>3</sup> toneladas.

Produtos	Jan./Maio			Mar. 2006	Abr. 2006	Maio			Últimos 12 meses
	2006 (*)	2005	Variação (%)			2006 (*)	2005	Variação (%)	
Aço Bruto	12.098,6	13.437,3	(10,0)	2.4787,7	2.416,3	2.496,1	2.741,9	(9,0)	30.270,9
Laminados	9.234,4	9.373,9	(1,5)	1.856,1	1.867,5	1.933,4	1.741,1	11,0	22.467,0
Planos	5.514,9	5.881,4	(6,2)	1.074,5	1.133,2	1.159,5	1.109,8	4,5	13.820,4
Longos	3.719,5	3.492,5	6,5	781,6	734,3	773,9	631,3	22,6	8.646,6
Semi-acabados para vendas	2.557,6	2.943,0	(13,1)	547,3	511,0	520,5	713,9	(27,1)	6.243,6
Placas	1.646,2	1.767,2	(6,8)	382,8	296,4	315,9	448,7	(29,6)	4.065,4
Lingotes, blocos e tarugos	911,4	1.175,8	(22,5)	164,5	214,6	204,6	265,2	(22,9)	2.178,2
Ferro-Gusa	12.373,4	14.249,1	(13,2)	2.519,6	2.486,9	2.543,6	2.910,8	(12,6)	32.008,6
Usinas Integradas	8.789,6	10.102,0	(13,0)	1.784,2	1.748,7	1.780,9	2.121,5	(16,1)	22.798,2
Produtores Independentes	3.583,8	4.147,1	(13,6)	735,4	738,2	762,7	789,3	(3,4)	9.210,4
Ferro-Esponja	176,4	177,4	(0,6)	34,3	38,4	31,1	35,7	(12,9)	409,7

(\*) Dados Preliminares

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia (2006), as vendas internas de produtos laminados atingiram 1,45 milhões de toneladas, 12,5 % acima de maio do ano passado. Esse crescimento reflete o aumento da demanda de importantes setores consumidores, com destaque para o automotivo, construção civil industrial e bens de capital.

No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é impossível imaginar o mundo sem o uso de ferro fundido e aço. A produção de aço é um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Seu consumo cresce proporcionalmente à construção de edifícios, execução de obras públicas, instalação de meios de comunicação e produção de equipamentos.

O parque siderúrgico brasileiro, hoje, compõe-se de 25 usinas, administradas por 11 empresas. A privatização trouxe ao setor expressivo afluxo de capitais, em composições acionárias de maior diversidade. Assim, muitas empresas produtoras passaram a integrar grupos industriais e/ou financeiros cujos interesses na siderurgia se desdobraram para atividades correlatas / ou de apoio logístico, com o objetivo de alcançar economia de escala e competitividade.

O parque produtor é relativamente novo e passa por um processo de atualização tecnológica. Está apto a entregar ao mercado qualquer tipo de produto siderúrgico, desde que sua produção se justifique economicamente.

Dentre os principais produtores de aço do Brasil, destacam-se Acesita, CSN, COSIPA, CST, Gerdau e Usiminas. As Tabelas 2, 3 e 4 mostram as relações entre as indústrias e os diversos tipos de produtos fabricados em cada uma delas, no cenário atual.

**Tabela 2:** Tipos de produtos de aços planos no Brasil.

PRODUTOS		EMPRESAS					
		Acesita	CSN	COSIPA	CST	Gerdau	USIMINAS
Placas		X	X	X	X	X	X
Chapas e bobinas não-revestidas	Chapas e Bobinas Grossas	X	X	X	X		X
	Chapas e Bobinas a Quente	X	X	X	X		X
	Chapas e Bobinas a Frio	X	X	X	X		X
	Folhas Não-Revestidas		X				X
Chapas e bobinas não-revestidas	Folhas para Embalagens		X				
	Chapas Zincadas a Quente		X		X		X
	Chapas Eletro-Galvanizadas						X
	Chapas Ligas Alumínio-zinco		X				
	Chapas Pré-Pintadas		X				
Chapas e bobinas especiais	Chapas Outros Aços ligados	X					
	Chapas Inoxidáveis	X					
	Chapas Siliciosas	X					

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

**Tabela 3:** Tipos de produtos de aços trefilados no Brasil.

PRODUTOS	EMPRESAS				
	Aços Villares	Belgo-Mineira	Gerdau	Siderúrgica Barra Mansa	Villares Metals
Arames	X	X	X	X	
Barras	X	X	X		X

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

**Tabela 4:** Tipos de produtos de aços longos no Brasil.

PRODUTOS		EMPRESAS					
		Aços Villares	Belgo-Mineira	Gerdau	Siderúrgica Barra Mansa	V & M do Brasil	Villares Metals
Lingotes, Blocos e Tarugos		X	X	X	X	X	X
Barras	Aço Carbono	X	X	X	X	X	X
	Aço Construção, Mecânica	X		X		X	X
	Aço Inoxidável			X			X
	Aço para Ferramentas e Matrizes			X			X
Perfis	Leves		X	X	X		
	Médios e Pesados		X	X	X		
Fio-Máquina		X	X	X	X		X
Vergalhões			X	X	X		
Tubos sem Costura						X	

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono. O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, fortemente associado ao oxigênio e à sílica. O minério de ferro é um óxido de ferro, misturado com areia fina.

O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, usa-se carvão mineral e, em alguns casos, o carvão vegetal.

O carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500 °C), necessárias à fusão do minério. Como redutor, retira o oxigênio do minério, pela alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro, para ligar-se ao carbono, chama-se redução e ocorre dentro de um equipamento chamado alto forno.

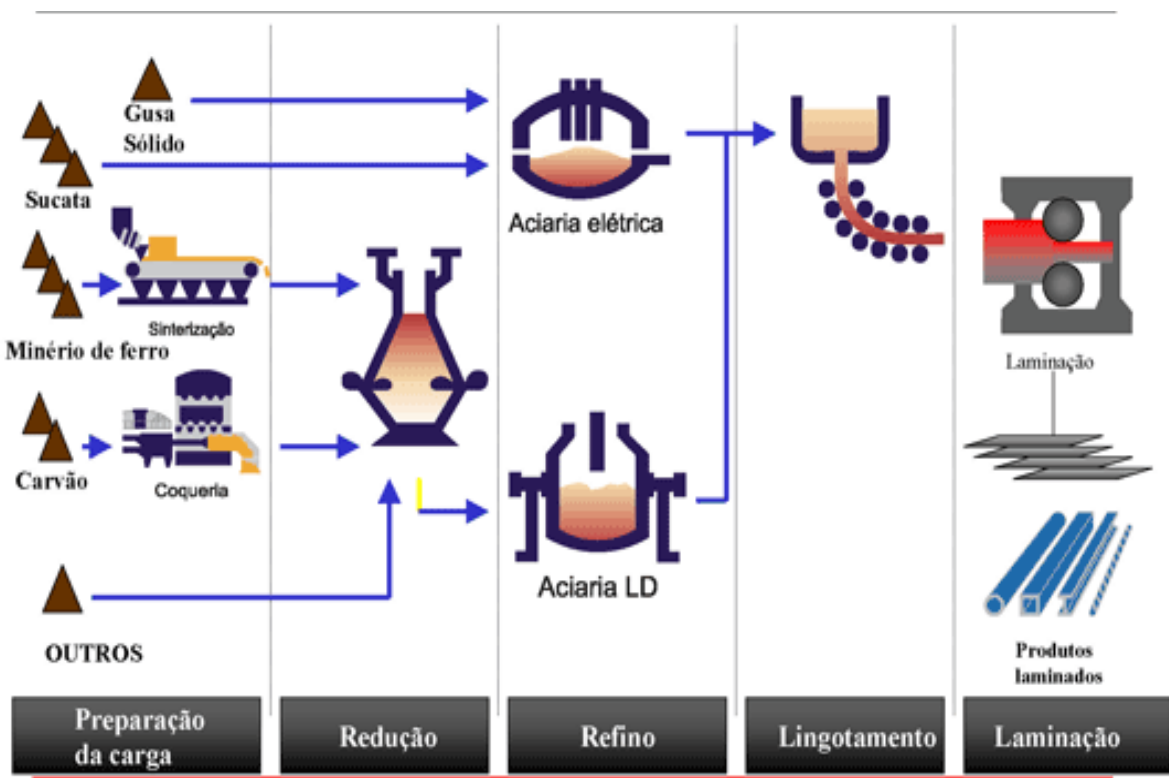
Antes de serem levados ao alto forno, o minério e o carvão são previamente preparados, para melhoria do rendimento e economia do processo. O minério é transformado em pelotas e o carvão é destilado, para obtenção do coque, e subprodutos carboquímicos.

No processo de redução, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário e sílica formam a escória, que é uma matéria-prima para a fabricação de cimento.

A etapa seguinte do processo é o refino. O ferro gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos.

Finalmente, a terceira fase clássica do processo de fabricação do aço é a laminação. O aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras etc.

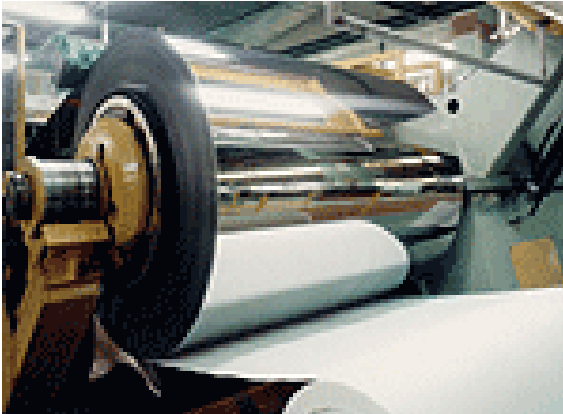
A Figura 3 ilustra o esquema básico de produção de manufaturados em aço.



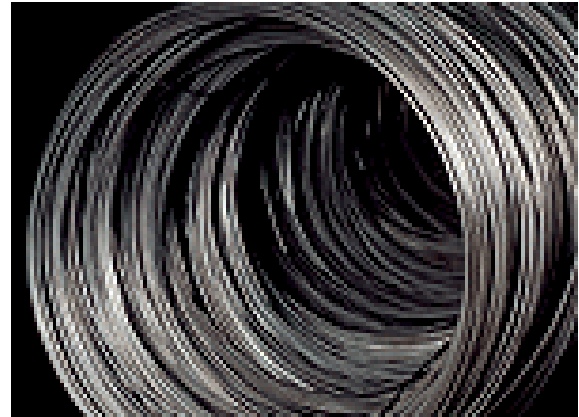
**Figura 3:** Fluxo de produção do aço (IBS, 2006).  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

Com a evolução da tecnologia, as fases de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção.

Exemplos de produtos em aço podem ser vistos na Fotografia 1.



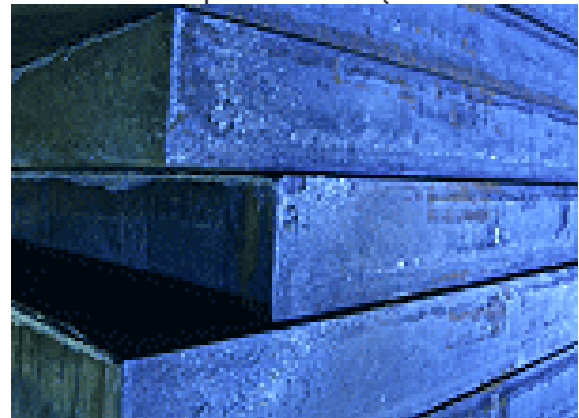
Bobina galvanizada da COSIPA



Arares especiais da Aços Villares



Vergalhões da Gerdau



Placas da COSIPA

**Fotografia 1:** Exemplos de produtos em aço.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

O aço está presente no nosso dia-a-dia nas mais diversas ocasiões. Entre as propriedades do aço estão: resistência a baixas e altas temperaturas, longa durabilidade e baixo custo de manutenção.

#### 1.4 Resíduos da Indústria do Aço

Como resultados dos processos siderúrgicos, são gerados diversos resíduos, tais como:



- a) Lodo da estação de tratamento de efluentes;
- b) Pó de aciaria;
- c) Sabão de trefila;
- d) Carepa de ferro;
- e) Cinza de zinco;
- f) Escória;
- g) Terra de chumbo;
- h) Refratário;
- i) Borra de fosfato;
- j) Cloreto ferroso.

Como parte integrante desta pesquisa, dentre os resíduos acima, 4 (quatro) foram selecionados no cenário do estudo de caso para as devidas análises. A Figura 4 indica, de forma geral e resumida, os locais de geração de vários dos resíduos acima citados.

A geração destes e de outros resíduos é uma preocupação premente e atual nas siderúrgicas. Esta afirmação se confirma pelas políticas de meio ambiente e declarações de diversos grupos, entre eles:

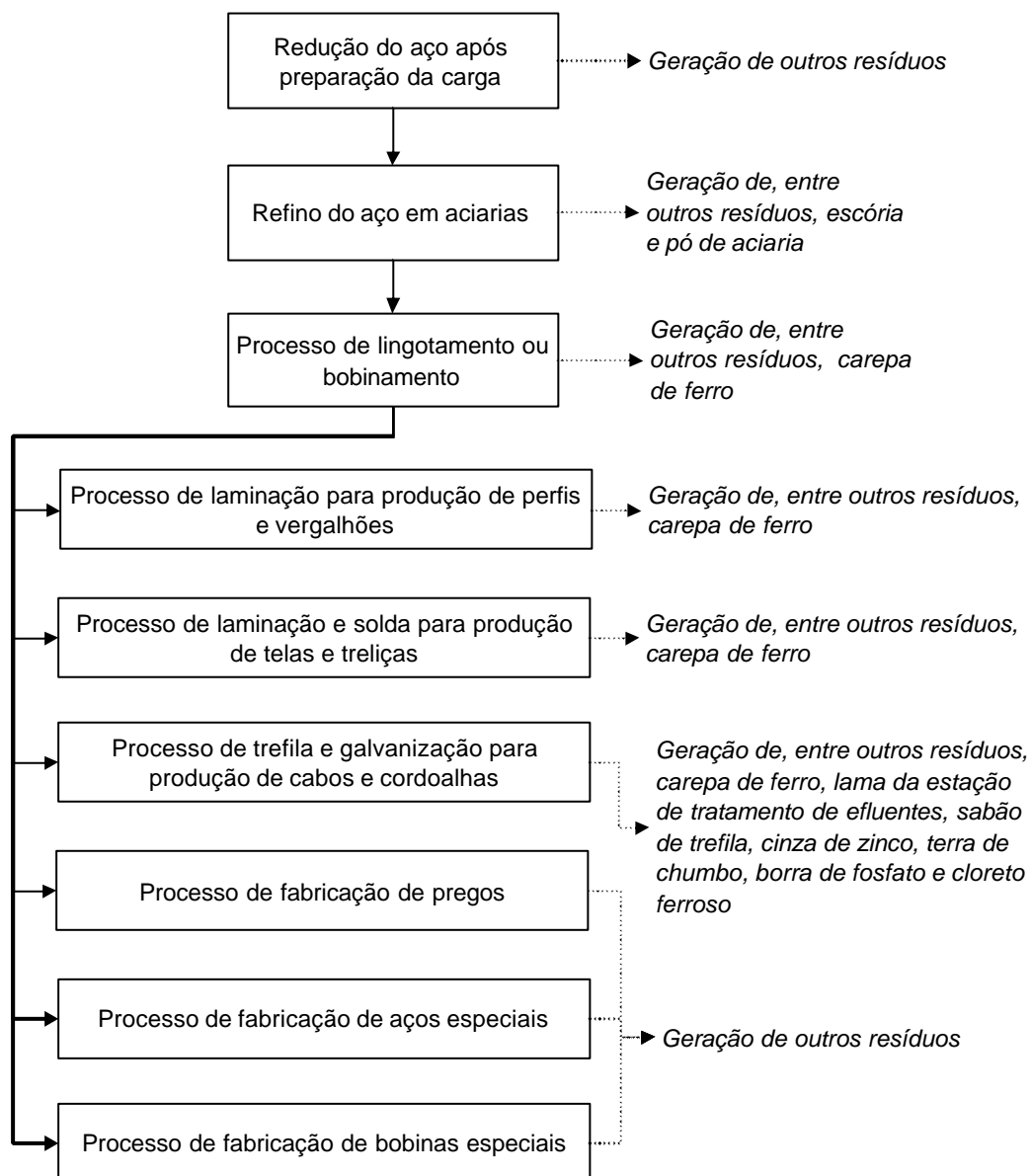
a) Gerdau:

A Gerdau, empresa siderúrgica internacional, produtora de aços longos, aços especiais, placas, blocos e tarugos, declara assegurar o atendimento das necessidades de conservação do meio ambiente e contribuir para o desenvolvimento sustentado da sociedade (GERDAU, 2006). São seus princípios:

- Manter consistente atendimento às exigências da legislação ambiental, às normas e aos compromissos inerentes aos valores da Empresa;

- Gerenciar, de forma planejada e preventiva, os aspectos ambientais de suas atividades, para proteger a atmosfera, a água e o solo, em conformidade com os objetivos e as metas definidas;

Buscar a melhoria contínua da gestão e do desempenho ambiental de todos os seus colaboradores, reforçando o comprometimento da Empresa junto a clientes, acionistas, fornecedores e comunidades.



**Figura 4:** Fluxograma geral de geração de resíduos na indústria do aço.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

b) Belgo Mineira

Na Belgo Mineira (Empresa do Grupo Arcelor) declara que a empresa adota uma política ambiental integrada na qual assume o compromisso de eliminar ou minimizar os principais impactos ambientais, com a racionalização do uso de água, energia elétrica e de recursos minerais; adota o monitoramento atmosférico, de níveis sonoros e de efluentes hídricos; e promove a redução, reuso e reciclagem de resíduos gerados nos seus processos. Essa política é explícita quanto ao atendimento à legislação ambiental, à melhoria contínua dos processos e ao levantamento e respectivo tratamento dos aspectos e impactos ambientais (ARCELOR, 2006).

c) CSN

A CSN, empresa de grande porte com operações nos setores de siderurgia, mineração e logística no Brasil, Estados Unidos e Portugal, declara reconhecer a necessidade de uma atuação permanente sobre seus processos, visando garantir a mínima alteração ambiental nos locais em que atua.

Declara ainda, que tão importante quanto à qualidade de seus produtos, é a qualidade de vida de seus empregados e da comunidade. Por isso, compromete-se a defender o Meio Ambiente sempre, de acordo com os seguintes princípios:

- **Suporte ao Negócio** - incorporar o fator ambiental como parte integrante de toda decisão de negócios;
- **Empresa Transparente** - manter canais de comunicação permanentemente abertos com o governo, os empregados e a comunidade, no que concerne às questões ambientais da empresa;
- **Melhoria Contínua** - melhorar continuamente o desempenho ambiental de seus processos;

- **Prevenção à poluição** - desenvolver e incentivar programas visando à prevenção à poluição nas suas fontes geradoras;
- **Respeito à Legislação Ambiental** - atender à legislação ambiental vigente e demais requisitos, buscando, sempre que possível, alcançar resultados melhores do que os exigidos;
- **Equacionamento das Não-Conformidades** - reconhecer e atuar no equacionamento das não conformidades ambientais de sua responsabilidade.

Para a CSN (2006) a minimização de resíduos não é somente uma meta ambiental, mas, principalmente um programa orientado para aumentar o grau de utilização dos materiais, com vantagens técnicas e econômicas como:

- Aumento da rentabilidade do negócio;
- Melhoria da imagem corporativa;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da produtividade;
- Uso mais racional da água, da energia e das matérias-primas;
- Redução no uso de substâncias tóxicas;
- Redução da geração de resíduos, efluentes e emissões e de gastos com seu tratamento e destinação final;
- Melhoria da qualidade do produto;
- Redução dos riscos de acidentes ambientais e ocupacionais;
- Melhoria do relacionamento com a comunidade e com órgãos públicos.

## 1.5 Gestão de Resíduos

Uma boa gestão de resíduos pressupõe diretrizes e práticas que incorporem maneiras de detectar, medir, estabelecer objetivos e metas, além de traçar planos de ação sinérgicos.

Em termos práticos, somente uma gestão capaz de monitorar e contabilizar a geração, controlar a movimentação de resíduos, buscar diminuir substancial e permanentemente a sua geração e os riscos ambientais por eles provocados, aumentar o efetivo de proteção à natureza e ao ser humano, associar custos inerentes à geração, manuseio, acondicionamento, monitoramento, custos ambientais, indenizações e outros aspectos relacionados aos resíduos, poderá estabelecer as bases e prioridades necessárias para a ecoeficiência.

Na verdade, a velocidade do desenvolvimento tecnológico deve ser extensiva à demanda a tais aspectos. As organizações têm a responsabilidade de desenvolver esforços no sentido de contribuir para a construção da sustentabilidade.

Produzir mais aço, cenário desta pesquisa, com menos insumos e matérias-primas deve ser uma prioridade da siderurgia brasileira. Os programas de conservação de energia, de recirculação de água e de reciclagem do aço e co-produtos têm aumentado a ecoeficiência do setor.

Diversos são os trabalhos de gerenciamento e redução de resíduos em empresas siderúrgicas e metalúrgicas no Brasil e no mundo, entre eles:

- a) A Mahle, uma empresa que produz componentes para motores automotivos, após avaliação técnica e econômica de diversas alternativas ambientais para redução de seus resíduos, optou por estabelecer uma parceria com o fornecedor de sulfato de níquel, principal matéria-prima dos banhos de tratamento superficial utilizados. Nesta parceria, a Mahle obteve como resultado o enquadramento do efluente final pela legislação ambiental. Além disso, este trabalho resultou na redução de 10 a 15 % no volume de lodo gerado na estação de tratamento de efluentes (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2006).

b) Na empresa BSH onde são fabricados eletrodomésticos, a maior parte da água utilizada no processo produtivo provém da rede pública, gerando efluentes líquidos industriais que devem ser adequadamente tratados. Para reduzir o consumo de água proveniente da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, em 1996, foi implantado um sistema de reuso do efluente tratado, que consiste de sistema de filtração, com vazão de 9 a 10 m<sup>3</sup>/h, adaptado ao sistema de tratamento de efluentes. A implantação dessa medida resultou na redução de 30 % do consumo de água da rede pública que passou de 86.400 para 60.480 m<sup>3</sup>/ano, em média. A economia anual obtida com a adoção dessa medida foi estimada em R\$ 135.000,00/ano (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2006).

c) Na produção das peças de sistemas de freios realizada pela empresa TRW, uma das etapas mais importantes na garantia da qualidade do produto é o tratamento superficial por galvanoplastia. De modo a atender a política ambiental da empresa, e principalmente às exigências de diversos de seus clientes, passou-se a buscar alternativas de prevenção à poluição para o processo galvânico, por meio da substituição da matéria-prima. O novo processo com cromo trivalente trouxe um ganho de desempenho ambiental, associado à redução de problemas de saúde ocupacional relacionados à armazenagem e uso do cromo hexavalente (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2006).

## **1.6 Utilização de Resíduos**

A caracterização de um resíduo depende da escolha de parâmetros que permitam a identificação de seus componentes.

Para fins ambientais, esta caracterização deve incluir a investigação da presença e/ou ausência de certos contaminantes. A investigação desses contaminantes é, via de regra, baseada em diretrizes legais, no conhecimento das matérias-primas e substâncias que participam do processo que originaram o resíduo ou na suspeita da presença de certas substâncias contaminantes.

O processo de classificação descrito na norma NBR 10004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004), permite classificar um resíduo para fins de gerenciamento e identificar se este resíduo, classificado como perigoso, apresenta características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade. Estas características vão nortear os cuidados no gerenciamento desse resíduo considerado perigoso, mas não indicam sua destinação.

A escolha de uma alternativa para a destinação de um resíduo, por sua vez, vai depender da sua caracterização quanto à composição e qualidade do material do qual o resíduo é composto, bem como da sua classificação para fins de gerenciamento.

Entre as alternativas de destinação de resíduos, destaca-se, pela sua prioridade sob o ponto de vista econômico e de preservação de recursos ambientais, a reciclagem – reúso – reutilização.

O estudo das alternativas de reaproveitamento de um resíduo é independente da sua classificação, no entanto, o gerenciamento do resíduo – o qual inclui o seu manuseio, transporte e destinação ou uso, vai depender dessa classificação. Ou seja, não é a classificação de um resíduo que será impedimento de sua reutilização, embora a classificação que orientará os cuidados especiais no seu manuseio, sem os quais pode-se inviabilizar a sua reutilização, quando não puderem ser dadas garantias de segurança do ponto de vista do trabalhador, do consumidor final ou ambiental.

Na reutilização de um resíduo para fabricação de um novo produto devem ser consultados os órgãos responsáveis pela comprovação da qualidade do produto final, que é o órgão responsável pela certificação do produto, os órgãos ambientais, da saúde e demais órgãos competentes, de modo a obter aprovação específica para a utilização do resíduo na forma pretendida, cabendo ao interessado a comprovação da segurança do uso do material.

## 1.7 PGRS (Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos)

As diretrizes e estratégias de gestão e gerenciamento de resíduos buscam atender aos objetivos do conceito de Prevenção da Poluição, evitando ou reduzindo a geração de resíduos e poluentes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Deste modo, conforme Soares (2002), busca-se priorizar, em ordem decrescente de aplicação:

- a) Redução na fonte;
- b) Reaproveitamento;
- c) Tratamento;
- d) Disposição final.

No entanto, cabe mencionar que a hierarquização dessas estratégias é função das condicionantes legais, sociais, econômicas, culturais, tecnológicas existentes no município, bem como, das especificidades de cada tipo de resíduo.

A redução na fonte pode ocorrer por meio de mudanças no produto, pelo uso de boas práticas operacionais e/ou pelas mudanças tecnológicas e/ou de insumos do processo.

A estratégia de reaproveitamento engloba as ações de reutilização, a reciclagem e a recuperação. Observa-se que no reúso, o resíduo está pronto para o uso imediato enquanto a reciclagem exige um processo transformador, com utilização de recursos naturais e possibilidade de geração de resíduos, embora possa estar sendo produzido um bem de maior valor agregado, relativamente ao resíduo.

Por último, têm-se as ações de tratamento e disposição final que buscam assegurar características mais apropriadas para a adequada devolução dos resíduos ao ambiente.

As ações sugeridas pelo programa de gerenciamento de resíduos sólidos têm como objetivo reduzir ou até mesmo eliminar os impactos negativos que possam ser gerados durante o manuseio e disposição dos diversos resíduos.



O programa de gerenciamento de resíduos sólidos é um documento importante no processo de gestão ambiental e, segundo Soares (2002), demanda uma integração dos três elementos básicos da organização:

- a) Recursos físicos (instalações, equipamentos, etc.);
- b) Procedimentos, normas e regras;
- c) Recursos humanos (corpo funcional).

Para obter a qualidade do processo produtivo e proteção do meio ambiente não é necessário que ocorra uma revolução nos procedimentos e processos da empresa. Os resultados advêm de um processo evolutivo contínuo. Todas estas considerações são válidas principalmente quando se verifica um mercado cada vez mais competitivo e globalizado, onde as empresas atentas a esta questão se destacam e ganham a cada dia.

Para a eficaz implantação de um bom programa de gerenciamento de resíduos sólidos, deve-se ter definidos os principais pontos administrativos, definidos por Chaves (2001):

- a) Reconhecimento tanto da direção como dos funcionários da importância e da necessidade de gerenciamento dos resíduos dentro da empresa, tanto pela questão jurídica (lei) como ambiental;
- b) Participação total de todos os indivíduos que fazem parte da empresa no processo de implantação e manutenção do programa de gerenciamento de resíduos sólidos;
- c) Definição dos espaços destinados aos materiais corretamente instalados e prontos para absorvê-los sem prejuízo para os processos seguintes;
- d) Definição do destino correto a ser dado aos materiais, ou seja, quais as empresas ou pessoa física que serão as receptoras dos materiais;
- e) Manutenção e gerenciamento do comércio de resíduos realizado. Como medida de administração, sendo sugerido o cadastramento das empresas receptoras de material, quantidade mensal enviada de material reciclável e geração de divisas;

- f) Completando o ciclo de gerenciamento de todo tipo de resíduo que possa ser gerado, sugere-se monitorar também a geração de material não-reaproveitado e seu devido destino.

Chaves (2001) sintetiza os objetivos gerais do programa de gerenciamento de resíduos sólidos:

- a) Melhorar as medidas de segurança e higiene no trabalho;
- b) Proteger a saúde e o meio ambiente;
- c) Cumprir a legislação vigente;
- d) Reduzir a quantidade e a periculosidade dos resíduos perigosos;
- e) Substituir os materiais perigosos, sempre que possível, por outros de menor periculosidade;
- f) Evitar o manejo e a disposição final inadequada dos resíduos gerados no estabelecimento, minimizando os riscos de contaminação potencial de seus resíduos à comunidade e ao meio ambiente.

É de extrema importância que o programa de gerenciamento de resíduos sólidos seja embasado pela realização de um inventário preciso dos tipos e condicionantes de gerenciamento dos resíduos gerados, tais como o ambiente de trabalho, os procedimentos executados, a quantidade, natureza e nível de risco gerados, frequência de geração (contínua ou eventual), passivo existente etc. Desse modo, é importante especificar:

- a) Volume;
- b) Estado físico (sólido, semi-sólido, pastoso ou líquido);
- c) Classificação, segundo legislação vigente;
- d) Condições de acondicionamento do resíduo no ato da geração deste;
- e) Segregação (quando houver);
- f) Armazenamento interno (quando houver);
- g) Condições de transporte interno para o armazenamento externo;

- h) Armazenamento externo;
- i) Condições e especificação da coleta e transporte externo;
- j) Conhecimento do tratamento e disposição final dos resíduos gerados no estabelecimento.

O programa de gerenciamento de resíduos sólidos deverá apontar e descrever as ações relativas ao gerenciamento dos resíduos, no sentido de minimizar a geração na fonte, adequar a segregação na origem, controlar e reduzir riscos ao meio ambiente e assegurar o correto manuseio, destinação e disposição final, em conformidade com a legislação vigente.

## 2 OBJETIVOS

Os objetivos foram subdivididos em geral e específicos, conforme a seguir descritos.

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é apresentar um conjunto de alternativas e oportunidades para a prevenção, reciclagem e co-processamento de 4 (quatro) dos principais resíduos gerados em 3 plantas siderúrgicas do Estado de São Paulo, estas que representam o cenário siderúrgico a ser estudado, de modo a contribuir para a melhoria da gestão destes, nos aspectos econômico e ambiental.

### 2.2 Objetivos Específicos

No tocante aos objetivos específicos, deseja-se o seguinte:

- a) Avaliar o panorama atual do gerenciamento de resíduos do cenário siderúrgico definido, descrevendo os principais resíduos gerados, em termos de volume, custos, receitas e periculosidade;
- b) Identificar *benchmarks* e alternativas de prevenção, reciclagem e co-processamento destes resíduos, por meio de pesquisa bibliográfica;
- c) Propor melhoria da prática atual do caso estudado, com base nas alternativas identificadas na pesquisa bibliográfica.

### 3 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

O estudo de caso é o método utilizado na presente pesquisa, abrangendo a análise dos diversos cenários e parâmetros a serem estudados, tais como custos com o gerenciamento dos resíduos, melhores práticas, alternativas de redução, reciclagem e co-processamento, entre outros, em uma unidade siderúrgica.

Os procedimentos adotados para esta pesquisa estão organizados da seguinte forma:

- a) Definição dos tópicos e palavras-chave a serem pesquisadas, considerando-se o tema e os objetivos;
- b) Revisão bibliográfica, abrangendo:
  - Caracterização do setor siderúrgico e de seus processos produtivos;
  - Caracterização da gestão de resíduos no setor siderúrgico, em nível nacional e internacional;
  - Identificação das melhores práticas de gerenciamento, em termos de técnicas para prevenção, reciclagem e co-processamento de resíduos siderúrgicos;
- c) Caracterização da siderúrgica em estudo, em termos de:
  - Identificação e avaliação das taxas de geração dos quatro tipos de resíduos selecionados para detalhamento (escolhidos com base em volume mensal, custo de destinação e periculosidade);
  - Avaliação dos métodos atuais de gestão de resíduos;
- d) Correlação dos resultados da pesquisa bibliográfica e os do cenário;
- e) Identificação das práticas viáveis para o caso estudado, sob o aspecto econômico e ambiental;

- f) Análise dos resultados obtidos e apuração das conclusões e recomendações.

Dentre os resíduos gerados na siderurgia, esta pesquisa focará (i) a carepa de ferro da trefila de arames de aço e da laminação de barras de aço, (ii) lodo da estação de tratamento de efluentes; (iii) cloreto ferroso da decapagem química do fio-máquina; e (iv) borra de fosfato da decapagem química do fio-máquina para produção de arames e cordoalhas, assim definidos devido ao volume gerado e custos envolvidos para destinação.

A representatividade destes resíduos no cenário definido é maior que 60 % do total de resíduos gerados mensalmente.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A necessidade atual da redução de resíduos da siderurgia tem motivado muitas pesquisas, conforme apresentado a seguir.

### **4.1 Diretrizes ambientais e legislação vigente**

A necessidade de aplicarem-se as diretrizes ambientais no contexto produtivo de qualquer empresa é hoje uma realidade no cenário mundial. O beneficiamento e a comercialização de resíduos, em diversos segmentos industriais, têm levado as organizações a uma nova ideologia sobre a questão do gerenciamento desses materiais, sendo que a receita obtida com a reciclagem tem contribuído para a expansão dessa prática.

Em grande parte dos países desenvolvidos, a responsabilidade sobre os resíduos gerados é tripartite. Ou seja, a indústria, o consumidor e o poder público são obrigados a juntos darem a destinação correta ao que é descartado.

Enquanto não é possível fazer um panorama preciso da situação brasileira em relação a reciclagem e co-processamento de resíduos industriais (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM, 2006), algumas iniciativas surgem e mostram resultados importantes. O resíduo de usinagem, por exemplo, recebe tratamento e volta a ser matéria-prima nas siderúrgicas. Uma das técnicas para a transformação de borras de retífica, de lapidação, de brunimento, de oxicorte e de eletroerosão, pó de ferro, pó de jateamento e carepa de ferro em insumos é a reciclagem. A técnica considerada mais adequada (o resíduo também pode ser encaminhado para fornos de cimento ou incineração) utiliza a destruição térmica dos contaminantes, por meio de secagem e volatilização da umidade, causada pela presença de óleos, águas, solventes e aglutinantes. Após um ajuste químico e granulométrico, o produto está pronto para ser utilizado em siderúrgicas, tanto no processo de sinterização, como na briquetagem.

Nesse mesmo contexto, a indústria da sucata de aço supera as dificuldades e alcança volumes expressivos de reciclagem. Segundo o Instituto Nacional das Empresas de Preparação de Sucata Não Ferrosa e de Ferro e Aço, 5 milhões de toneladas de sucata são recicladas anualmente (CHAVES, 2001). Os números poderiam ser ainda mais positivos, caso houvesse políticas públicas de incentivo à atividade.

O setor está composto hoje por cerca de 2.500 empresas espalhadas por todo o território nacional, com capacidade para processar até 420 mil toneladas de sucata por mês. Segundo dados do Instituto Nacional das Empresas de Preparação de Sucata Não Ferrosa e de Ferro e Aço, tratam-se de negócios de pequeno e médio porte, de origem familiar e, em alguns casos, com mais de 50 anos de existência. A sucata é coletada nas fontes geradoras, beneficiada e encaminhada para reciclagem, movimentando uma frota de cerca de 15 mil caminhões. A maioria deles tem como destino as usinas semi-integradas, maiores consumidoras de sucata no processo produtivo do aço. Para se ter uma idéia, as siderúrgicas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.130 kg de sucata para produzir 1 tonelada de aço bruto. No caso das usinas integradas, o volume é menor, mas ainda necessário. Para produzir uma tonelada de aço bruto são necessários 175 kg de sucata (ARAÚJO, 1997).

No ano 2000, segundo dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia (2006), a sucata representou em torno de 25 % da produção brasileira de aço. Foram 7.420 milhões de toneladas, sendo 3.231 milhões resultantes do processo produtivo das próprias siderúrgicas e 4.189 milhões de toneladas adquiridas no mercado. As sucatas são um importante insumo para as usinas integradas (usinas com a linha completa de produção, desde a coqueria e redução do ferro até o produto final) e semi-integradas (usinas que possuem as etapas de produção a partir da aciaria, não possuindo a fase de redução do ferro) e são identificadas de acordo com sua procedência. A Tabela 5 mostra a relação da geração da sucata de aço nos diversos setores industriais.



**Tabela 5:** Principais geradores de sucata no Brasil.

<b>Setores</b>	<b>(%)</b>
Automobilístico	30 a 37
Utilidades Domésticas	5 a 12
Construção Civil	3 a 4
Outros Setores	5 a 10

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

Em termos de legislação, três são as principais diretrizes nacionais relacionadas aos resíduos industriais. São elas:

- a) Política Nacional de Meio Ambiente - Lei Federal 6.938/81;
- b) Lei de Crimes Ambientais - Lei Federal 9.605/98;
- c) Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais - Resolução CONAMA 313/2002.

Aprofundando a pesquisa legal, o Anexo 1 mostra outros aspectos legais a serem considerados pelas diversas indústrias. São leis e normas aplicáveis, em nível federal e estadual, que precisam ser observadas dentro de um sistema eficiente de gerenciamento de resíduo em uma indústria.

Muitas não são aplicáveis diretamente à indústria siderúrgica, mas estão presentes como sinais de alerta para possíveis modificações futuras e/ou novas criações para os resíduos da indústria em questão.

O controle da atualização é feito de forma manual (consulta às fontes) ou pela contratação de empresas especializadas em coletar todas as informações e atualizar mensalmente seus clientes para as devidas adequações, quando necessárias.

Dentre as principais diretrizes legais para o gerenciamento de resíduos industriais, destacam-se:

- a) A Política Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, publicada no Diário Oficial do Estado de 17 de março de 2006, por meio da Lei Estadual Nº 12.300/06. A referida lei define princípios e diretrizes,

objetivos e instrumentos para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos no Estado de São Paulo.

Dentre as determinações dessa lei, destacam-se (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006): (i) a implementação do Sistema Declaratório Anual e (ii) o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

O Sistema Declaratório Anual é um dos objetivos da Política Estadual de Resíduos Sólidos e visa ao controle da geração, estocagem, transporte e destinação final de resíduos sólidos industriais. Segundo a referida lei, os geradores, transportadores e receptores dos resíduos deverão apresentar, anualmente, uma declaração ambiental com a quantidade de resíduos gerados, manipulados, acondicionados, armazenados, coletados, transportados e destinados, bem como informações relativas: (i) às medidas adotadas com o objetivo de reduzir a quantidade e a periculosidade dos resíduos (ii) medidas para aperfeiçoamento técnico do seu gerenciamento, e (iii) informações relativas às instalações e procedimentos relacionados ao gerenciamento de resíduos.

Por sua vez, o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos é um documento integrante do processo de licenciamento ambiental e deve contemplar informações relativas à geração, segregação, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e disposição final de resíduos sólidos, bem como informações relativas à eliminação dos riscos e a proteção à saúde e ao ambiente.

A lei estabelece que as atividades de importação, transporte e exportação de resíduos no Estado deverão ser previamente autorizadas pelo órgão ambiental competente.

Nos termos da Lei Estadual, o gerador dos resíduos e de seus sucessores é responsável pela gestão dos resíduos sólidos. No caso do encerramento de atividades potencialmente poluidoras, faz-se necessária a aprovação pelo órgão ambiental competente de um relatório conclusivo de auditoria ambiental.

- b) Resolução CONAMA Nº 23, de 12 de dezembro de 1996, que dá definições (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006) e estabelece que é proibida a importação dos resíduos perigosos - Classe I, em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim.

Cita que a importação de itens da categoria Resíduos Não-Inertes só poderá ser realizada para as finalidades de reciclagem ou reaproveitamento após autorização ambiental do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, precedida de anuência e parecer técnico do Órgão Estadual de Meio Ambiente, e após o atendimento de diversas exigências.

Nesta resolução, está estabelecido que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente encaminhará, semestralmente, à Secretaria do Comércio Exterior do Ministério da Indústria do Comércio e do Turismo relação atualizada das empresas cadastradas e aptas a realizar importações de resíduos.

Entre outros, conclui enfatizando que o não cumprimento ao disposto nesta Resolução sujeitará os infratores às penalidades previstas nos artigos 14 e 15 da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas Leis Nº 7.804, de 18 de julho de 1989 e Nº 8.028, de 12 de abril de 1990.

- c) Resolução CONAMA Nº 275, de 25 de abril 2001 que define, considerando que a reciclagem de resíduos deve ser incentivada estabelece, entre outros, código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva, e que os programas de coleta seletiva devem seguir o padrão de cores estabelecido.
- d) Resolução CONAMA Nº 313, de 29 de outubro de 2002, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Entre outros aspectos, estabelece que (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006):
- Os resíduos existentes ou gerados pelas atividades industriais serão objetos de controle específico, como parte integrante do processo de licenciamento ambiental.

- As concessionárias de energia elétrica e empresas que possuam materiais e equipamentos contendo Bifenilas Policloradas deverão apresentar ao órgão estadual de meio ambiente o inventário desses estoques, na forma e prazo a serem definidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente.
  - Os órgãos estaduais de meio ambiente deverão elaborar, em até três anos contados a partir da publicação desta Resolução, de forma coordenada e no âmbito de suas competências, os Programas Estaduais de Gerenciamento de Resíduos Industriais, e, em até quatro anos, também contados a partir da publicação desta Resolução, o Plano Nacional para Gerenciamento de Resíduos Industriais.
- e) Portaria MINTER Nº 53, de 01 de março de 1979 que, dentre outros, resolve que (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006):
- Os projetos específicos de tratamento e disposição de resíduos sólidos, bem como a fiscalização de sua implantação, operação e manutenção ficam sujeitos à aprovação do órgão estadual de controle da poluição e de preservação ambiental, devendo ser enviadas, à Secretaria Especial do Meio Ambiente, cópias de autorizações concedidas para os referidos projetos.
  - Os resíduos sólidos ou semi-sólidos de qualquer natureza não devem ser colocados ou incinerados a céu aberto.
  - Nos planos ou projetos de destinação final de resíduos sólidos devem ser incentivadas as soluções para grupos de municípios, bem como soluções que importem em reciclagem e reaproveitamento racionais desses resíduos.
- f) A nível estadual, a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (2006) por sua vez, passa a exigir uma documentação especial quando da necessidade das indústrias requererem a autorização para o destino final dos seus resíduos em São Paulo. Essa autorização se concretiza com a

emissão pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais – CADRI, que se faz necessário à destinação de resíduos para tratamento, incineração ou depósito em aterro. As empresas devem prever sua geração de resíduos ao longo do ano e requerer o CADRI à Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, solicitando outro CADRI caso venha a ocorrer alteração no tipo de resíduo gerado ou em sua quantidade, ou ainda na destinação final escolhida (COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, 2006).

- g) Resolução ANTT Nº 91, de 4 de maio de 1999, que dispõe sobre os Cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos.

Esta resolução estabelece as Normas Gerais dos Cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos destinados ao condutor que deseja habilitar-se a conduzir veículos para transportar produtos perigosos ou para a renovação do seu certificado do curso de Treinamento Específico (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2006). Também estabelece que os cursos mencionados sejam ministrados por:

- Órgão ou entidade executivo rodoviário da União ou instituições vinculadas ao Sistema Nacional de Formação de Mão-de-Obra nas modalidades de ensino a distância e/ou de ensino regular;
- Estabelecimentos ou empresas legalmente instalados na forma da legislação local e cujo funcionamento tenha sido autorizado pelo órgão ou entidade executivo de trânsito do Estado ou do Distrito Federal, apenas na modalidade de ensino regular.

O condutor comprovará a participação em Curso de Treinamento Específico para Transporte de Produtos Perigosos mediante Certificado atualizado.

- h) Resolução da ANTT Nº 420, de 31 de maio de 2004, que fornece as definições e informações sobre os ensaios necessários para classificar o produto perigoso nas diversas classes e subclasses, incluindo critérios para classificação daqueles que não constem nominalmente da relação que a integra (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES, 2006).

Estabelece que só poderão ser aceitos para o transporte os produtos perigosos que estejam adequadamente classificados, embalados, marcados, rotulados, sinalizados conforme declaração emitida pelo expedidor, constante na documentação de transporte.

Os resíduos devem ser transportados de acordo com a classe que lhes for apropriada, considerando seus riscos.

Alguns documentos são exigidos nesta resolução para o devido transporte, entre eles:

- Certificado de Capacitação expedido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial ou por entidade por ele credenciada;
- Documento comprobatório da qualificação do motorista que recebeu treinamento específico para transportar produtos perigosos;
- Ficha de emergência que contém informações para o caso de acidente ou incidente fornecida pelo expedidor, conforme informações recebidas do fabricante ou importador do produto transportado.

Além destes, descrevem as precauções mínimas que devem ser observadas para a prevenção de acidentes, bem como para restringir os efeitos de acidente ou emergência como porte de extintores portáteis e proibição do transporte de produtos perigosos incompatíveis.

## 4.2 Minimização de resíduos e o Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

A ecoeficiência combina, como apresentado, desempenho econômico e ambiental. Permite que processos produtivos possam ser mais eficientes, possibilitando novos e melhores produtos e serviços, com menor utilização de recursos naturais e menos poluição, em todo o ciclo de vida.

O Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável (*World Business Council for Sustainable Development*) define ecoeficiência como “a produção sustentável de bens e serviços úteis à sociedade, agregando valor na busca pela redução de consumo de recursos naturais e da minimização / não geração de qualquer tipo de poluição” (SOARES, 2002).

A minimização refere-se a medidas que levam à redução do material a ser disposto ou incinerado. Segundo Bonezzi (2005) são ações como:

- a) Reuso ou reutilização: os materiais e os produtos são reusados praticamente sem transformação;
- b) Reciclagem interna: os materiais voltam para o processo produtivo original;
- c) Reciclagem externa ou pós-consumo: os materiais sofrem algum processo industrial de transformação visando a obtenção de um produto (reciclado) para a mesma ou outra finalidade qualquer, desde que viável do ponto de vista técnico e econômico;
- d) Uso posterior do material: os materiais são incorporados em outro processo produtivo.

A finalidade da minimização de resíduos por meio das técnicas de produção mais limpa é não somente minimizar resíduos, mas limitar a produção dos mesmos.

As estratégias de minimização de resíduos voltadas ao processo consistem em utilizar novas tecnologias ou aperfeiçoar os procedimentos de produção

existentes. As estratégias de prevenção voltadas ao material podem ser obtidas fechando ciclos materiais internos ou fechando o processo inteiro. Outra forma é a substituição de matérias-primas.

Para se ter uma visão geral das possibilidades de prevenção, relaciona-se, a seguir, uma lista das cinco principais causas da geração de resíduos (DERISIO, 2000):

- a) Perdas de rendimento - raramente se obtém taxas de rendimento ou de conversão de 100 %. Além disso, o rendimento cai se as condições operacionais não são ideais;
- b) Matérias-primas utilizadas e auxiliares - materiais auxiliares não são parte dos produtos, por definição, e são, ao final, reencontrados nos efluentes líquidos ou gasosos;
- c) Reações secundárias - subprodutos sintetizados a partir das matérias-primas e materiais auxiliares, em reações secundárias, são inúteis e aumentam a quantidade de resíduos;
- d) Subprodutos e impurezas - as matérias-primas utilizadas no processo freqüentemente consistem em uma mistura de componentes dos quais somente alguns são convertidos no produto final;
- e) Produtos que se transformarão em resíduos perigosos - dependendo da composição, os produtos manufaturados transformar-se-ão em resíduos perigosos após uso.

No Brasil, historicamente, as bolsas de resíduos têm apresentado desempenho abaixo do esperado. As bolsas tradicionais são “balcões” de compra e venda de resíduos e/ou subprodutos gerados por uma determinada indústria, que podem vir a ser utilizados como insumos por outra. A idéia central é boa, mas alguns fatores contribuíram para o insucesso, dentre os quais, dependendo do caso (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, 2000):

- a) Desconhecimento da totalidade dos resíduos gerados nas empresas;



- b) Desconhecimento da aplicação dos resíduos e/ou subprodutos gerados nas empresas;
- c) Incapacidade do gerador em se adequar aos padrões mínimos exigidos pela legislação vigente;
- d) Divulgação e informação insuficientes.

A ênfase da gestão ambiental na prevenção à poluição e na produção mais limpa trouxe consigo as seguintes mudanças (DERISIO, 2000):

- a) Da apatia para a preocupação, por parte do grande público;
- b) Do interesse local para o interesse global;
- c) Do tratamento de final de tubo para prevenção à poluição;
- d) Do isolamento para o envolvimento da alta administração.
- e) De conformidade legal para a melhoria contínua;
- f) Dos custos para investimentos e vantagens competitivas;
- g) Das relações antagônicas e isolacionistas para a cooperação e participação, entre indústria e governo.

Dentre outras, as medidas a serem tomadas para evitar a geração de resíduos na fonte incluem (DERISIO, 2000):

- a) Realizar análise de fluxo de material;
- b) Investigar onde se origina a geração de resíduos;
- c) Decidir como pode ser melhorado o fluxo de produção, visando diminuir os resíduos, envolvendo todos os níveis decisórios.

De modo geral, as indústrias podem agir da seguinte forma (ARAÚJO, 1997):

- a) Aumentar a eficiência do processo existente:

Como algumas das maiores perdas são as de rendimento, as seguintes medidas são válidas:

- Melhoria das condições do processo (temperatura, pressão, tempo de reação etc.);
- Melhoria parcial das matérias-primas, otimizando suas quantidades estequiométricas;
- Melhoria parcial dos produtos auxiliares.

b) Usar novas tecnologias, de baixa geração de resíduos:

Esta solução é viável quando se constroem novas plantas ou se modificam drasticamente as antigas plantas. As seguintes medidas são possíveis:

- Introdução da tecnologia de controle de processo, para otimizar o uso de substâncias químicas;
- Modificação do processo produtivo;
- Modificação de projeto, em plantas existentes.

c) Mudanças nas matérias-primas ou materiais auxiliares:

As seguintes medidas devem ser adotadas se a geração de resíduos é causada por impurezas ou materiais auxiliares:

- Uso de substâncias mais puras;
- Diminuição das quantidades usadas no processo existente;
- Diminuição das quantidades em novos processos.

d) Utilização integrada de substâncias:

Muitas vezes, matérias-primas ou materiais auxiliares são descartados apesar de ainda estarem aptos ao uso. As razões para isso são as impurezas ou os efeitos da diluição. Para reuso interno, as seguintes medidas podem ser tomadas:

- Usar materiais auxiliares em ciclo fechado;
- Refinar os sistemas de recuperação das substâncias.

e) Housekeeping eficiente:

As razões da geração de resíduos, freqüentemente, não podem ser exclusivamente atribuídas a equipamentos ou à tecnologia, mas ao modo pelo qual as substâncias são manipuladas e aos problemas de operação. Alguns exemplos corretivos a adotar, nesse sentido:

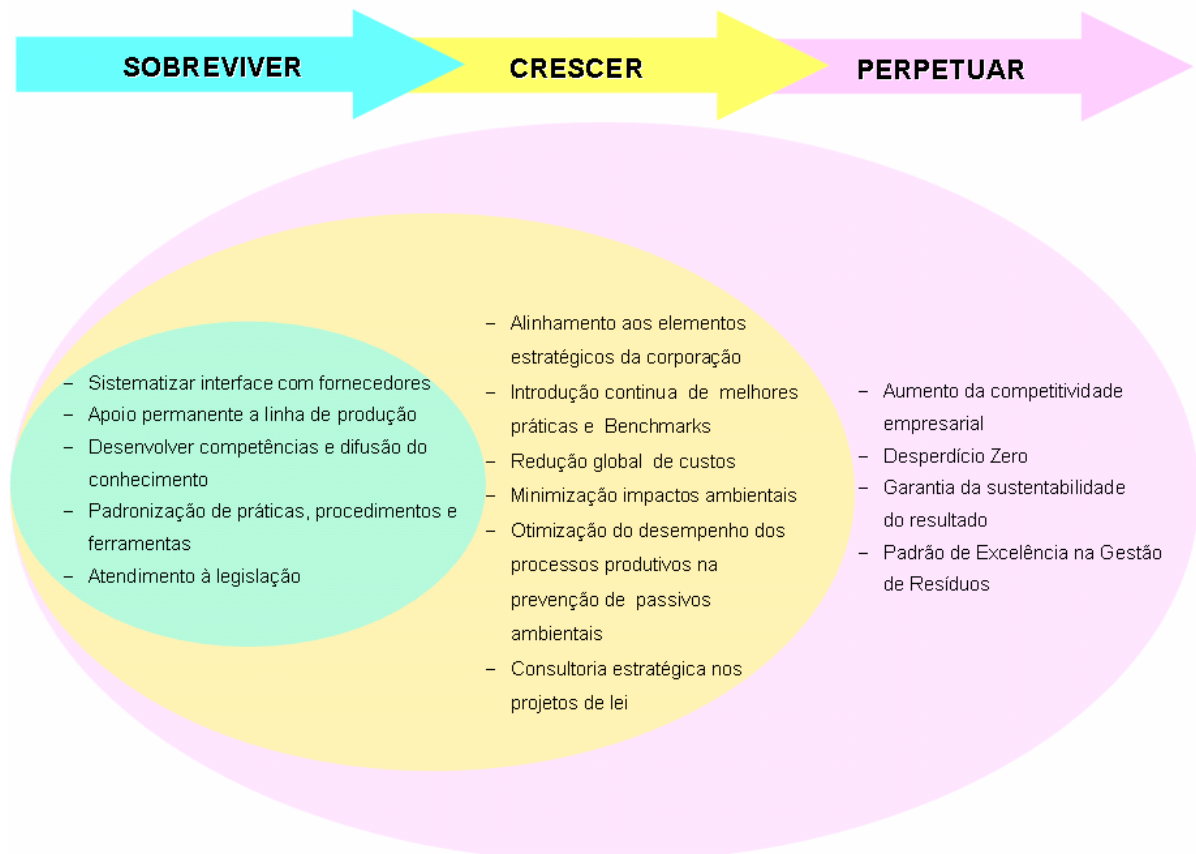
- Aumentar a qualidade do resíduo, separando-o seletivamente;
- Introduzir equipamentos de controle do sistema, manutenção e prevenção de vazamentos;
- Minimizar a contaminação de contêineres em contato com substâncias problemáticas;
- Evitar a destruição de materiais no armazenamento, por oxidação, umidade, temperatura;
- Refinar restos de trituração de minérios, a serem reutilizados no processo.

Estas medidas pertencem aos primeiros passos tomados na minimização de resíduos, ou seja, na prevenção da geração dos resíduos na fonte, partindo para minimização, reciclagem, tratamento e disposição. A Figura 5 lustra a visão atual da ecoeficiência, confrontando-a com a visão tradicional do passado.



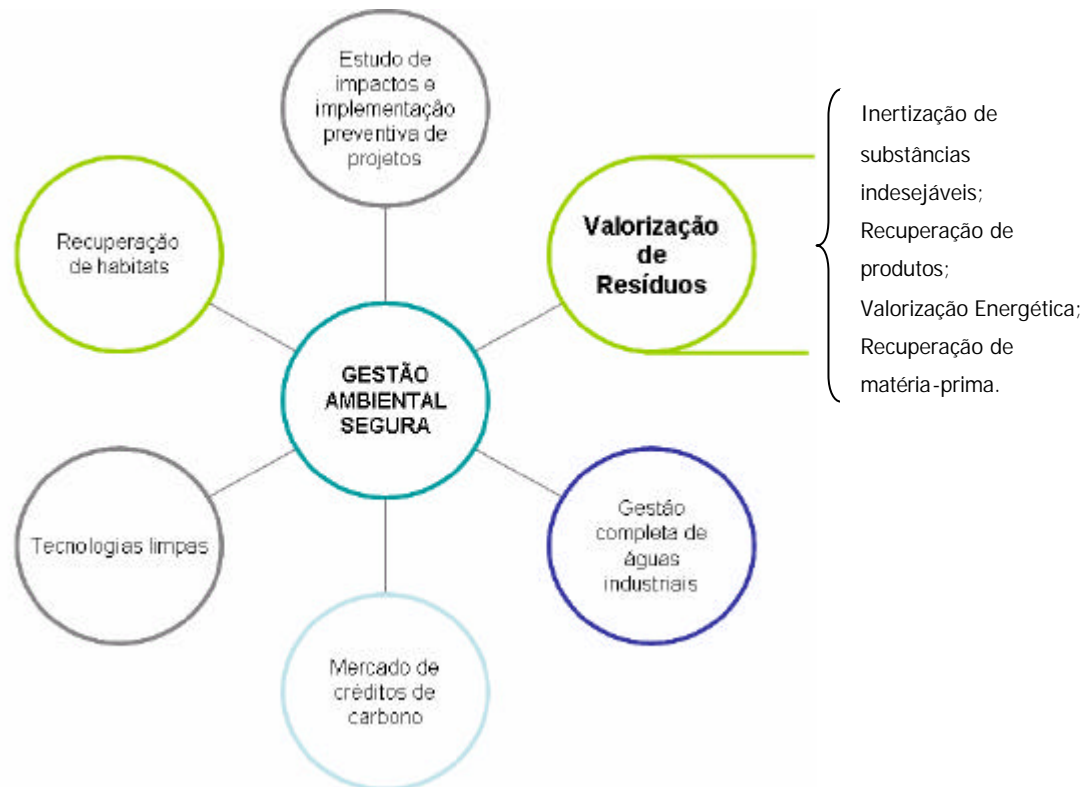
**Figura 5:** Abordagem atual na gestão de resíduos.  
 Fonte: Cetrel S.A. – Empresa de Proteção Ambiental, 2006.

Para que as indústrias consigam atingir seus objetivos e metas com relação aos resíduos gerados, são desenvolvidos e implantados os programas de Gestão Integrada de Resíduos que podem ser ilustrados de diversas formas, entre elas, conforme a Figura 6.



**Figura 6:** Visão da gestão integrada de resíduos.  
Fonte: Cetrel S.A. – Empresa de Proteção Ambiental, 2006.

Como observado anteriormente, as indústrias estão, cada vez mais, em seus programas de gerenciamento, valorando seus resíduos, dentro de uma lógica de gestão ambiental, conforme mostrado na Figura 7.



**Figura 7:** Demandas do mercado ambiental

Fonte: Cetrel S.A. – Empresa de Proteção Ambiental, 2006.

O programa de gerenciamento de resíduos sólidos, aliado aos princípios da ecoeficiência, define ações de controle de resíduos da indústria, procurando a sustentabilidade do seu gerenciamento, controlando os riscos, alternativas de minimização da geração aliados ao atendimento legal.

O plano deverá conter, inclusive, ilustrações na forma de planta de localização interna do empreendimento, onde constem os pontos de geração e armazenamento de resíduos, figuras, gráficos ou outros elementos, que possam ampliar a compreensão do plano.

O programa de gerenciamento de resíduos sólidos deverá ser estruturado em, no mínimo, três seções (COMPANHIA PERNAMBUCANA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2006):

- a) Identificação do empreendimento e responsabilidade pela elaboração e implantação do plano. Devem ser fornecidas informações detalhadas. Os Responsáveis Técnicos pela elaboração e Implantação do PGRS poderão ser empregados da empresa ou terceirizados, que possuam formação adequada (nível técnico ou superior) e compatível com a atividade da empresa, devidamente registrados em Conselho Profissional pertinente.
- b) Análise da geração dos resíduos industriais.
- c) Levantamento das informações de geração de resíduos. Esta Seção objetiva classificar, quantificar e indicar formas para a correta identificação e segregação na origem, dos resíduos gerados por área/unidade/setor da empresa. Envolve a identificação do processo ou atividade que deu origem a cada resíduo, bem como de seus constituintes e características e, ainda, uma comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias, cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido.

As substâncias e/ou elementos químicos a serem rastreados para fins de classificação dos resíduos serão identificados pelo gerador, com base no seu processo de produção, considerando, ainda, aqueles passíveis de serem formados em decorrência de reações químicas, inerentes ao processo produtivo, que são descartados juntamente com os resíduos.

A classificação dos resíduos, acima referida, deverá ser realizada de acordo com o Anexo II da Resolução CONAMA nº 313, e com base na norma NBR-10004:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Quando a indústria ainda não estiver em operação, a quantificação dos resíduos identificados deverá ser estimada com base na produção prevista e com base nas matérias-primas a serem utilizadas, ou em fatores de geração por tipologia industrial.

Quando a indústria estiver em operação, a informação sobre a quantificação deverá ser real, obtida através de medição por peso ou volume. Caso a indústria não possua histórico sobre a quantificação dos resíduos gerados, esta medição deverá ser feita por 7 (sete) dias consecutivos, tirando-se a média diária e projetando-se

uma média mensal (COMPANHIA PERNAMBUCANA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2006).

O encerramento do programa de gerenciamento de resíduos sólidos deverá contemplar, portanto, uma proposta para implantação de Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e/ou para a contínua melhoria do sistema existente, contendo a descrição dos procedimentos que estão sendo previstos, abordando os aspectos organizacionais, técnico-operacionais e de recursos humanos.

O responsável pela sistemática de gerenciamento dos resíduos na indústria deverá manter os registros atualizados da geração, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos para eventuais apresentações e controles diversos.

As empresas poderão ser solicitadas a informar as ações de educação ambiental e/ou os programas de treinamento/capacitação desenvolvidos para os profissionais envolvidos com os procedimentos de manuseio, coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final dos resíduos do programa de gerenciamento de resíduos sólidos.

### **4.3 Principais Tecnologias Aplicadas aos Resíduos da Siderurgia**

Em todo o mundo, diversos setores da sociedade têm intensificado ações em prol do desenvolvimento sustentável. Nesse cenário, as empresas vêm assumindo um papel cada vez mais notável, estimulando o desenvolvimento de iniciativas com vistas a preservar os recursos do Planeta e assegurar a perenidade de seus negócios. Esse movimento não se orienta apenas no sentido de cumprir a legislação ambiental.

Nos Estados Unidos, segundo Heenan (2005), em 2005, foi atingida a marca de 75 % de reciclagem de aço. Este número representa a refusão de cerca de 76 milhões de toneladas de aço.

Na Europa, a legislação ambiental pressiona as indústrias a desenvolverem alternativas próprias para tratamento de seus resíduos.

As medidas de redução podem ser direcionadas ao próprio processo produtivo ou ao pós-consumo. Assim, as empresas acabam por desenvolver produtos menos agressivos ao meio ambiente, priorizar embalagens com materiais de maior durabilidade ou recicláveis, regular máquinas e processos para a diminuição do consumo de energia e água, em uma lista infinita de ações que demandam criatividade, competência e, antes de tudo, um posicionamento estratégico claro no sentido de transformar projetos ambientais em marcas de sua cultura corporativa (HEENAN, 2005).

De maneira geral, países como a Alemanha, França, Itália, Suécia e Reino Unido diminuíram a destinação de seus resíduos sólidos para aterros ou incineração com recuperação de energia e ampliaram a participação da reciclagem (ver Tabela 6).

O Brasil evoluiu no índice de reciclagem de latas de aço para bebidas (de 78 % para 88 %) e o uso de sucata na produção de aço novo se manteve estável - equivalente a 26 % do total até 2004 (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM, 2006).

**Tabela 6:** Taxa de reciclagem de embalagens de aço.

PAÍSES	TAXA (%)
Brasil <sup>(1)</sup>	47
Estados Unidos <sup>(2)</sup>	70,7
Alemanha <sup>(2)</sup>	44,4
Portugal <sup>(2)</sup>	65
Espanha <sup>(3)</sup>	64
Finlândia <sup>(3)</sup>	50
Itália <sup>(3)</sup>	55
Noruega <sup>(3)</sup>	61

Fonte: (1): Compromisso e Empresarial para Reciclagem (2006); (2): Recycling International (2005); (3): Association of European Producers of Steel for Packaging (2004).



As grandes siderúrgicas nacionais estão buscando inovações tecnológicas para melhor gerenciamento ambiental em suas plantas.

A COSIPA, por exemplo, criou o PAC (projeto ambiental COSIPA). As Tabelas 7 e 8 mostram os objetivos principais em termos de redução da carga poluidora. Na Gerdau, suas usinas estão capacitadas com sistemas de despoejamento que filtram, com alta eficiência, as partículas sólidas e os gases gerados no processo de produção do aço, como mostra a Fotografia 2.

De modo geral, as principais tecnologias consolidadas que são empregadas para a recuperação / reciclagem de resíduos majoritariamente ferrosos incluem: classificação / concentração, blendagem / homogeneização, aglomeração, injeção, redução / fusão.

**Tabela 7:** Projetos típicos para controle da poluição atmosférica.

PROJETOS	SISTEMAS DE CONTROLE DE POLUIÇÃO	REDUÇÃO DA EMISSÃO DE MATERIAL PARTICULADO (kg/dia)
Despoeiramento Primário da Sínter 2	Precipitador Eletrostático	2.646
Despoeiramento Primário da Sínter 3	Precipitador Eletrostático	2.847
Controle de Poeiras Fugitivas	Sistema de Aspersão de Água	1.742
Máquina Enfornadora Selada das Baterias 1, 2 e 3 - 1ª máquina	Enfornamento Selado de Carvão	286
Máquina Enfornadora Selada das Baterias 1, 2 e 3 - 2ª máquina	Enfornamento Selado de Carvão	285
Despoeiramento do Desenfornamento das Baterias 1, 2 e 3	Filtro de Manga	4.322
Despoeiramento de Manuseio de Coque 2	Spray de Água com Tenso-Ativo	383
Despoeiramento da Casa de Silos do Alto Forno 1	Filtro de Manga	8.240
Despoeiramento das Casas de Corrida, Topo e Casas de Silos do Alto Forno 2	2 Filtros de Manga	16.954
Despoeiramento Secundário da Aciaria 1	2 Filtros de Manga	26.538
Despoeiramento Secundário da Aciaria 2	Filtro de Manga	10.859
Despoeiramento da Calcinação 2	Precipitador Eletrostático	21.982
Sobremetal - Controle Ambiental	4 Sistemas de Spray de Água e 1 Filtro de Manga	4.204
Despoeiramento do Forno Elétrico, Furação de Assentos e Transferência de Gusa	Filtro Manga	602
Despoeiramento da Correia 9.15, da Calcinação Nº 3	Interligação a Filtro de Manga Existente	-
Despoeiramento da Bica Basculante das Casas de Corrida do Alto-Forno 1	Interligação a Filtro de Manga Existente	-
Carga Poluidora Total Estimada	-	101.890

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

**Tabela 8:** Projetos típicos para controle da poluição hídrica.

Projetos	Sistemas de Tratamento	Redução da Carga Poluidora (kg/dia)					
		DBO	Mn	Material Sedimentado	CN	NH <sub>3</sub>	Óleos e Graxas
Tratamento de Efluentes Contaminados da Coqueria	Coleta e Recirculação dos Vazamentos	-	-	-	-	123	8
Tratamento de Cianeto (CN) e Amônia (NH <sub>3</sub> )	Redução de Vazão Tratamento CN e NH <sub>3</sub>	4	-	-	10 5	2036 1051	79 24
Drenagem e Fechamento da Área de Manuseio de Carvão	Caixas de Decantação	-	-	134	-	-	-
Efluentes do Poço de Escória Bruta	Recirculação	-	1,2	-	-	2,7	-
Sobremetal	Decantação e Recirculação	-	0,2	48	-	-	-
Tratamento dos Efluentes das Desgaseificações	Oxidação, Decantação e Recirculação	-	33	-	-	-	-
Estação de Tratamento e Recirculação das Águas das Laminações	Decantação, Flocculação, Filtração e Recirculação	-	9	39	-	-	5.323
Tratamento de Efluentes Domésticos	Biológico	756	-	-	-	-	-
<b>Carga Poluidora Total Estimada</b>		<b>760</b>	<b>43,4</b>	<b>221</b>	<b>15</b>	<b>3.237</b>	<b>5.434</b>

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

**Fotografia 2:** Despoeirador de usina siderúrgica.

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

A Figura 8 ilustra esquematicamente o gerenciamento de resíduos na indústria siderúrgica, enquanto que as Fotografias 3 e 4 mostram exemplos de resíduos processados.



**Figura 8:** Gestão de resíduos siderúrgicos.

Fonte: Associação Brasileira de Metais e Metalurgia, 2006.



Briquetes (refrigerantes)



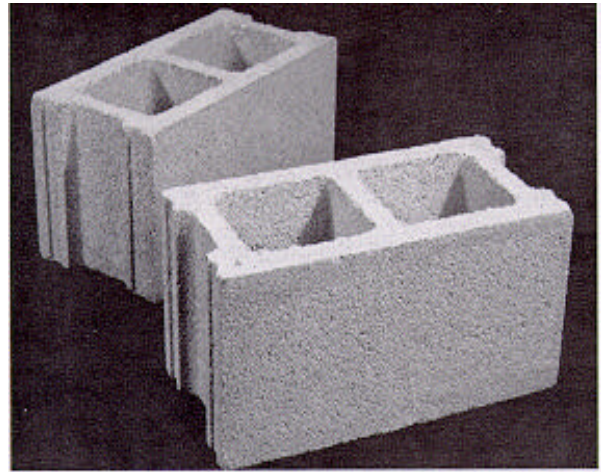
Micro-pelotas (fonte de ferro e cal)

**Fotografia 3:** Exemplos de resíduos siderúrgicos processados.

Fonte: Associação Brasileira de Metais e Metalurgia, 2006.



Escória utilizada em agregados naturais



Escória utilizada em blocos não-estruturais

**Fotografia 4:** Exemplos de aplicação de resíduos siderúrgicos.

Fonte: Associação Brasileira de Metais e Metalurgia, 2006.

Os benefícios associados à recuperação / reciclagem de resíduos, dependendo da aplicação, incluem:

- a) Preservação de recursos naturais;

- b) Conservação de energia;
- c) Redução na geração de gases de efeito estufa;
- d) Economia de espaços em sua disposição em aterros industriais.

Vários tipos de reuso têm sido citados na literatura, conforme a seguir descritos.

#### **4.3.1 Aplicações na agricultura**

Melloni (2001) descreveu o efeito do uso de pó de forno de aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja. Segundo esse autor, devido à grande produção de resíduos de siderurgia, o pó do forno da aciaria elétrica tem sido indicado para utilização na agricultura, como fonte alternativa de micronutrientes.

A pesquisa de Melloni (2001) teve o objetivo de avaliar o efeito da aplicação do pó na microbiota de solos e sua potencialidade no fornecimento de micronutrientes à soja.

Há respostas diferenciadas das comunidades microbianas dos solos LVA e LV ao resíduo de siderurgia aplicado, e essas comunidades demonstram maior sensibilidade ao efeito do resíduo de siderurgia do que os parâmetros de crescimento e nodulação da soja. O autor concluiu que o resíduo de siderurgia apresenta potencial de utilização como fonte de Zn (zinco) à cultura da soja em relação ao LVA (Latosolo Vermelho-Amarelo) e LV (Latosolo Vermelho).

Prado (2003) efetuou trabalho cujo objetivo foi avaliar o efeito da escória de siderurgia e calcário na concentração do fósforo disponível em um Latossolo Vermelho-Amarelo, cultivado com cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), em Ituverava, SP.

O efeito linear da escória de siderurgia no fósforo disponível do solo, em contraste com a ausência de relação quando se aplicou calcário, sugere que o efeito positivo da escória de siderurgia se deve mais ao fato do silicato, de saturar os sítios de adsorção de fósforo, do que ao efeito de aumento do pH.

A reação ácida e as baixas concentrações de fósforo disponíveis em solos tropicais limitam a produtividade das culturas. Portanto, estes solos requerem altas quantidades de fertilizantes fosfatados para manter a produtividade das culturas em níveis economicamente sustentáveis.

Uma das fontes mais abundantes e de baixo custo dos silicatos no Brasil é a escória de siderurgia, resíduo da fabricação do ferro-gusa e do aço, constituída quimicamente de um silicato de cálcio.

A aplicação da escória de siderurgia incrementou os níveis de fósforo disponível do solo, de maneira linear ( $P < 0,05$ ), ao passo que a aplicação do calcário não apresentou uma relação significativa, tanto aos 12 como aos 24 meses após a aplicação.

Os resultados sugerem que o efeito da escória de siderurgia no fósforo disponível do solo se deve mais ao efeito do silicato do que ao efeito do pH. Portanto, o uso agrônômico da escória de siderurgia pode contribuir para aumentar a eficiência da adubação fosfatada em solos semelhantes ao estudado, com reflexo na produtividade das culturas.

O efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar também foi estudado por Prado (2003). A escória de siderurgia, como material corretivo e efeito residual prolongado, pode beneficiar culturas de ciclo longo, a exemplo da cana-de-açúcar, minimizando a queda de produção ao longo do ciclo produtivo, segundo Prado (2003).

Este trabalho objetivou avaliar diferentes níveis de saturação por bases, utilizando, como corretivo do solo, a escória de siderurgia, comparando-a com calcário calcítico, nas alterações de alguns atributos químicos do solo, bem como na resposta da soqueira da cana-de-açúcar.

Saliente-se que a escória de siderurgia é, atualmente, pouco usada na agricultura brasileira, contrariamente ao que ocorre nos Estados Unidos, Japão e China. Na literatura nacional, existem alguns trabalhos que tratam do uso desse resíduo como corretivo de acidez e sua relação com a resposta das culturas, especialmente as anuais, como arroz, sorgo e milho.

A cana-de-açúcar apresenta considerável potencial de resposta quanto à produção de açúcar e álcool, a partir do uso da escória de siderurgia, a exemplo do que ocorre na região da Flórida nos Estados Unidos (ELAWAD et al., 1982; ANDERSON et al., 1987; ANDERSON et al., 1991). Além dos benefícios às culturas, existe a possibilidade da reciclagem de grande parte desse resíduo, contribuindo para diminuir os problemas ambientais de acúmulo desse material.

A utilização agrícola de resíduos industriais como fertilizantes decorre da necessidade de diminuir o efeito nocivo do acúmulo de nutrientes nos centros de produção. O objetivo do trabalho de Pupattol et al. (2003) foi avaliar os efeitos de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade do arroz de terras altas, irrigadas por aspersão. A utilização de escória melhorou a condição química do solo, aumentou o crescimento e a superfície radicular, diminuiu o diâmetro das raízes e elevou os teores de silício no solo e na planta, resultando em aumento da produtividade.

As melhorias nas características químicas do solo, pela utilização de escórias, decorrem da ação neutralizante do  $\text{SiO}_3^{2-}$ , e, conseqüentemente, da elevação do pH e dos teores de Ca (cálcio) e Mg (magnésio).

A presença de Ca na solução em contato com as raízes é essencial para a sobrevivência destas, pois esse nutriente não se transloca da parte aérea para as porções novas das raízes em crescimento (CAIRES et al., 2001). Além disso, o Ca é essencial para manter a integridade estrutural das membranas e das paredes celulares (MALAVOLTA et al., 1997).

Elemento benéfico para as plantas, o Si aumenta a resistência às doenças, melhora o aproveitamento da água e aumenta a fotossíntese e a produtividade, principalmente em espécies acumuladoras desse elemento, como o arroz e cana-de-açúcar.

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 1998/1999, na Fazenda Experimental São Manuel, localizada no Município de São Manuel, pertencente à Universidade Estadual Paulista (UNESP) - Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Campus de Botucatu, SP.



O aumento nas doses de escória proporcionou aumentos significativos nos valores de pH, Ca, Mg e Si e redução na acidez potencial ( $H^+Al$ ). O aumento do valor de pH está relacionado ao poder neutralizante da base  $SiO_3^{2-}$ , presente no material utilizado.

À medida que as doses de escória foram aumentadas, houve redução da acidez potencial ( $H^+Al$ ), causada pela elevação do pH gerado pela reação da base  $SiO_3^{2-}$  no solo, que reduziu o  $H^+$  presente na solução do solo. A contínua remoção de  $H^+$  da solução do solo conduz também à precipitação do íon  $Al^{3+}$  na forma de  $Al(OH)_3$ .

O uso da escória proporcionou os menores valores de diâmetro radicular até a profundidade de 20 cm, sendo a diferença a partir desta profundidade menos acentuada.

A utilização de escória de alto forno, por meio da melhoria das condições químicas do solo, propicia aumento do comprimento e superfície radicular e redução do diâmetro radicular.

Altafin et al. (2003) avaliaram a possibilidade de reaproveitamento do lodo de fosfatização gerado a partir do processo industrial de fosfatização de pistões na Mahle Metal Leve S.A., de Mogi Guaçu, Estado de São Paulo, para produção de mudas de espécies nativas utilizadas em reflorestamento (ver Tabela 9).

O experimento foi instalado no viveiro e na estufa da área de fisiologia vegetal do CREUPI - Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - SP. As espécies nativas avaliadas foram a mirindiba-rosa (*Lafoensia glyptocarpa*), paineira (*Chorisia speciosa*) e aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*). O crescimento das plantas foi avaliado pela determinação da massa de matéria fresca e da massa de matéria seca.

O substrato composto pela mistura de lodo de fosfatização e areia foi eficiente para o desenvolvimento das sementes das espécies mirindiba-rosa, paineira e aroeira-pimenteira.

**Tabela 9:** Características químicas do lodo de fosfatização da Mahle Metal Leve S.A., em maio de 2002.

PARÂMETROS	RESULTADO (mg/kg)
Arsênio	< 0,5
Bário	15,6
Cádmio	2,42
Cloro residual	< 1,0
Chumbo	13,4
Cianetos	< 0,5
Cobre	13,4
Cromo total	2,78
Fluoreto	7,47
Manganês total	573
Mercúrio	< 0,5
Nitratos	26,3
Prata	< 0,5
Selênio	< 0,5
Zinco	71,1

Fonte: ALTAFIN et al., 2003.

Os embriões, na fase de germinação, utilizaram as reservas das sementes para seu desenvolvimento inicial. Quando as raízes iniciaram o seu crescimento e exploraram o substrato contendo areia e lodo de fosfatização, houve um incremento de massa de matéria seca, permitindo uma diferenciação adequada da parte aérea e do sistema radicular. Na fase seguinte do ensaio, a partir do transplantio, foi avaliada a evolução do crescimento das plantas por meio da determinação da massa de matéria fresca (MMF) e da massa de matéria seca (MMS) das plantas.

O lodo de fosfatização da indústria de autopeças possui alto potencial para utilização em cultivos protegidos, mas se fazem necessários mais estudos para dimensionar a dosagem adequada desse resíduo para ser utilizado como fonte de nutrientes por espécies nativas. O desempenho da espécie nativa aroeira pimenteira foi superior ao das demais espécies analisadas, em todas as condições testadas no presente ensaio.

### **4.3.2 Produção de peças cerâmicas**

O beneficiamento de ferro gusa no município de Marabá - PA, de acordo com Oliveira et al. (2006), produz uma grande quantidade de resíduo denominado de escória, o qual possui características interessantes para a indústria cerâmica, como sua composição química, sua elevada resistividade pós queima e pequena retração.

Foram confeccionados, por extrusão, corpos cerâmicos a partir de uma mistura de argila e escória, nas proporções de 50 - 50 % e 60 - 40 %, respectivamente, para se analisar a cinética de secagem. As características físicas e mecânicas também foram observadas.

Concluiu-se que, utilizando escória homogeneizada, desde que em proporção ideal e queimada em temperatura adequada; as tensões de ruptura e a absorção de água obtidas atendem aos valores recomendados pelas normas brasileiras e que a adição da escória à argila contribuiu potencialmente para controle da retração.

Constatou-se que com a adição desse resíduo na mistura obtêm-se produtos de boa qualidade.

### **4.3.3 Co-processamento em cimenteiras**

A empresa SILCON Ambiental (SILCON, 2006), atualmente, vem desenvolvendo trabalho visando a dosagem (utilização) do lodo, proveniente das estações de tratamento de efluentes, com outros resíduos de maior poder calorífico, de modo a que seja possível utilizá-lo como matéria-prima em fornos de cimento.

#### 4.3.4 Resíduo oriundo do forno elétrico

Ainda citando as cimenteiras como um bom receptor de resíduos da indústria do aço, estudos indicam o uso do resíduo oriundo do forno elétrico com a avaliação da influência da adição de cal hidratada a este novo cimento.

Existem técnicas siderúrgicas que permitem aglomerar finos de minério de ferro ou, no caso, o pó oriundo do forno elétrico, como o processo de pelletização para facilitar e possibilitar o seu uso.

Procurando obter um material alternativo para a construção civil, este estudo determinou, inicialmente, dois teores de cimento e resíduo do forno elétrico bem diferenciados (90 % - 10 % e 60 % - 40 %), na tentativa de se identificar os limites superior e inferior das misturas.

Após vários ensaios, alguns dos resultados obtidos de ensaios físicos (BARBOSA et al., 1993) foram os seguintes:

- a) Aumento da finura do cimento que resulta numa melhoria da trabalhabilidade das argamassas;
- b) Aceleração das reações químicas iniciais para o enrijecimento da pasta;
- c) Aumento da resistência à compressão com o tempo de cura dos corpos de prova.

Segundo os pesquisadores (BARBOSA et al., 1993), com base nos estudos realizados, é viável a adição do resíduo oriundo do forno elétrico ao cimento testado, sugerindo também o uso deste cimento alternativo em argamassas, blocos de concreto, peças pré-moldadas para pavimentação, dentre outros.

#### 4.3.5 Lama de aciaria

Outra destinação de resíduo estudada e trabalhada é o aproveitamento da lama de aciaria, na sinterização da Belgo Mineira, via misturador (LAMAS et al., 1994).

Este trabalho mostra uma alternativa para o aproveitamento interno deste resíduo.

Os ensaios mostraram aspectos positivos em termos de produtividade, consumo de combustível e redutibilidade do sinter, isto com a utilização da lama diretamente na sinterização, via misturador.

Industrialmente, tem-se notado a influência da lama na permeabilidade da mistura. Devido ao seu poder aglomerante, principalmente, no caso em questão, onde o minério de ferro é muito fino. Outras conclusões a serem consideradas (LAMAS et al., 1994):

- a) Quanto aos aspectos de manuseio e controle ambiental, a alternativa escolhida atendeu à expectativa;
- b) A lama de aciaria, devido ao seu poder de aglomeração a frio, tem influência benéfica na permeabilidade da mistura;
- c) A composição química do sinter praticamente não se altera com a lama usada diretamente no misturador da sinterização;
- d) Os desgastes das válvulas e dos *sprays* são excessivos. Estudos e pesquisas precisam ser realizados.

#### 4.3.6 Escória

Na produção do aço líquido, vários tipos de escória podem ser gerados de acordo com o processo de fabricação. Uma taxa aproximada da geração deste resíduo é de 140 Kg/t de aço fabricado (ABREU et al, 1994).

A escória da aciaria vem acompanhada por um alto teor de ferro. Basicamente a escória de aciaria é uma pedra que pode ser usada na forma natural ou britada e selecionada. Conforme sua utilização, ela deve ser previamente estabilizada.

A escória tem sido utilizada das seguintes formas:

- a) Como revestimento primário para estradas vicinais;
- b) Como agregado para massa asfáltica.

A escória de aciaria por ter alto peso específico (na ordem de  $35 \text{ kN/m}^3$ ), confere grande estabilidade ao revestimento.

Segundo o autor (ABREU et al., 1994), essa sistemática pode ser utilizada por qualquer siderurgia desde que se façam os devidos ajustes de processo.

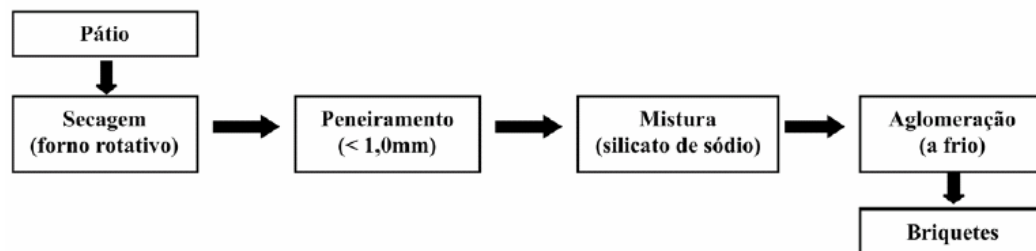
#### **4.3.7 Pelotas auto-redutoras**

Durante a fabricação do aço em fornos elétricos, 1 a 2 % da carga total dos fornos é convertida, depois de coletada nos filtros manga. Estudou-se então o uso de pelotas auto-redutoras deste resíduo nos processos de auto-redução da aciaria.

Após diversos ensaios, uma das conclusões obtidas foi que este resíduo pode ser aproveitado pelos processos de auto-redução para produção de ferro primário e para concentração de zinco, principalmente em fornos de soleira rotativa, pois este reator consegue explorar e levar em conta as principais características das pelotas auto-redutoras compostas pelo resíduo da aciaria elétrica (MANTOVANI et al., 1996).

#### 4.3.8 Carepa de ferro

O uso industrial da carepa de ferro beneficiada está sendo cada vez mais estudado segundo Martins et al. (2006), mas ainda não viabilizado industrialmente. Esta carepa passaria por um processo de briquetagem que possibilita sua aglomeração com a formação de briquetes, com tamanho e parâmetros mecânicos mais adequados ao seu segmento e aplicação conforme Figura 9.



**Figura 9:** Beneficiamento da carepa de ferro.

Fonte: MARTINS et al., 2006.

#### 4.3.9 Borra de fosfato

O resíduo denominado borra de fosfato é gerado nas siderúrgicas e também por diversos tipos de indústrias cujo processo produtivo apresenta pintura em superfícies metálicas, especificamente na etapa denominada fosfatização. Alguns trabalhos de reaproveitamento da borra de fosfato, por meio de sua utilização como matéria-prima alternativa para a fabricação de blocos cerâmicos (tijolos) estão sendo desenvolvidos, visando reduzir os custos e prejuízos ambientais relativos à disposição final deste resíduo, além de reduzir os impactos ambientais negativos decorrentes da extração de matérias-primas diretamente do meio ambiente (GIFFONI, 2005).

Este resíduo, proveniente dos processos de pintura é tratado em processos como o de resina de troca iônica.

Algumas aplicações para a borra de fosfato têm sido estudadas, como a fabricação de fertilizantes ou para a composição de asfalto e agregados da construção civil. A construção civil é um ramo da atividade tecnológica que, pelo volume de recursos naturais consumidos, pode ser largamente indicado para absorver resíduos sólidos (GIFFONI, 2005).

O comportamento da borra adicionada como matéria-prima no processo de produção do clínquer de cimento Portland com vista ao co-processamento deste resíduo e a avaliação do clínquer produzido do ponto de vista da sua interação com o meio ambiente foram estudados por Caponero (1999). Os resultados desta pesquisa mostraram não haver comprometimento do processo de clinquerização para adições de até 7 % do resíduo à farinha (matéria-prima convencional), tendo sido observado basicamente o aumento do teor de zinco na mesma. A avaliação da toxicidade mostrou, ainda, que o clínquer produzido utilizando-se borra de fosfato não apresenta riscos ao meio ambiente.

Deste modo, tendo em vista a importância de incentivar a reciclagem deste tipo de resíduo, por exemplo, em setores cerâmicos, que englobam em grande parte a construção civil, pode contribuir para diversificar a oferta de matérias-primas para produção de componentes cerâmicos e reduzir os custos da construção civil, o que é de vital importância, principalmente em um país com elevado déficit habitacional como o Brasil. Dentre os produtos fabricados pela indústria de cerâmica vermelha, destacam-se os blocos cerâmicos (tijolos), telhas, lajotas para piso e forro e tubos cerâmicos.

Diversos estudos para o reaproveitamento de resíduos industriais na indústria cerâmica, sobretudo para a fabricação de tijolos, já foram realizados com sucesso, podendo-se citar a utilização de lamas de estações de tratamento de efluentes, cinzas de usinas hidrelétricas, areias de fundição, refugos de mineração, escórias de fornos, resíduos de serragem de granito, entre outros (GIFFONI, 2005).

As análises físico-químicas da borra de fosfato gerada na Fiat indicaram que se trata de um resíduo Classe II - A (não-perigoso e não-inerte), que possui como



principais constituintes o ferro, o zinco e o níquel, em função do ataque na superfície metálica das carrocerias e da constituição da mistura ácida do tanque de fosfatização.

De acordo com as análises realizadas nos ensaios em escala de laboratório e em escala industrial (teste de queima), concluiu-se que a utilização do resíduo borra de fosfato para a fabricação de tijolos é recomendada em uma proporção de até 10% do resíduo em relação à argila (GIFFONI, 2005) e ainda que os resultados obtidos indicam que o tijolo contendo 10 % de borra de fosfato não pode ser considerado inerte pelas normas atualmente em vigor, mas tampouco possui características que o tornam perigoso do ponto de vista ambiental.

#### **4.3.10 Lodo galvânico**

Pela implantação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos dentro de uma indústria galvanotécnica, foi possível identificar, quantificar e minimizar o volume dos resíduos gerados e destiná-los para locais apropriados, conforme descreve Borgo (2005). Dentre os resíduos gerados, os que foram considerados tóxicos, receberam um estudo diferenciado com o objetivo de encontrar meios de reusá-los ou mantê-los em uma forma mais segura na sua disposição final.

Foi então desenvolvido um novo tipo de cerâmica baseado nestes resíduos de processo galvânico, lodo de galvanização eletrolítica e poeira de vidro, combinados com areia de fundição e argila natural. Todos esses quatro elementos são misturados em proporções de peso mais ou menos equivalentes. A composição obtida com esta mistura de resíduos e argila permitiu obter uma alta resistência à flexão, baixos valores para absorção de água, além de baixos níveis de lixiviação (bem abaixo dos padrões), alta resistência química em meios alcalinos e ácidos das novas cerâmicas permite seu uso para fabricação de tijolos e revestimento de pisos, prioritariamente destinados para indústrias químicas. Além disto, os fatores

econômicos da eliminação total do resíduo galvânico são aspectos fortes e vantajosos para a utilização da nova cerâmica.

Os resultados do trabalho de Borgo (2005) mostram que:

- a) Os resíduos da indústria galvânica, com altos teores de metais pesados como chumbo e outros (aproximadamente 52 % em peso), podem ser usados como matéria-prima na quantidade 40 a 45 % para a produção de novas cerâmicas ambientalmente seguras, como tijolos, revestimentos de pisos e outros.
- b) Os resultados obtidos a partir da investigação da cerâmica produzida demonstram uma alta resistência à ruptura a flexão, a qual pode ser explicada pela destruição de estruturas cristalinas da matéria-prima e da transformação parcial de substâncias cristalinas em estruturas amorfas, bastante visíveis na microscopia eletrônica de varredura.
- c) A transformação em materiais vítreos justifica a baixa lixiviação e solubilização dos metais pesados obtidos nos testes das cerâmicas (até 100 vezes menos do que os limites padrão).
- d) Os materiais desenvolvidos são economicamente atrativos devido à utilização de resíduos industriais na produção de materiais de construção. Uma considerável redução de custos é possível devido ao baixo custo das matérias-primas – resíduos industriais; grandes benefícios adicionais esperados devido ao pagamento, por parte das indústrias, pela destinação final de resíduos através da utilização na fabricação de cerâmicas.
- e) A ampla escala de usos do método é ambientalmente efetiva, pois propõe o uso do resíduo industrial, que representa uma ameaça de contaminação ao ambiente e também reduz a necessidade de extração de matérias-primas para a produção de materiais de construção.

#### **4.3.11 Remoção de metais pesados por eletroflotação**

O tratamento de efluentes líquidos que contém metais pesados tem sido objeto de freqüentes estudos que visam viabilizar tecnicamente algumas operações unitárias já conhecidas. Uma dessas técnicas é flotação. Esta técnica pode ser aplicada no tratamento de efluentes líquidos contendo metais pesados como sendo uma etapa terciária ou de polimento, que vem se apresentando como uma alternativa tecnicamente viável e que apresenta uma série de variações técnicas adaptáveis às mais diversas situações físico-químicas, conforme Torem et al. (2005).

A geração de diminutas bolhas de ar por via eletrolítica tem sido objeto de detalhado estudo e os resultados apresentados confirmam a eficiência da técnica e sua potencial aplicação industrial.

Em ensaios exploratórios, descritos por Casqueira et al. (2004), foi testada a eficiência da eletroflotação, utilizando-se eletrodos de platina e aço inoxidável, etanol como espumante e dodecilsulfato de sódio como coletor, para efluentes contendo zinco e/ou cádmio. Os resultados experimentais mostraram a eficiência da técnica onde foram alcançadas remoções máximas de cádmio e zinco iguais a 89 % e 93 % respectivamente.

## 5 RESULTADOS

No cenário siderúrgico estudado, em cada uma das 3 unidades da indústria do estudo de caso, uma série de resíduos está presente, os quais são destinados de forma a atender a legislação em vigor com relação ao certificado de aprovação de destinação de resíduos industriais e relatórios gerenciais. Entretanto, pela necessidade de focar e obter uma pesquisa bibliográfica mais rica em detalhes, 4 (quatro) destes resíduos foram selecionados em 3 critérios:

- a) Volume gerado mensalmente no cenário;
- b) Custos de tratamento e/ou destinação destes resíduos;
- c) Periculosidade em termos de classificação de acordo com a NBR 10004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004).

A Tabela 10 descreve a forma de geração de cada um dos 4 (quatro) resíduos do estudo de caso. As Figuras 10, 11, 12 e 13 auxiliam no entendimento do processo produtivo pertencente a cada um deles.

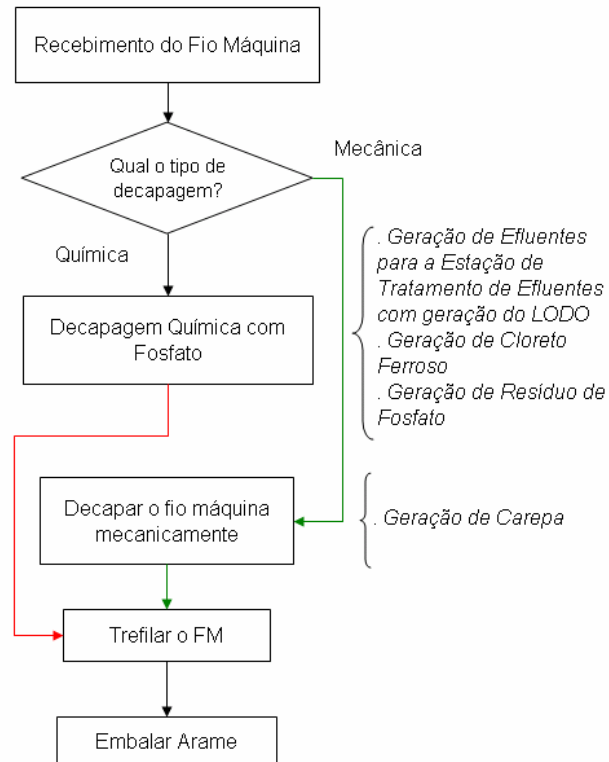
Este capítulo, portanto, apresenta a descrição detalhada do estudo de caso tratado nesta pesquisa com relação à otimização da gestão dos resíduos:

- a) Carepa de ferro da trefila de arames de aço, da laminação de barras de aço e da laminação de fio máquina para solda;
- b) Lodo da estação de tratamento de efluentes;
- c) Cloreto ferroso da decapagem química do fio-máquina e
- d) Borra de fosfato da decapagem química do fio-máquina para produção de arames e cordoalhas.

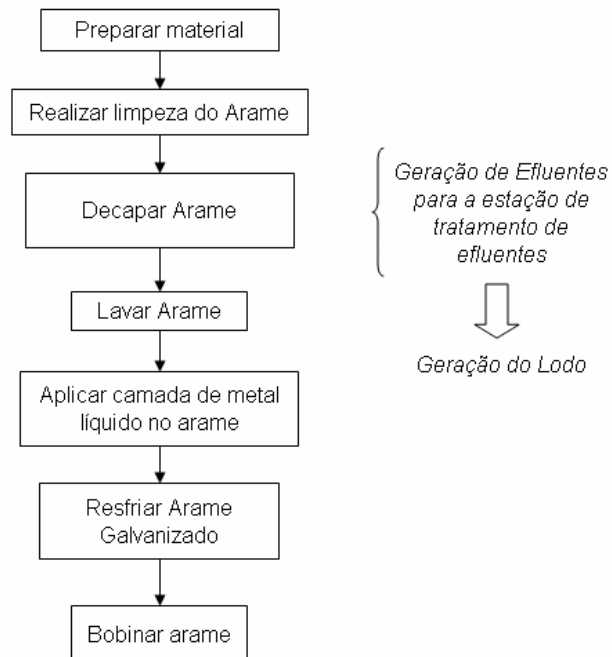
**Tabela 10:** Geração dos resíduos siderúrgicos estudados.

RESÍDUO	FORMA DE GERAÇÃO NO ESTUDO DE CASO	ACONDICIONAMENTO INTERNO TEMPORÁRIO
Carepa de ferro	Do processo de laminação de barras pré-aquecidas de ferro para a produção de perfis e vergalhões, do processo de trefila do fiação para a produção de cabos e cordoalhas e do processo de laminação do fiação para posterior soldagem e produção de telas e treliças.	Em pátios devidamente construídos para este fim ou em big bags e estes, armazenados em galpões próprios até a sua destinação final.
Cloreto ferroso	Pela saturação do banho de ácido clorídrico dentro da seqüência de decapagem química do fiação anteriormente ao processo de trefila do mesmo.	Na própria linha de decapagem (no próprio tanque) até a sua retirada para destinação final. A seqüência de banhos está localizada em uma área especialmente construída com relação a barreiras de contenção, ligações diretas para a estação de tratamento de efluentes industriais e sistemas de lavagem de gases ácidos.
Borra de fosfato	Pela saturação do banho de fosfato e aditivos dentro da seqüência de decapagem química do fiação anteriormente ao processo de trefila do mesmo.	Na própria linha de decapagem (no próprio tanque) até a sua retirada para destinação final. A seqüência de banhos está localizada em uma área especialmente construída com relação a barreiras de contenção, ligações diretas para a estação de tratamento de efluentes industriais e sistemas de lavagem de gases ácidos.
Lodo da estação de tratamento de efluentes	Proveniente do tratamento de efluentes industriais, ou seja, de todos os descartes da linha de decapagem química de fiação e da galvanização do material trefilado.	Na própria estação de tratamento de efluentes até complemento do nível de estoque da caçamba e envio ao destino final. Este acondicionamento temporário é feito em local devidamente construído para este fim e abaixo do filtro prensa, que permite a retirada da maior parte de água contida do material, reduzindo o seu volume.

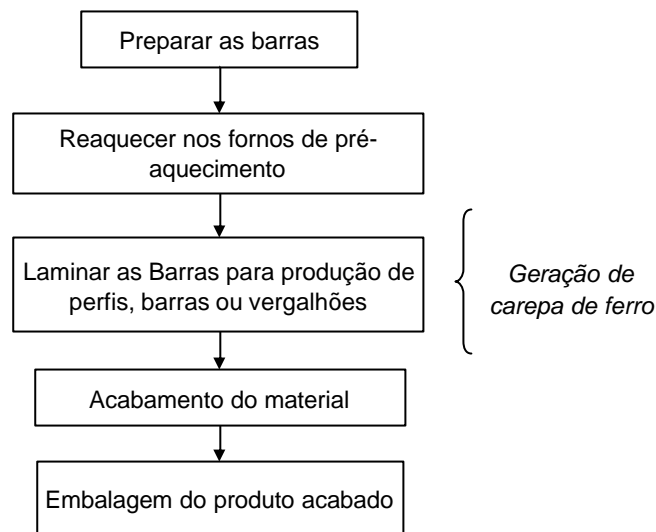
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.



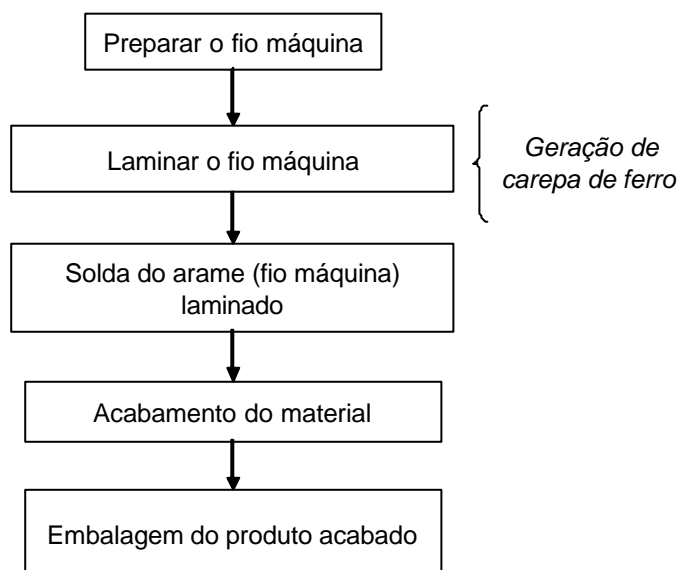
**Figura 10:** Fluxograma de processo de trefila de arames.  
 Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.



**Figura 11:** Fluxograma de processo de galvanização de arames.  
 Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.



**Figura 12:** Fluxograma de processo de laminação de barras de aço.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.



**Figura 13:** Fluxograma de processo de laminação de arame para solda.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

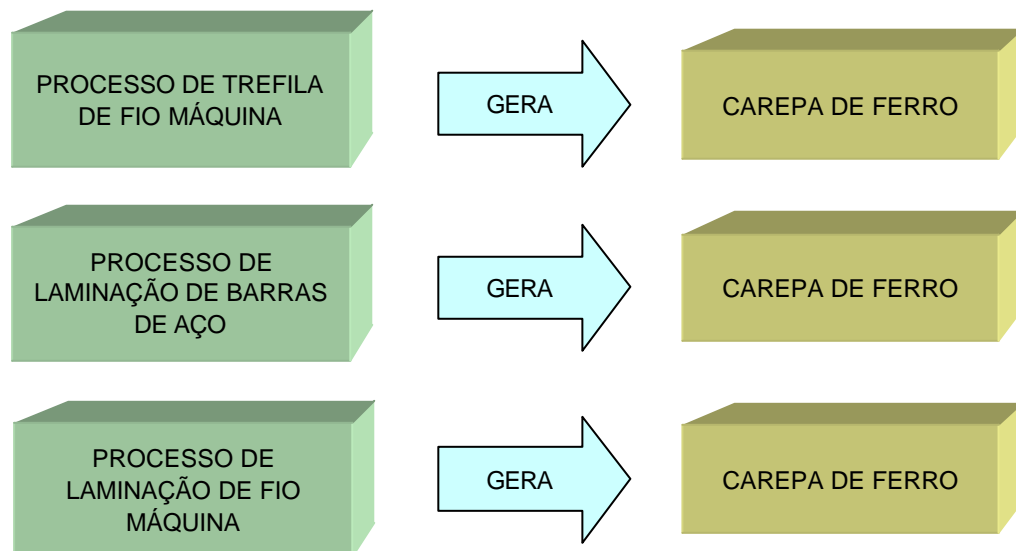
Em termos de geração de resíduos, segundo a Associação Brasileira de Metais e Metalurgia (2006), para cada 1 t de aço produzido, são gerados cerca de 600 kg de resíduos diversos. Outras taxas de geração:

- a) Escória de alto forno: 270 kg/t;

- b) Escória de LD: 100 kg/t;
- c) Pós e lamas: 60 kg/t;
- d) Carepas: 10 kg/t;
- e) Finos de coque: 15 kg/t;
- f) Outros resíduos: 140 kg/t;
- g) Cloreto ferroso: 30 litros de solução saturada/t;
- h) Borra de fosfato: 3 litros de solução saturada/t.

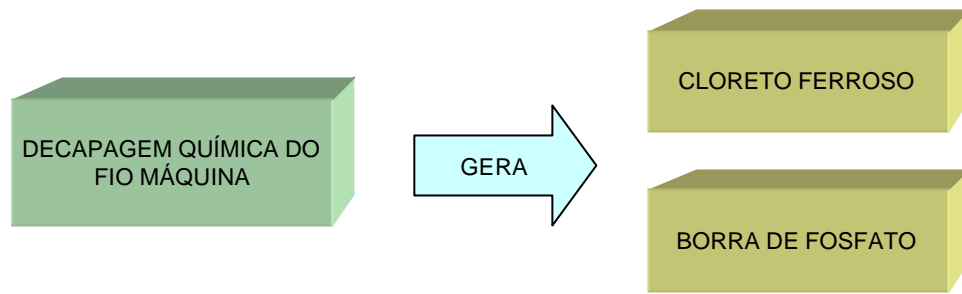
### 5.1 Detalhamento dos Resíduos Seleccionados

As Figuras 14, 15 e 16 estabelecem de forma resumida os processos que dão origem aos resíduos deste estudo de caso.

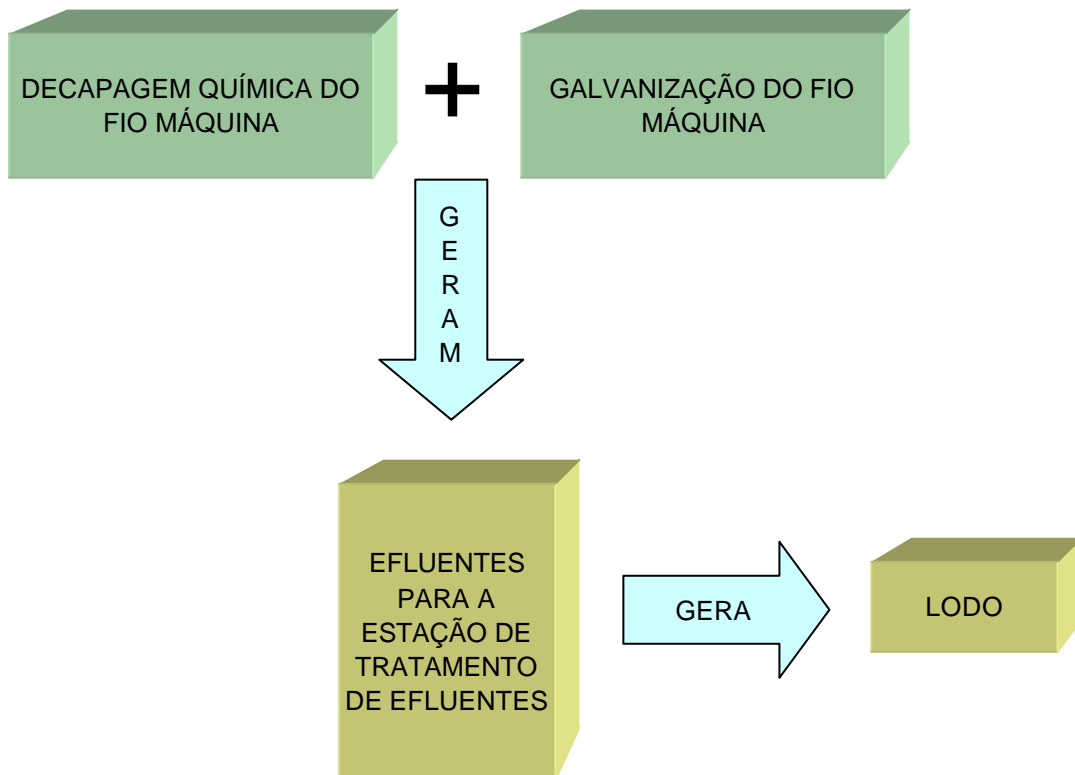


**Figura 44:** Carepa de ferro e seus processos geradores.  
Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.





**Figura 15:** Cloreto ferroso e borra de fosfato com seu processo gerador.  
 Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.



**Figura 16:** Lodo e seus processos geradores.  
 Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

A Tabela 11 apresenta as principais características dos 4 resíduos abordados nesta pesquisa, inclusive, aspectos de sua destinação. A Tabela 12 apresenta uma estimativa de custos para a destinação dos resíduos estudados detalhados nos itens a seguir.

**Tabela 11:** Principais características dos resíduos siderúrgicos estudados.

RESÍDUO	CLASSE	NORMAS DE REFERÊNCIA DE CARACTERIZAÇÃO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE COMPOSIÇÃO	POSSIBILIDADES DE DESTINO
Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes	I - Perigoso	Caracterização pela NBR 10004, ensaios conforme NBR 10005 e 10006 e amostragem conforme NBR 10007	Sólido pastoso composto de, entre outros, chumbo, manganês, ferro, zinco, cobre e níquel	Reciclagem, co-processamento ou disposição em aterro para resíduo classe I
Borra de Fosfato	I - Tóxico e Corrosivo		Líquido pastoso com pH abaixo de 2,0. Composto de, entre outros, fluoretos	Reciclagem, reaproveitamento ou co-processamento
Cloreto Ferroso	I - Corrosivo		Líquido com pH abaixo de 2,0. Composto de, entre outros, ferro solúvel	Reciclagem, reaproveitamento ou co-processamento
Carepa de Ferro	II A - Não-Perigoso e Não-Inerte		Sólido granulado fino, composto, principalmente, de ferro	Co-processamento, reaproveitamento ou aterro industrial para resíduo classe II A

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

### 5.1.1 Carepa de ferro

Carepa é um co-produto oriundo da oxidação da superfície do aço, quando submetido ao gradiente térmico ou à simples ação do tempo. No ramo siderúrgico, provém, basicamente, das operações de lingotamento contínuo e laminação.

Carepas são óxidos de ferro, cuja disposição, em pátios de resíduos deve ser realizada seguindo-se as normas ambientais pertinentes, visto que podem ser classificadas como resíduos não-perigosos e não-inertes (Classe II A, NBR 10004:2004). Entretanto, há poucos estudos no sentido de se viabilizar sua reciclagem, agregando valor ao co-produto em questão. Nesse sentido, operações unitárias de secagem, peneiramento e briquetagem foram adotados no processamento desse material. Caracterizações físicas e químicas permitiram investigar suas propriedades e potencialidades industriais, de forma a adequar os

parâmetros ambientais, econômicos e produtivos às necessidades das empresas. Para alguns detalhes observar a Tabela 11.

**Tabela 12:** Custo com destinação de resíduos siderúrgicos estudados.

RESÍDUO	TAXA APROXIMADA DE GERAÇÃO/TONELADA DE MATERIAL PRODUZIDO	TRATAMENTO ATUAL	CUSTO DE TRATAMENTO
Carepa de ferro	5 kg por tonelada de material trefilado.	Co-processamento em cimenteiras ou aterro para resíduo classe II A.	R\$ 40,00 a 50,00/t de resíduo.
	30 kg por tonelada de material laminado.		
Borra de fosfato	4 litros (de solução de fosfato e aditivos saturada) por tonelada de material decapado.	Tratamento em estações de tratamento de resíduos industriais; lodo segue para aterro industrial.	R\$ 250,00/t de resíduo (solução saturada de fosfato e aditivos).
Cloreto ferroso	40 litros (solução de ácido clorídrico saturada por ferro) por tonelada de material decapado.	Reutilização externa como matéria-prima para o próprio cloreto ferroso utilizado em estações de tratamento de esgoto para remoção de fósforo e controle de odores (sulfetos).	Valor da mão-de-obra para coordenar a retirada do resíduo ou até R\$ 250,00/t de resíduo (solução saturada de ácido clorídrico e ferro) para co-processamento em empresas especializadas.
Lodo da estação de tratamento de efluentes	10 kg por tonelada de material decapado e galvanizado.	Aterro para resíduo classe I.	R\$ 250,00/t de resíduo.

Fonte: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006.

Dentro do ambiente de estudo, a geração de carepa é de aproximadamente 5 kg de carepa para cada tonelada de arame trefilado e de aproximadamente 30 kg de carepa para cada tonelada de barra laminada para transformação em perfis, barras ou vergalhões.

O destino usualmente mais utilizado é o co-processamento em fornos de cimenteiras.

### **5.1.2 Borra de fosfato**

Como mostram as Figuras 14 e 19, a borra de fosfato (solução saturada de fosfato e aditivos com ferro) é proveniente da decapagem química de arames quando utilizado o fosfato no processo.

Possui uma taxa aproximada de geração de 20.000 litros a cada 45 dias de produção contínua, ou seja, 4 litros a cada tonelada de arame decapado.

O processo de tratamento do resíduo consiste em precipitação de metais como o ferro, floculação e decantação em estações especiais de tratamento de efluentes industriais.

### **5.1.3 Cloreto ferroso**

O cloreto ferroso (solução saturada de ácido clorídrico com ferro), como descrito nas Figuras 14 e 19, é proveniente da decapagem química de arames, em tratamento que antecede o processo de trefila.

No caso estudado, possui taxa de geração de 40 litros para cada tonelada de arame decapado.

Trata-se de resíduo altamente ácido, que exige um cuidado especial no seu manuseio e destino; geralmente, segue para empresas de recuperação ou para empresas que os utilizam como matéria-prima em seus processos.

### **5.1.4 Lodo da estação de tratamento de efluentes**

Dentre os quatro resíduos avaliados nesta pesquisa, é o único que ainda não está sendo integralmente reaproveitado pelas grandes siderúrgicas. Com uma representação média de 15 % do total de resíduos gerados em siderúrgicas com trefila e galvanização, este resíduo é enviado para aterros industriais especialmente preparados e licenciados.

No caso estudado, a taxa de geração aproximada é de 10 kg para cada tonelada de arame trefilado e/ou galvanizado produzido.

## 5.2 Oportunidades para Melhoria da Gestão dos Resíduos Selecionados

Um bom programa de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS), incluindo, neste estudo de caso, os resíduos líquido e pastoso como o cloreto ferroso e borra de fosfato respectivamente, visa, entre outros:

- a) O atendimento da legislação ambiental, normas e procedimentos ambientais internos em alinhamento com as políticas da indústria;
- b) O atendimento da legislação sobre segurança, higiene e medicina do trabalho, além das normas e procedimentos ambientais internos em alinhamento com as políticas da indústria;
- c) Confiabilidade;
- d) Produtividade;
- e) Eficiência;

As metodologias sugeridas são:

- a) Inventário de Resíduos;
- b) Diagnóstico (sobre as práticas, comportamentos e grau de informação e conhecimentos vigentes na empresa);
- c) Definição dos diversos destinos;
- d) Elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (estabelecimento do novo modelo conceitual do novo sistema de gestão de resíduos);
- e) Treinamento do pessoal envolvido na gestão;
- f) Gestão da Operação;

As ações específicas necessárias à implementação da gestão podem ser descritas da seguinte forma:

- a) Revisar, modificar e/ou criar, caso necessário, os padrões e procedimentos operacionais, tais como: acondicionamento, armazenamento e transporte, de forma atender a legislação e requisitos corporativos e/ou internos;
- b) Receber, segregar, identificar e armazenar temporariamente os resíduos na Central de Armazenamento de Resíduos;
- c) Desenvolver sistema de codificação de resíduos compatível com o existente;
- d) Pré-auditorias de cadastramento de novos fornecedores e auditorias ambientais periódicas em fornecedores já cadastrados em conjunto com a planta;
- e) Gerenciar todas as atividades de logística externa dos resíduos gerados na planta (carregamento, vistoria de carga, checagem de toda a documentação pertinente ao transporte externo de resíduos até o tratamento/destinação final);
- f) Comprovar a destinação dos resíduos por meio de uma via assinada do Manifesto de Transporte de Resíduo (MTR) pelo destinatário e Certificado de Tratamento/Destinação Final para todos os tipos de resíduos, de forma a garantir a total rastreabilidade e legalidade da operação;
- g) Revisar, modificar e/ou criar indicadores ambientais associados à gestão de resíduos, de modo a medir a eficácia da gestão da quanto aos requisitos ambientais e de custos.
- h) Aprimorar os controles e relatórios gerenciais, proporcionando maior agilidade e confiabilidade no acompanhamento das informações;

Dentre os quatro resíduos abordados nesta pesquisa (carepa de ferro, lodo da estação de tratamento de efluentes, borra de fosfato e cloreto ferroso), para a porção que não é destinada aos aterros industriais, tem-se que:

- a) 33 % podem ser reduzidos na fonte em função de medidas de prevenção à poluição, no caso dos resíduos de fosfato e cloreto ferroso, com ações para o aumento de vida útil dos tanques das soluções químicas originadoras, por exemplo;
- b) 17 % seguem para reciclagem, no caso do cloreto ferroso;
- c) 50 % seguem para co-processamento, no caso da carepa de ferro, lodo da estação de tratamento de efluentes e resíduos de fosfato.

A distribuição citada precisa avançar no sentido do aumento e concretização de ações voltadas à prevenção da geração, não só dos quatro abordados na pesquisa, mas como de todos os demais resíduos gerados no empreendimento, objetivo final de um sistema de gerenciamento ambiental, como destacado anteriormente.

Para cerca de 60 % dos resíduos mais significativos das usinas siderúrgicas, os estudos para reciclagem e co-processamento estão avançados e disponíveis, tais como:

- a) Uso do pós de forno da aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja (MELLONI et al., 2001);
- b) Produção de peças cerâmicas utilizando resíduos de fornos de siderurgia - escória (OLIVEIRA et al. 2006);
- c) Disponibilização de fósforo para solo de cultivo da cana-de-açúcar (PRADO, 2003);
- d) Uso da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar (PRADO, 2003);
- e) Uso da escória de alto forno para otimização do crescimento radicular e da produtividade do arroz (PUPATTOL et al., 2003);
- f) Uso de escória de aciaria em substituição aos agregados para asfalto e tijolos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS E METALURGIA, 2006);

- g) Reaproveitamento do lodo de fosfatização para produção de espécies nativas (ALTAFIN et al., 2003);
- h) Co-processamento do lodo da estação de tratamento de efluentes em cimenteiras (SILCON, 2006);
- i) Uso do resíduo oriundo de forno elétrico em cimenteiras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS E METALURGIA, 1993);
- j) Sinterização com lama de aciaria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS E METALURGIA, 1994).

Para os restantes cerca de 40 % de resíduos gerados nas indústrias siderúrgicas, as alternativas ecologicamente mais corretas também existem e em escala industrial, embora algumas delas ainda em fase de testes finais.

Dentre os resíduos estudados, uma comparação entre o destino de cada um deles, conforme atualmente efetuado pela empresas siderúrgicas, e o que pôde ser encontrado nesta pesquisa, incluindo-se pontos positivos e negativos, mostra que:

- a) Lodo da estação de tratamento de efluentes: a avaliação da situação atual e da situação proposta aponta os seguintes aspectos:
  - Destino atual: aterro para resíduo classe I;
  - Custo atual: cerca de R\$ 250,00/t de resíduo;
  - Pontos positivos atuais: não há, analisando-se sob a ótica do desenvolvimento sustentável;

Alternativa 1 para destinação do Lodo da estação de tratamento de efluentes:

- Destino proposto 1: co-processamento em cimenteiras, por meio de blendagem prévia (SILCON, 2006);
- Custo do destino proposto 1: cerca de R\$ 280,00/t de resíduo;
- Pontos positivos do destino proposto 1: destinação sustentável, sem a formação de passivos ambientais;



- Pontos negativos / dificuldades do destino proposto 1: disponibilidade de processadores certificados pelo órgão ambiental.

Alternativa 2 para destinação do Lodo da estação de tratamento de efluentes:

- Destino proposto 2: uso como matéria-prima para cerâmica, em combinação com argila natural e outros componentes (BORGIO, 2005);
- Custo do destino proposto 2: ainda desconhecido; ensaios e aperfeiçoamento da pesquisa precisam ser realizados;
- Pontos positivos do destino proposto 2: destinação sustentável, sem a formação de passivos ambientais;
- Pontos negativos / dificuldades do destino proposto 2: disponibilidade de processadores certificados pelo órgão ambiental além da necessidade da realização de ensaios para a aprovação do processo.

Alternativa 3 para destinação do Lodo da estação de tratamento de efluentes:

- Destino proposto 3: avaliar a viabilidade da implantação do processo de eletroflotação dos metais pesados (TOREM et al., 2005) antes da chegada dos efluentes na estação de tratamento;
- Custo do destino proposto 3: ainda desconhecido; ensaios e aperfeiçoamento da pesquisa precisam ser realizados;
- Pontos positivos do destino proposto 3: obtenção de um resíduo com periculosidade menor (lodo final), até com possibilidade de redução do seu volume pela captura dos metais pesados, com chance de disponibilização do lodo para outros fins com a nova classificação;
- Pontos negativos / dificuldades do destino proposto 3: custo das instalações é desconhecido e possível geração de um novo resíduo de metais que poderiam ser reutilizados internamente.

Alternativa 4 para destinação do Lodo da estação de tratamento de efluentes:

- Destino proposto 4: avaliar a possibilidade de tratar o efluente proveniente da galvanização separadamente e até por meio da eletroflotação;
- Custo do destino proposto 4: ainda desconhecido; ensaios e aperfeiçoamento da pesquisa precisam ser realizados além das mudanças físicas necessárias para o devido tratamento;
- Pontos positivos do destino proposto 4: obtenção de um resíduo com periculosidade menor (lodo final da estação de tratamento de efluentes), até com possibilidade de redução do seu volume pelo tratamento em separado de parte dos efluentes, com chance de disponibilização do lodo final para outros fins com a nova classificação;
- Pontos negativos / dificuldades do destino proposto 4: custo das instalações é desconhecido e possível geração de um novo resíduo de metais que poderiam ser reutilizados internamente.

b) Borra de Fosfato: a avaliação da situação atual e da situação proposta aponta os seguintes aspectos:

- Destino atual: tratamento em estações de efluentes industriais;
- Custo atual: cerca de R\$ 250,00/t de resíduo;
- Pontos positivos atuais: descontaminação de todo o efluente líquido;
- Pontos negativos atuais: geração do lodo, destinado aos aterros específicos;

Alternativa 1 para destinação da borra de fosfato:

- Destinação proposta 1: avaliar estudo para uso como matéria-prima ou agregado para fabricação de blocos cerâmicos, compostos asfálticos ou agregados (GIFFONI, 2006);

- Custo da destinação proposta 1: ainda desconhecido; ensaios e aperfeiçoamento da pesquisa precisam ser realizados;
- Pontos positivos da destinação proposta: uso do resíduo em *blend* para fins sustentáveis e possível redução de custos operacionais;
- Pontos negativos da destinação proposta: necessidade de avanço da pesquisa e disponibilidade de processadores certificados pelo órgão ambiental.

A pesquisa bibliográfica identificou a utilização de materiais químicos como o fosfato na produção de mudas de espécies nativas (ALTAFIN et al., 2003). Entretanto, por questões de incipiência dos resultados e riscos ambientais, esta hipótese não está sendo considerada como uma proposta a ser apresentada para este resíduo.

c) Carepa de Ferro: a avaliação da situação atual e da situação propostas aponta os seguintes aspectos:

- Destino atual: co-processamento em cimenteiras;
- Custo atual: cerca de R\$ 40,00/t de resíduo a R\$ 50,00/t de resíduo;
- Pontos positivos atuais: uso total do resíduo e baixo custo para o gerador;

Alternativa 1 para destinação da carepa de ferro:

- Destinação proposta 1 : prosseguir destinação atual.
- Custo da destinação proposta 1: já conhecido de R\$ 40,00/t de resíduo a R\$ 50,00/t de resíduo;
- Pontos positivos da destinação proposta: uso sustentável do resíduo;
- Pontos negativos da destinação proposta: não há. Outros processadores precisam ser desenvolvidos para edificar esta

destinação sob todos os aspectos, inclusive, com relação à oferta e demanda da carepa de ferro.

Alternativa 2 para destinação da carepa de ferro:

- Destinação proposta 2: avaliar o processo de formação de briquetes e uso interno das usinas siderúrgicas (MARTINS et al., 2006);
- Custo da destinação proposta 2: desconhecido, envolvendo novas instalações e espaço disponível;
- Pontos positivos da destinação proposta 2: uso interno do resíduo dentro do próprio processo produtivo, possibilidade de redução de custos com substituição de insumos e desenvolvimento de uma nova destinação sustentável da carepa de ferro;
- Pontos negativos da destinação proposta 2: custo da instalação e necessidade de se avaliar uma utilização e/ou comercialização dos briquetes de carepa de ferro.

d) Cloreto Ferroso: a avaliação da situação atual e da situação propostas aponta os seguintes aspectos:

- Destino atual: reciclagem em empresas especializadas, para refino do próprio cloreto ferroso e uso do mesmo em estações de tratamento de esgoto para remoção do fósforo e odores (sulfeto);
- Custo da destinação atual: mínimo para a empresa geradora (custo pessoal de acompanhamento do processo de retirada do material);
- Pontos positivos da destinação atual: uso do resíduo, baixo custo;
- Pontos negativos da destinação atual: apenas uma empresa foi aprovada para este processo.

Alternativa 1 para destinação de cloreto ferroso:

- Destinação proposta 1 : prosseguir destinação atual.
- Custo da destinação proposta 1: mínimo para a empresa geradora (custo pessoal de acompanhamento do processo de retirada do material);
- Pontos positivos da destinação proposta 1: uso do resíduo, baixo custo;
- Pontos negativos da destinação proposta 1: apenas uma empresa foi aprovada para este processo. Há necessidade de desenvolver novas empresas habilitadas e autorizadas.

Alternativa 2 para destinação de cloreto ferroso:

- Destinação proposta 2: tratamento em estações de efluentes industriais;
- Custo da destinação da proposta 2: cerca de R\$ 250,00/t de resíduo;
- Pontos positivos da destinação da proposta 2: alternativa de tratamento;
- Pontos negativos: geração de lodo, destinado aos aterros específicos ou estudos de co-processamento dos mesmos;

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A avaliação da potencialidade do uso de um resíduo pode vir a ser demorada, onerosa e, em muitos casos, frustrante.

Os resíduos gerados nas usinas siderúrgicas são bastante diversificados, constituindo-se, como visto, em efluentes sólidos, líquidos, gasosos e energia, principalmente térmica.

Observa-se atualmente uma tendência de redução da geração, de aumento de captação e de aumento do aproveitamento dos resíduos por meio da reutilização, reciclagem interna, reciclagem externa ou uso posterior, sendo o mesmo incorporado a outros processos produtivos, além do uso de novas tecnologias ou otimização das existentes.

Além da destinação dos resíduos em si, um melhor gerenciamento dos mesmos dentro da indústria representa a preservação de recursos naturais, conservação de energia, redução na geração de gases do efeito estufa e economia de espaço na sua disposição intermediária e/ou final. Daí, a necessidade em desenvolver um bom programa de gerenciamento de resíduos sólidos para a indústria.

Dentre as possibilidades de prevenção da geração dos resíduos, foram identificados:

- a) Melhorias no rendimento do processo;
- b) Alterações na matéria-prima, podendo promover um melhor rendimento do processo e
- c) Melhor controle das reações secundárias.

Para a reciclagem, entre os resíduos estudados do cenário siderúrgico, não foram identificados processos que mereçam destaques, com exceção da reciclagem

da carepa por meio do seu beneficiamento (MARTINS et al., 2006) e do aço, com ênfase nos dados descrita, mas que não consta do objetivo desta pesquisa.

As alternativas de co-processamento de resíduos siderúrgicos em cimenteiras, e seu reuso na construção civil e na própria siderurgia demonstraram-se com importante potencial, para os diversos resíduos, avaliados ou não nesta pesquisa. Para uso na agricultura, os estudos ainda não foram concluídos e, por questões de segurança, não serão considerados como alternativas a serem apresentadas na conclusão desta pesquisa.

A partir dos dados e informações apresentados:

- a) Em relação ao Lodo da estação de tratamento de efluentes, conclui-se que o aumento de 12 % no custo da destinação para seu uso em cimenteiras (SILCON, 2006), entre a destinação atual e a proposta, pode ser equiparado ou até reduzido, ao longo do tempo, após acertos de processo. Para redução do volume do lodo gerado mensalmente, estudos para o aumento da vida útil dos tanques da decapagem química e da galvanização precisam ser determinados e padronizados. Há ainda as alternativas de captura dos metais pesados previamente por meio de eletroflotação (TOREM et al., 2005) e uso, em combinação com argila natural, para a fabricação de cerâmicas (BORGIO, 2005).
  
- b) No caso da borra de fosfato, conclui-se que as perspectivas em escala industrial são promissoras. Para a redução do volume de resíduo gerado, a exemplo do resíduo do lodo da estação de tratamento de efluentes, é necessário aumentar a vida útil do tanque de fosfatização e/ou melhorar a qualidade da matéria-prima (ou alteração da mesma); ainda foi identificada a possibilidade do uso da mesma como matéria-prima para a fabricação de blocos (GIFFONI, 2006), pesquisa com avanços comprovados.

- c) A busca de prevenção da geração da carepa de ferro é uma tarefa que demandará um estudo mais longo e aprofundado, pois a carepa se origina no acabamento superficial necessário ao arame e às barras, bem como, do reaquecimento (no caso das barras) para possibilitar posterior laminação; o uso atual é recomendado além da análise de viabilização de se obter instalações para formação de briquetes com a carepa e seu uso interno e/ou comercialização, ainda a ser definido (MARTINS et al., 2006).
- d) Em relação ao Cloreto Ferroso, a reciclagem em empresas especializadas representa uma redução de custos significativa. Para a redução do volume de resíduo gerado, a exemplo do resíduo do lodo da estação de tratamento de efluentes, é necessário aumentar a vida útil do tanque de ácido clorídrico e/ou melhorar a qualidade da matéria-prima (ou alteração da mesma) em algum aspecto que promova uma geração menor de co-produtos da reação de corrosão sem comprometer a qualidade do processo. É necessário o desenvolvimento de novos recicladores deste resíduo para que o processo não seja comprometido quando a oferta do resíduo for maior que a demanda e, neste caso, as empresas tratam o cloreto ferroso em suas estações de tratamento de efluentes que estão prontamente preparadas para esta atividade, porém, gera o custo do tratamento e disposição do resíduo que é o lodo da estação de tratamento, um dos 4 (quatro) resíduos desta pesquisa.

As alternativas com maior aplicabilidade, em relação aos quatro resíduos estudados para o cenário siderúrgico avaliado nesta pesquisa, estão resumidas na Tabela 13.



**Tabela 13:** Recomendações para os resíduos da pesquisa.

RESÍDUO	RECOMENDAÇÕES		
	PREVENÇÃO	RECICLAGEM	CO-PROCESSAMENTO
Carepa de Ferro	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aperfeiçoar processo de trefila e laminação (embora com baixo potencial).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buscar usos industriais para a carepa na forma de briquetes e viabilizar este processo dentro das unidades (MARTINS <i>et al.</i>, 2006).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Finalizar ensaios das carepas ainda não-destinadas para co-processamento;</li> <li>- Prosseguir envio para cimenteiras.</li> </ul>
Cloreto Ferroso	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aperfeiçoar processo de decapagem química (aumento da vida útil do banho de ácido);</li> <li>- Avaliar alternativas para os produtos químicos e/ou alterações dos aditivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prosseguir envio para empresas que o utilizam como matéria-prima;</li> <li>- Avaliar forma de recuperação, na própria siderúrgica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não identificada na pesquisa.</li> </ul>
Borra de Fosfato	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aperfeiçoar processo de decapagem química (aumento da vida útil do banho de fosfato);</li> <li>- Avaliar alternativas para os produtos químicos e/ou alterações dos aditivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não identificada na pesquisa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avaliar estudo para uso do resíduo como matéria-prima ou agregado na fabricação de blocos (GIFFONI, 2006).</li> <li>- Apesar dos estudos disponíveis voltados para o uso deste resíduo na agricultura, como fonte de fósforo, não se recomenda esta aplicação por questões de riscos ambientais associados como o envolvimento do solo, por exemplo.</li> </ul>
Lodo da estação de tratamento de efluentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aperfeiçoar processo de decapagem química (aumento da vida útil dos banhos / redução de volumes a tratar);</li> <li>- Avaliar possibilidade da retirada dos metais pesados do efluente antes de serem enviados para a estação de tratamento, evitando sua classificação como perigoso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não identificada na pesquisa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Viabilizar co-processamento em cimenteiras especializadas (SILCON, 2006).</li> <li>- Analisar possibilidade do uso do resíduo como matéria-prima para cerâmica (BORGO, 2005).</li> <li>- Avaliação a viabilidade do processo de eletroflotação dos metais pesados, reduzindo volume e periculosidade do resíduo (TOREM, 2005).</li> <li>- Avaliar a viabilidade de tratamento em separado do resíduo proveniente da galvanização, reduzindo o volume e a periculosidade do lodo final gerado na estação de tratamento de efluentes.</li> </ul>

Fonte: SANTOS, 2006.

Em termos gerais, recomenda-se que dentro do processo de gerenciamento ambiental dos resíduos estudados, as unidades industriais do setor siderúrgico:

- d) Melhorem seu controle com relação à revisão de seus planos de gerenciamento de resíduos;
- e) Ampliem a aplicação de treinamentos operacionais;
- f) Melhorem a gestão de operação;
- g) Revisem e elaborem os procedimentos necessários;
- h) Intensifiquem a busca de otimização e de novos destinos para os diversos resíduos, junto aos órgãos especializados e universidades;
- i) Melhorem o gerenciamento e as auditorias nos processadores dos resíduos;
- j) Efetuem o aprimoramento contínuo dos controles e relatórios gerenciais.

A pesquisa apontou um conjunto viável de alternativas, da prática atual ou de pesquisas em desenvolvimento, para a destinação sustentável dos quatro principais resíduos gerados em uma indústria siderúrgica.

Os resultados são extrapoláveis para outros empreendimentos similares do setor e são plenamente alcançáveis, mediante dedicação ao desenvolvimento / sedimentação de pesquisas, aliada a uma estrutura clara e objetiva de gerenciamento interno dos resíduos, sendo possível uma atuação ambientalmente responsável para o setor, sem a geração de passivos e com a preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. C. D. et al. Emprego de escórias de siderúrgicas integradas na engenharia civil. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 49., 1994, São Paulo, SP. **Anais...**São Paulo: ABM, 1994. v.4, p.537-551.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES - ANTT. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 07 set. 2006.
- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p. (Boletim Técnico 6).
- ALTAFIN, V. L.; POLONIO, W.; MEDEIROS, G. A.; BRANDÃO, M. F.; ZUIN, F. D.; BUSCARATO, E. A.; MENEZES, M. O. Utilização de lodo e fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p.45-50, jan./dez. 2004.
- AMERICAN IRON STEEL INSTITUTE - AISI. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.steel.org>>. Acesso em: 10 jun. 2006.
- ARAÚJO, L. A. **Manual de Siderurgia**. 2. ed. São Paulo: Arte & Ciência, 1997. v.1.
- ARCELOR. **Consulta geral à homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.arcelor.com.br>>. Acesso em: 20 de maio 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS - ABM. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br>>. Acesso em: 24 jun. 2006.
- BARBOSA, M. T. G. et al. Viabilidade do uso do pó oriundo do forno elétrico (resíduo siderúrgico) na construção civil. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 48., 1993, Rio de Janeiro, RJ. **Anais...**Rio de Janeiro: ABM, 1993. v.1, p.297-316.
- BARRETO, J. C. N. **As ferramentas da qualidade e seu uso no gerenciamento ambiental na indústria no pólo sidero-petroquímico de Cubatão**. 2000. 211f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- BOLSA DE RESÍDUOS. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.bolsaderesiduos.org.br>>. Acesso em 12 jun. 2006.
- BONEZZI, C. B. **Competitividade ambiental da siderurgia brasileira**. 2005. 102f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.
- BORGO, S. C. **Minimização e reciclagem de lodo galvânico e poeira de jateamento**. 2005. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- CAIRES, E. F. et al. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.25, n.4, p.1029-1040, 2001.

CAPONERO, J. **Comportamento da lama de fosfatização no processo de produção do clínquer do cimento Portland**. 1999. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica, São Paulo, SP, 1999.

CASQUEIRA, R. G.; TOREM, M. L.; KOELLER, H.M. Remoção de zinco e cádmio por eletroflotação/eletrocoagulação. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 59., 2004, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABM, 2004. p.2549-2556.

CB28 – Comitê brasileiro de siderurgia. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.ibs.org.br/cb28>>. Acesso em: 27 ago. 2006.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS - CNTL. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.pmaisl.com.br/npls/cntl-rs.htm>>. Acesso em: 27 maio 2006.

CETREL S.A. – Empresa de proteção ambiental. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.cetrel.com.br>>. Acesso em: 18 abr. 2006.

CHAVES, W. C. O. **Implementação de um programa de controle da poluição e minimização de resíduos em uma siderúrgica: estudo de caso: FERBASÁ**. 2001. 80f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

CHEREMISINOFF, N. P. **Handbook of solid waste management and waste minimization technologies**. Amsterdam: Butterworth Heinemann, 2003. 477p.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria de construção civil. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tecnologia das Edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p.71-74.

COELHO, A. **Bolsa de resíduos**: portal de oportunidades de produção mais limpa. 2001. 65f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2001.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 27 maio 2006.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE - CPRH. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br>>. Acesso em: 23 out. 2006.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL - CSN. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.csn.com.br>>. Acesso em: 27 maio 2006.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 25 jun. 2006.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE. **Reduzindo, reutilizando, reciclando**: a indústria ecoeficiente. São Paulo: CEMPRE/SENAI, 2000.

CUNHA, A. F. et al. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. **Revista Escola de Minas**, v.59, n.1, 2006.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.

ESTRELLA, S. P. **Diagnóstico de resíduos sólidos industriais em Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, jul. 1996.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - FIESP. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br>>. Acesso em: 07 out. 2006.

FREIRE, P. **A gestão de resíduos como caminho para a ecoeficiência**. Disponível em: <<http://www.cetrel.com.br>>. Acesso em: 24 jun. 2006.

GERDAU. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: 16 maio 2006.

GIFFONI, P. O.; LANGE, L. C. A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos. **Revista Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro, v.10, n.2, p.128-136, abr./jun. 2005.

HEENAN, B. **Steel recycling in the U.S. continues its record pace in 2005**. Disponível em: <<http://www.solidwaste.com>>. Acesso em: 26 abr. 2006.

HOBERG, H. Applications of mineral processing in waste treatment and scrap recycling. In: INTERNATIONAL MINERAL PROCESSING CONGRESS, 18., 1993, Sydney, Australia. **Anais...Austrália**, 1993. v.1, p.23-37.

INSTITUTO BRASILEIRO DE SIDERURGIA - IBS. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.ibs.org.br/index.asp>>. Acesso em: 24 jun. 2006.

KAJINO, L. K. **Estudo de viabilidade de implantação, operação e monitoramento de aterros sanitários: uma abordagem econômica**. 2005. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

KRUGER, P. V. Panorama mundial do aproveitamento de resíduos na siderurgia. **Metalurgia e Materiais**, ABM, p. 116-119, fev. 1995.

LAMAS, V. P. B. et al. Aproveitamento da lama de aciaria na sinterização da Belgo-Mineira via misturador. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 49., 1994, São Paulo, SP. **Anais...São Paulo**: ABM, 1994. v.4, p.529-536.

MACÊDO, J. A. B. **Introdução à Química Ambiental**. 1. ed. Juiz de Fora: CRQ-MG, 2002. 487p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. S.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MANTOVANI, M. C. et al. Comportamento de pelotas auto-redutoras de resíduo de aciaria elétrica. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

METALURGIA E MATERIAIS, 51., Porto Alegre, 1996. **Anais...**São Paulo: ABM, 1997. v. 4, p. 273-289.

MANUAL de autoproteção para manuseio e transporte rodoviário de produtos perigosos. 4 ed. São Paulo: Indax Advertising, abr. 1999. 268p.

MARCIANO, C. R. et al. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um latossolo amarelo saturado e não-saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.1-9, 2001.

MARQUES, M. A. M. **Estudo da aptidão do desaguamento e do potencial de lixiviação em diferentes tipos de lodos produzidos na estação de tratamento de águas residuárias da coqueria da companhia siderúrgica de Tubarão**. 2004. 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

MARTINS, M. E. et al. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. **Revista Metalurgia e Materiais**, Ouro Preto, Minas Gerais, v.59, p.111-116, jan./mar. 2006.

MAY, P. H.; LUSTOSA, M. C.; VINHA, V. **Economia do Meio Ambiente**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. 318p.

MEDEIROS, C.; CARDOSO, L.; FONSECA, T. **Centro de Recursos Ambientais – Instruções para a elaboração do plano de gerenciamento de resíduos sólidos**. Salvador: [s.n.], 2002. 9p.

MELLONI, R.; SILVA, F. A. M.; SOUZA, F. M. M.; FURTINI, A. E. Pó de forno de aciaria elétrica na microbiota do solo e no crescimento de soja. **Jornal Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1547-1554, 2001.

MINES, C. R. C. et al. Resultados experimentais da utilização de lama de aciaria na sinterização piloto e suas conseqüências na CSBM. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS, 43., 1988, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: ABM, 1988. v.3, p.33-42.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 06 ago. 2006.

MOURÃO, M. B. **Análise do processo de redução de minério de ferro por carbono na forma de pelotas auto-redutoras**. 1988. 191f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1988.

OLIVEIRA, E. R.; MARTINS, J. Emprego de resíduos siderúrgicos e pellet feed minipelotizados na sinterização de minério de ferro. **Revista Escola de Minas**, v.56, n.4, p.249-254, out./dez. 2003.

OLIVEIRA, G. E.; HOLANDA J. N. F. Reaproveitamento de resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico em cerâmica vermelha. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v.50, n.314, abr./jun. 2004.

OLIVEIRA, R. P.; MAIA, A. A. B.; SOUZA, A. G. Estudo da produção de peças cerâmicas utilizando resíduos de fornos de siderurgia (escória). **Revista Científica da Universidade Federal do Pará**. Disponível em: <<http://www2.ufpa.br/rcientifica>>. Acesso em: 01 jul. 2006.

- PAULO, M. M. O controle de resíduos industriais e subprodutos na CST. **Metalurgia & Materiais**, São Paulo, v.48, n.408, p.476-480, ago. 1992.
- PIAU, W. C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho** (*Zea mays* L). 1995. 124f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo na soqueira da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.27, n.2, p.287-296, 2003.
- PUPATTOL, J. G.C. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.11, nov. 2003.
- SANTOS, P.M. **Avaliação de alternativas para a prevenção, reciclagem e co-processamento de resíduos em uma empresa do setor siderúrgico**. 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- SILCON AMBIENTAL. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.silcon.com.br>>. Acesso em: 15 jul. 2006.
- SOARES, M. R. K.; ALVES, C. M. Gestão de resíduos sólidos e impactos no setor industrial. **Revista Em Tempo**, Brasília, n.10, 2002.
- STEEL RECYCLING INSTITUTE - SRI. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.recycle-steel.org>>. Acesso em: 24 jun. 2006.
- TAILOR, C. R.; CUSTER, C. C. Electric furnace steelmaking. **Iron and Steel Society**, v.1, p.49-62, 1985.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Gestion integral de residuos solidos**. Madrid: McGraw-Hill, 1998. 1107p.
- TECBAHIA - **Revista Baiana de Tecnologia**, v.13, n.3, p. 146-152, set./dez. 1998.
- TOREM, M. L. SCORZELLI, I. B. Flotação iônica: um método alternativo para a recuperação de metais preciosos ou pesados/tóxicos a partir de soluções diluídas. **Revista Ciência e Engenharia**, Uberlândia, v.2, p.1-7, 1995.
- WINSLOW, M. D. Silicon, disease, resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1208-1213, 1992.

**ANEXO 1 -  
PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES E NORMAS APLICÁVEIS A RESÍDUOS  
INDUSTRIAIS**



## Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais.

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
ABNT - outros requisitos	Gerais	NBR 14725/01	FISPQ - Ficha de Informação de Segurança do Produto Químico
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 10004/04	Classifica resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que estes resíduos possam ter manuseio e destinação adequados
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 10005/04	Prescreve procedimentos para lixiviação de resíduos tendo em vista sua classificação
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 10006/04	Prescreve procedimentos para solubilização de resíduos tendo em vista sua classificação
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 10007/04	Fixa condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 12809/93	Resíduos de serviços de saúde - Manuseio
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 12810/93	Coleta de resíduos de serviço de saúde.
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 11174/90	Fixa condições exigíveis para obtenção das condições mínimas necessárias ao armazenamento de resíduos classe II - não inertes e classe III - inertes
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 11175/90	Fixa condições exigíveis de desempenho do equipamento para incineração de resíduos sólidos perigosos

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

(continua)

Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais.  
(continuação)

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 12235/92	Fixa condições exigíveis para o armazenamento de resíduos sólidos perigosos de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 12807/93	Resíduos de serviços de saúde - Terminologia
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 12808/93	Resíduos de serviços de saúde - Classificação
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NBR 13853/97	Coletores para resíduos de serviços de saúde perfurantes ou cortantes - requisitos e métodos de ensaio
ABNT - outros requisitos	Resíduos	NB 1183/88	Armazenamento de resíduos sólidos perigosos
ABNT - outros requisitos	Solo/ Águas Subterrâneas	NBR 10157/87	Define critérios para projeto, construção e operação de aterros de resíduos perigosos
ABNT - outros requisitos	Substâncias Controladas	NBR 13741/96	Fixa condições exigíveis para a destinação de bifenilas policloradas (PCBs) e resíduos contaminados com PCBs
ABNT - outros requisitos	Transporte	NBR 13221/05	Fixa diretrizes para o transporte de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e a proteger a saúde pública
Estadual SP	Resíduos	Lei Estadual GESP 12.300/06	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e à recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

(continua)

Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais .  
(continuação)

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
Estadual SP	Resíduos	Portaria GESP/CVS 16/99	Institui norma técnica sobre resíduos quimioterápicos nos estabelecimentos prestadores de serviço de saúde
Estadual SP	Resíduos	Resolução GESP 33/05	Dispõe sobre os procedimentos para o gerenciamento e licenciamento ambiental de sistemas de tratamento e disposição final de resíduos de serviços de saúde humana e animal no Estado de São Paulo.
Estadual SP	Resíduos	Resolução Gesp 41/02	Dispõe sobre procedimento para o licenciamento ambiental de aterros de resíduos inertes e de construção civil quanto à localização, à instalação e a operação no Estado de São Paulo
Estadual SP	Resíduos	Resolução GESP/SES 49/99	Define os procedimentos para utilização de restos alimentares provenientes dos estabelecimentos geradores destes resíduos para alimentação de animais.
Estadual SP	Resíduos	Norma Técnica GESP P4.262/04	Estabelece o gerenciamento de resíduos químicos provenientes de estabelecimentos de serviços de saúde.
Estadual SP	Resíduos	Resolução GESP/SES/SMA 01/98	Aprova as Diretrizes Básicas e Regulamento Técnico para apresentação e aprovação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde - PGRSS.
Estadual SP	Substâncias Controladas	Lei Estadual GESP 12.288/06	Dispõe sobre a eliminação controlada de PCBs e dos seus resíduos, da descontaminação e da eliminação de transformadores, capacitores e demais equipamentos elétricos que contenham PCBs, que são classificados como resíduos perigosos.
Federal	Agrotóxicos	Lei CGN 7.802/89 e alterações	Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins.
Federal	Resíduos	Portaria MINTER 53/79	Estabelece normas para disposição de resíduo sólidos / Proíbe a utilização do solo como destinação final de resíduos

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

(continua)

Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais.  
(continuação)

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
Federal	Resíduos	Decreto Legislativo CGN 34/92	Aprova o texto da Convenção sobre Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e sua Eliminação, em Basileia, Suíça, 22 de março de 1989.
Federal	Resíduos	Decreto PR 875/93	Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 06/91	Determina a não obrigatoriedade de quaisquer tratamentos de queima de resíduos sólidos oriundos de estabelecimentos de saúde, portos e aeroportos
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 23/96 e alterações	Trata sobre o movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e outros resíduos
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 258/99 e alterações	Dispõe sobre a destinação final dos pneus inservíveis, proibindo a queima do resíduo a céu aberto e sua disposição final em aterros sanitários, corpos d'água e terrenos baldios/alagadiços
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 275/01	Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, e recomenda sua adoção na identificação de coletores e transportadores.
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 307/02 e alterações	Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 313/02	Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 358/05 e alterações	Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

(continua)

Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais .  
(continuação)

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
Federal	Resíduos	Resolução CONAMA 358/05 e alterações	Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde.
Federal	Resíduos	Resolução ANVISA 306/04	Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.
Federal	Substâncias Controladas	Instrução Normativa SEMA/STC/ CRS 01/83	Dispõe sobre o ascarel e os resíduos que o contenham
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Resolução ANTT 420/04	Estabelece instruções complementares ao transporte de produtos perigosos
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 172, de 29 de julho de 1991	Aprova o Regulamento Técnico para "Equipamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos à Granel (RT-7)"
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 221, de 30 de setembro 1991	Aprova o Regulamento Técnico "Inspeção em Equipamentos destinados ao Transporte de Produtos Perigosos à Granel não incluídos em outros Regulamentos" - RT-27
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 277, de 27 de novembro de 1991	Aprova o Regulamento Técnico "Veículo Rodoviário destinado ao Transporte de Produtos Perigosos - Construção, Instalação e Inspeção de Pára-Choque Traseiro" - RTQ-32
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 275, de 16 de dezembro de 1993	Aprova o Regulamento Técnico da Qualidade - RTQ-36 Revestimento interno de tanque rodoviário de produtos perigosos com resina éster vinílica reforçada com fibra de vidro - aplicação e inspeção
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 276, de 16 de dezembro de 1993	Aprova os Regulamentos Técnicos da Qualidade, RTQ-2 - Revisão 01 - Equipamentos para o Transporte Rodoviário de Produtos à Granel - Construção e Inspeção Inicial e RTQ-34 - Equipamento para o Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos à Granel - Geral - Construção
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 199, de 6 de outubro de 1994	Aprova o "Regulamento Técnico da Qualidade nº 5 (RTQ-5) - Veículo destinado ao Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos - Inspeção"

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

(continua)

Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais .  
(continuação)

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria DENATRAN/MJ nº 1, de 5 de fevereiro de 1998	Baixa as instruções a serem adotadas quando da elaboração e do preenchimento do Auto de Infração, anexo I, conforme Resolução nº 1/98, de 23/1/98, do Conselho Nacional de Trânsito
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Resolução CONTRAN/MJ nº 70, de 23 de setembro de 1998	Dispõe sobre curso de treinamento específico para condutores de veículos rodoviários transportadores de produtos perigosos. (Revogada pela Resolução CONTRAN/MJ nº 91 de 4/5/99)
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria DENATRAN/MJ nº 38, de 10 de dezembro de 1998	Acrescenta ao Anexo IV da Portaria nº 01/98 - DENATRAN, os códigos das infrações referentes ao Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Decreto nº 2.998, de 23 de março de 1999	Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105)
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Resolução CONTRAN/MJ nº 91, de 4 de maio de 1999	Dispõe sobre os cursos de Treinamento Específico e Complementar para Condutores de Veículos Rodoviários Transportadores de Produtos Perigosos. (Revogada pela Resolução CONTRAN/MJ nº 168 de 22/03/05)
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000	Dá nova redação ao Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105)
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000	Altera a Lei nº 6.938, de 31/8/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 8, de 16 de janeiro de 2001	Publica a proposta do texto de Portaria para a Regulamentação Técnica de Cilindros de Liga Leve para Armazenamento de Gás Metano Veicular
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria INMETRO nº 74, de 29 de maio de 2001	Aprova o Regulamento Técnico, que estabelece os requisitos mínimos para produção em série de cilindros leves, recarregáveis para o armazenamento de gás metano veicular a alta pressão, como combustível automotivo, fixado a bordo de veículos

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).

(continua)

Principais legislações e normas aplicáveis a resíduos industriais.  
(continuação)

ORIGEM	ASPECTO	DOCUMENTO	BREVE DETALHAMENTO
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Lei nº 10.357, de 27 de dezembro de 2001	Estabelece normas de controle e fiscalização sobre produtos químicos que direta ou indiretamente possam ser destinados à elaboração ilícita de substâncias entorpecentes, psicotrópicas ou que determinem dependência física ou psíquica, e dá outras providências
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Decreto nº 4.262, de 10 de junho de 2002	Estabelece normas de controle e fiscalização sobre produtos químicos que direta ou indiretamente possam ser destinados à elaboração ilícita de substâncias entorpecentes, psicotrópicas ou que determinem dependência física ou psíquica, e dá outras providências
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Portaria MJ nº 1274, de 26 de agosto de 2003	Exerce o controle e a fiscalização de precursores e outros produtos químicos essenciais empregados na fabricação clandestina de drogas, como estratégia fundamental para prevenir e reprimir o tráfico ilícito e o uso indevido de entorpecentes e substâncias psicotrópicas
Federal da Agência Nacional de Transportes Terrestres	Transporte	Resolução CONTRAN/MJ nº 168, de 14 de Dezembro de 2004	Estabelece Normas e Procedimentos para a formação de condutores de veículos automotores e elétricos, a realização dos exames, a expedição de documentos de habilitação, os cursos de formação, especializados, de reciclagem e dá outras providências

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006).