

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: USINA SEMI-
INTEGRADA - UM ESTUDO DE CASO**

JOSÉ ALENCASTRO DE ARAÚJO

ORIENTADOR: PROF. DR. GILBERTO MARTINS

SANTA BÁRBARA D'OESTE

FEVEREIRO, 2005

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: USINA SEMI-
INTEGRADA - UM ESTUDO DE CASO**

JOSÉ ALENCASTRO DE ARAÚJO

ORIENTADOR: PROF. DR. GILBERTO MARTINS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

SANTA BÁRBARA D'OESTE

FEVEREIRO, 2005

RESÍDUOS SÓLIDOS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA: USINA SEMI- INTEGRADA - UM ESTUDO DE CASO

JOSÉ ALENCASTRO DE ARAÚJO

Dissertação apresentada em 25.02.2005 para a Banca Examinadora constituída dos professores:

Prof. Dr. Gilberto Martins (orientador)

Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção - Universidade Metodista de Piracicaba

Prof. Dr. Rodolfo Andrade de G. Vilela

Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção - Universidade Metodista de Piracicaba

Prof. Dr. José Roberto Ferreira

Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) – Universidade de São Paulo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José e Jacy, pela educação que me proporcionaram, baseada no comportamento ético.

Aos meus filhos, Cesar e Marco, sempre companheiros, e à Zilda, minha companheira;

À direção da Belgo – Bosi, Nelson, Marco Aurélio, Delmar e Cardozo –, que me apoiou na concretização deste sonho e participou diretamente com importantes contribuições técnicas.

Ao meu orientador final, Prof. Dr. Gilberto Martins, pela competência e paciência nas diversas revisões desta dissertação.

Ao meu orientador inicial, Prof. Dr. Paulo Figueiredo, pelos pontos de vista e conceitos que contribuíram nas minhas reflexões para o desenvolvimento deste trabalho.

À banca de qualificação, professores Rodolfo e Paulo, cujas observações foram fundamentais para balizar a rota e estruturar o estudo de caso.

Aos meus amigos Ricardo, Jucilene, Estefânia, Ronei, Sandra, Eliana, Márcio, Cristina Yuan e Lucila, pela dedicação e colaboração de todas as horas.

A todo o pessoal de operação da Sid SI, pelas informações, sem as quais seria impossível concluir este trabalho.

Finalmente, ao meu revisor, Eduardo Massuh Cury, que deu a forma final a esta dissertação.

Aos homens o espetáculo da Natureza, à força de se lhe tornar familiar, acaba por lhe ser indiferente: é sempre a mesma ordem, são sempre as mesmas revoluções. Sua alma, que coisa alguma agita, entrega-se ao único sentimento de sua atual existência, sem nenhuma idéia a respeito do futuro, por próximo que seja; e seus projetos, limitados como a sua vista, apenas se estendem até o fim de cada jornada. Tal é ainda hoje o grau de previsão do caraíba, que vende, de manhã, o colchão de algodão, e vem chorar, à tarde, para comprar de novo, em virtude de não ter previsto que iria dele precisar para a noite próxima".

Jean-Jacques Rousseau

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	14
1.2 MOTIVAÇÃO.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.4 METODOLOGIA.....	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2. O SETOR SIDERÚRGICO.....	19
2.1 HISTÓRICO E CONCEITUAÇÃO.....	19
2.2 O MERCADO MUNDIAL DE AÇO.....	22
2.2.1 CONSUMO DE ENERGIA.....	23
2.2.2 RECICLAGEM.....	24
2.3 A SIDERURGIA BRASILEIRA.....	28
2.3.1 O MEIO AMBIENTE E A SIDERURGIA.....	30
3. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA.....	32
3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL.....	32
3.2 GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS.....	38
3.2.1 ESCÓRIA.....	40
3.2.2 PÓ DE ACIARIA.....	47
3.2.3 CAREPA.....	52
3.2.4 TERRA DA “SHREDDER”.....	53
4. ESTUDO DE CASO: USINA SEMI-INTEGRADA.....	55
4.1 PROCESSO DE UMA USINA SEMI-INTEGRADA.....	55
4.1.1 PROCESSO DE ACIARIA.....	57

4.1.2 PROCESSO DE LAMINAÇÃO.....	63
4.2 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	65
4.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS.....	71
5. TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	77
5.1 TÉCNICAS DE TRATAMENTO.....	77
5.1.1 ESCÓRIA.....	78
5.1.2 PÓ DE ACIARIA.....	81
5.1.3 CAREPA.....	83
5.1.4 TERRA DA “SHREDDER”.....	86
5.2 PROPOSTA DE GERENCIAMENTO.....	89
5.3 PROPOSTA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	97
5.3.1 PROPOSTA DE TRATAMENTO/UTILIZAÇÃO PARA ESCÓRIA.....	97
5.3.2 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA.....	99
5.3.3 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA CAREPA.....	101
5.3.4 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA TERRA DA “SHREDDER”.....	102
6. CONCLUSÕES.....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
ANEXOS.....	116

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PERCENTUAL DE DESTINAÇÃO DE AÇO DE DEMOLIÇÃO.....	28
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO POR TIPO DE ESCÓRIA (%).....	43
TABELA 3 - COMPARAÇÃO DE ESCÓRIA COM MATERIAIS CONCORRENTES.....	45
TABELA 4 - APLICAÇÃO DE ESCÓRIAS.....	46
TABELA 5 - GERAÇÃO DE PÓ DE ACIARIA.....	49
TABELA 6 - TRATAMENTO DO PÓ DE ACIARIA PELAS MAIORES EMPRESAS SIDERÚRGICAS SEMI-INTEGRADAS.....	49
TABELA 7 - CUSTO DE DISPOSIÇÃO DO PÓ DE ACIARIA NA EUROPA.....	50
TABELA 8 - GERAÇÃO DE PÓ DE ACIARIA NO BRASIL.....	51
TABELA 09 - GANHOS AMBIENTAIS E OPERACIONAIS COM A UTILIZAÇÃO DA SHREDDER.....	60
TABELA 10 - ENERGIA.....	66
TABELA 11 - RESÍDUOS SÓLIDOS.....	66
TABELA 12 - EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	67
TABELA 13 - CONSUMO DE ÁGUA.....	67
TABELA 14 - TRANSPORTE DE MATÉRIA PRIMA.....	67
TABELA 15 - TRANSPORTE DE PRODUTO ACABADO.....	67
TABELA 16 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DE PARTÍCULAS PELA ETAPA DO PROCESSO.....	69
TABELA 17 - PERCENTUAIS GERADOS DE PARTICULADOS PELA ETAPA DO PROCESSO.....	69
TABELA 18 - MATRIZ DE SOLUÇÕES EM FUNÇÃO DO % DE ZINCO.....	86
TABELA 19 - QUADRO COMPARATIVO ENTRE CAREPA E LAMA ASFÁLTICA.....	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO DA OFERTA MUNDIAL DE SUCATA EM FUNÇÃO DAS FONTES...	25
FIGURA 2 - DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DE SUCATA COLETADA NO ANO DE 1998.....	26
FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DO CONSUMO APARENTE DE PRODUTOS SIDERÚRGICOS POR SETORES CONSUMIDORES FINAIS - 2001.....	29
FIGURA 4 - ESCÓRIA DE ACIARIA ELÉTRICA.....	41
FIGURA 5 - GERAÇÃO DE ESCÓRIA (MILHÕES DE TONELADAS).....	42
FIGURA 6 - GERAÇÃO DE ESCÓRIA (VALORES RELATIVOS À PRODUÇÃO DE GUSA E AÇO BRUTO).....	42
FIGURA 7 - DESTINAÇÃO DAS ESCÓRIAS.....	44
FIGURA 8 - SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO DO FORNO ELÉTRICO.....	48
FIGURA 9 - VISTA DO SISTEMA DE DESPOEIRAMENTO DO FORNO ELÉTRICO.....	48
FIGURA 10 - MÁQUINA “SHREDDER”.....	53
FIGURA 11- SUCATA A SER PROCESSADA.....	53
FIGURA 12 - TERRA DA “SHREDDER”.....	54
FIGURA 13 - SUCATA PROCESSADA.....	54
FIGURA 14 - VISTA AÉREA DA USINA OBJETO DO ESTUDO DE CASO.....	56
FIGURA 15 - PROCESSO INDUSTRIAL DA USINA OBJETO DO ESTUDO DE CASO.....	57
FIGURA 16 - SHREDDER - MÁQUINA FRAGMENTADORA DE SUCATA.....	59
FIGURA 17 - VISTA GERAL DO FORNO ELÉTRICO.....	61
FIGURA 18 - VISTA GERAL DO FORNO PANELA.....	62
FIGURA 19 - MÁQUINA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO.....	63
FIGURA 20 - VISTA GERAL DO SETOR DA LAMINAÇÃO.....	64
FIGURA 21 - LOOP DE RECICLAGEM DO AÇO.....	65
FIGURA 22 - ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS.....	66
FIGURA 23 - CAPTAÇÃO DO PÓ DE ACIARIA.....	72
FIGURA 24 - PÓ DE ACIARIA EM <i>BIG BAGS</i>	72
FIGURA 25 - POÇO DE CAREPA.....	74
FIGURA 26 - CAREPA DE LINGOTAMENTO CONTÍNUO E LAMINAÇÃO.....	74
FIGURA 27 - TAXA DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA EM 2001.....	76
FIGURA 28 - <i>BENCHMARKING</i> Sid Si: TAXA DE DISPOSIÇÃO INADEQUADA EM 2001.....	76

FIGURA 29 - RECEBIMENTO DA CAREPA EM <i>BIG BAG'S</i>	83
FIGURA 30 - REATOR DE ENRIQUECIMENTO.....	83
FIGURA 31 - SULFATO FÉRRICO CLORADO.....	84
FIGURA 32 - RECEBIMENTO A GRANEL DA CAREPA.....	84
FIGURA 33 - MISTURADOR.....	84
FIGURA 34 - COLOCAÇÃO DA MASSA NO CONTRAPESO.....	84
FIGURA 35 - VISTA DOS CONTRAPESOS.....	84
FIGURA 36 - CHEGADA DA TERRA DA “SHREDDER” A SER PROCESSADA.....	87
FIGURA 37 - CARREGAMENTO DO ALIMENTADOR.....	87
FIGURA 38 - VISTA DO ALIMENTADOR DE ESTEIRA.....	87
FIGURA 39 - ENTRADA DO MATERIAL NO PENEIRAMENTO.....	87
FIGURA 40 - VISTA DAS PENEIRAS VIBRATÓRIAS.....	88
FIGURA 41 - ENCAMINHAMENTO DO MATERIAL FERROSO E NÃO-FERROSO.....	88
FIGURA 42 - SAÍDA DA TERRA DA SHREDDER PROCESSADA.....	88
FIGURA 43 - VISTA DA TERRA DA SHREDDER PROCESSADA.....	88
FIGURA 44 - ESTEIRA PARA SEPARAÇÃO DE MATERIAIS METÁLICOS E NÃO-METÁLICOS..	88
FIGURA 45 - CAÇAMBAS PARA A SEPARAÇÃO DE MATERIAL METÁLICO E NÃO-METÁLICO	88
FIGURA 46 - BAIAS DE SEPARAÇÃO DE MATERIAIS DIVERSOS.....	89
FIGURA 47 - MAPA DE GERAÇÃO DE RESÍDUO - PÓ DE ACIARIA.....	92
FIGURA 48 - FLUXOGRAMA DE DESTINAÇÃO DE PÓ DE ACIARIA.....	93
FIGURA 49 - MAPA DE GERAÇÃO DE RESÍDUO - ESCÓRIA.....	93
FIGURA 50 - FLUXOGRAMA DE DESTINAÇÃO DE ESCÓRIA.....	94
FIGURA 51 - MAPA DE GERAÇÃO DE TERRA DA “SHREDDER”.....	95
FIGURA 52 - MAPA DE GERAÇÃO DE CAREPA.....	96
FIGURA 53 - FLUXOGRAMA DE DESTINAÇÃO DE CAREPA.....	96
FIGURA 54 - PROPOSTA PARA FABRICAÇÃO DE TIJOLOS, UTILIZANDO-SE CERCA DE 40% TERRA DA “SHREDDER” PROCESSADA.....	103

ARAÚJO, José Alencastro de. **Resíduos sólidos na indústria siderúrgica: usina semi-integrada - um estudo de caso** . 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

RESUMO

A siderurgia é uma grande geradora de resíduos sólidos, em face das características intrínsecas dos processos que envolvem a produção e conformação do aço. O montante de materiais classificados como resíduos gerados pela siderurgia brasileira, em 2001, foi da ordem de 12 milhões de toneladas para uma produção de 26 milhões de toneladas de produtos, um índice de 46%, ou seja, 460kg por tonelada de aço. Neste trabalho é apresentado um breve histórico do setor siderúrgico e seus processos, assim como um relato sobre a legislação aplicável particularmente aos resíduos sólidos. É realizada uma análise sobre os quatro resíduos mais significativos gerados pela siderurgia: as escórias, o pó de aciaria elétrica, as carepas e a terra de "Shredder", e através de um estudo de caso de uma usina semi-integrada é detalhado o processo produtivo, os aspectos e impactos ambientais associados e o gerenciamento de resíduos adotado. É apresentado ainda um panorama dos principais usos, das tecnologias consagradas internacionalmente e das emergentes e se busca entender os processos de geração dos resíduos significativos com a utilização da metodologia do mapa de riscos, buscando aprimorar um sistema de gerenciamento que vise a minimização da geração de resíduos. E finalmente são apresentadas propostas de tecnologias promissoras e de tratamentos que visem a qualificação dos resíduos para usos ambientalmente corretos, incorporando técnicas de qualidade e aspectos sociais e econômicos. Concluí-se com a sugestão de novos trabalhos, principalmente quanto ao pó de aciaria, que se constitui no resíduo mais crítico daqueles gerados por uma usina semi-integrada.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos, usinas semi-integradas, sucata ferrosa, escória, pó de aciaria elétrica, carepas, terra da "Shredder".

ARAÚJO, José Alencastro de. **Resíduos sólidos na indústria siderúrgica: usina semi-integrada - um estudo de caso** . 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste.

ABSTRACT

The steel industry is a big generator of solid waste due to the intrinsic characteristics of the processes involving the production and rolling of steel. The amount of materials classified as waste generated by the Brazilian steel industry in 2001 was about 12 million tons for an output of 26 million tons of products, an index of 46%, i.e., 460 kg per ton of steel. A brief review of the steel section and its processes, as well as a report about the legislation applicable particularly to solid waste, is presented to allow the understanding of how that happens. An analysis on the four more significant types of waste - slag, electric arc furnace dust, mill scales and "Shredder" dust - generated by the steel industry is accomplished. The productive process, associated environmental aspects and impacts and the adopted waste management are detailed through a case study of a semi-integrated steel mill using ferrous scrap as main raw-material. A view of main uses and internationally consecrated and emergent technologies is further presented. Significant processes of waste generation are searched to be understood using processes map methodology, with the purpose to improve a management system that aims the minimization of waste generation. Finally, proposals of promissory technologies and treatments that aim the qualification of waste for environmentally correct uses, incorporating quality techniques and social and economic aspects are presented. It is concluded with the suggestion of new works, mainly with relation to electric arc furnace dust, that is the most critic waste of those generated by a semi-integrated mill.

KEYWORDS: Waste, semi-integrated mills, ferrous scrap, slag, electric arc furnace dust, mill scales, "shredder" residue

1. INTRODUÇÃO

A siderurgia é uma grande geradora de resíduos sólidos, em face das características intrínsecas dos processos que envolvem a produção e conformação do aço.

Segundo o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS, 2002), o montante de materiais classificados como resíduos gerados pela siderurgia brasileira, em 2001, foi da ordem de 12 milhões de toneladas para uma produção de 26 milhões de toneladas de produtos, um índice de 46%, ou seja, 460kg por tonelada de aço.

A quantidade de resíduos em uma planta siderúrgica depende diretamente da qualidade do material que é processado e do processo empregado. Alguns desses resíduos, em função de suas características, exigem tratamentos especiais para seu armazenamento e destinação, enquanto outros, só pelo volume de geração, comprometem espaços crescentes dentro das plantas.

Desde a Revolução Industrial, a população e o consumo de recursos têm crescido exponencialmente a ponto de, atualmente, a população dobrar a cada 40 anos e o consumo de material, a cada 20 anos. Sabe-se que esses níveis de crescimento e consumo não são sustentáveis.

O desenvolvimento sustentável, que corresponde a um desenvolvimento em escala sustentável em termos biofísicos, considerando a população mais a utilização *per capita* dos recursos (DALY, 1993), é a satisfação das necessidades humanas através do aumento da eficiência no uso de recursos sem aumentar, no entanto, a capacidade de processamento destes (COMISSÃO BRUNDTLAND, 1991). Isso requer uma redução do consumo de matérias-primas naturais não-renováveis, pois as capacidades de regeneração e assimilação da biosfera não podem suportar o aparentemente incompatível crescimento mundial dos níveis de consumo (DALY, 1993).

A resposta para esta questão seria o fechamento do ciclo produtivo, gerando novos produtos a partir da reciclagem de resíduos, ambientalmente eficientes e

seguros, que resultem em produtos com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivos nos diferentes mercados (ROCHA & JOHN, 2003). Isso leva a uma mudança na cultura da empresa: o resíduo vira um novo produto comercial (JOHN & ÂNGULO, 2003), a aplicação comercial para um resíduo demandará o conhecimento dos processos internos da empresa que definem as características dos resíduos, os consumidores deste novo produto exigem níveis de qualidade constante e prazos de fornecimento, e o processo precisa ser ajustado para atender a essa demanda (JOHN & ÂNGULO, 2003).

Um bom ponto de partida para a adequada avaliação dos aspectos e impactos ambientais envolvidos na gestão de resíduos é o entendimento do processo industrial (JOHN & ÂNGULO, 2003), porque freqüentemente existem variações no processo de produção, diferentes classes de um mesmo produto e matérias-primas podem variar significativamente a composição dos resíduos (JOHN & ÂNGULO, 2003). Também os processos de transporte e estocagem dos resíduos devem ser verificados, pois resíduos de naturezas diferentes são freqüentemente misturados nessas etapas, o que provoca contaminações recíprocas. Outro aspecto relevante é o tempo de estocagem, que pode possibilitar transformações no resíduo, como no caso das escórias de aciaria, em que o envelhecimento possibilita uma hidratação do CaO presente e a corrosão do ferro metálico.

A caracterização do resíduo requerida pelos órgãos ambientais para determinação da classe, embora importante, não é o suficiente para se avaliar o risco ambiental do resíduo. A caracterização da microestrutura é também decisiva; alguns resíduos podem conter fases metaestáveis e sofrer alterações alotrópicas que geram mudança de volume. Outras fases podem reagir com elementos do meio ambiente e aumentar a massa e o volume, por exemplo, nas escórias de aciaria, parte do CaO está presente na forma de óxido de cálcio puro, em uma das formas alotrópicas do C_2S , que também podem ser expansivas, ou em outras formas mineralógicas estáveis, como o silicato de cálcio (GEISELER, 1996). Parte do ferro, expresso na análise química como Fe_2O_3 , pode estar na forma de ferro metálico, cujo processo de corrosão pode levar a processos expansivos ou de manchamento dos produtos (MACHADO, 2000) ou combinada com cálcio ou magnésio, entre outros.

De forma geral, as pesquisas de reciclagem de resíduos se limitam a aspectos do desenvolvimento técnico do material e, de forma mais freqüente, felizmente, a analisar os impactos ambientais do processo. Entretanto, a ênfase na viabilidade do mercado é o fator decisivo para a eficácia da pesquisa, pois os benefícios sociais de um processo de pesquisa somente vão se realizar na sua totalidade se o novo produto produzido gerar empregos, reduzir o volume de aterros, consumir resíduos em vez de recursos naturais e evitar a contaminação do ambiente ou o comprometimento da saúde da população (JOHN & ÂNGULO, 2003).

Em resumo, embora o resíduo continue a ser um resultado não desejado, ele pode ter *status* de produto, com controle de processo a fim de aumentar a reciclabilidade (DESIMONE & POPOFF, 1998); a possibilidade de redução de custo na gestão de resíduos ou de aumentar o faturamento, o crescente rigor da legislação ambiental ou mesmos a postura ética frente às questões ambientais podem ser argumentos de convencimento para qualquer empreendedor gerador de resíduos. Os custos associados a resíduos podem chegar até a 20% dos custos totais de uma empresa e, via de regra, eles estão colocados em algum departamento, juntamente com custos de produtos e processos (DESIMONE & POPOFF, 1998).

1.1 DEFINIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O foco deste estudo de caso é a busca do entendimento sobre os resíduos sólidos mais significativos gerados por uma siderúrgica semi-integrada, cuja matéria-prima básica é a sucata ferrosa e o produto é a barra laminada para uso na construção civil, e que está situada no centro de uma área urbana, com o objetivo de trazer conhecimento sobre o processo de geração desses resíduos e da identificação de técnicas de utilização e tratamento ambientalmente eficientes e seguras, que possam permitir a aplicação de um modelo de gerenciamento.

1.2 MOTIVAÇÃO

Tudo um dia será resíduo: casas, automóveis, móveis, pontes, aviões. A este total, devem ser somados todos os materiais resultantes do processo de extração de matérias-primas e de produção de bens (ROCHA & JOHN, 2003); então, de produto a resíduo, é tudo somente uma questão de tempo. Encontrar meios que possam contribuir para maximizar este tempo é a grande motivação que levou ao desenvolvimento desta dissertação.

Além disso, conforme Triviños (1987), do ponto de vista instrumental, prático, recomenda-se que o foco da pesquisa de um estudante para o desenvolvimento de uma dissertação ou tese deva estar vinculado a dois aspectos fundamentais: 1) O tópico da pesquisa deve cair diretamente no âmbito cultural da graduação do estudante (secundariamente no da especialização); 2) O assunto deve surgir da prática cotidiana que o pesquisador realiza como profissional. Em função disso, devo esclarecer que este autor é graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Brasília, em 1976, com especialização em Gestão Ambiental pela *Association for Overseas Technical Scholarship* (AOTS), em Yokohama, no Japão, em 1989, e na Unicamp, em 1996, e especialização em Resíduos Siderúrgicos também pela AOTS, em 1993. Tem uma atuação profissional na área ambiental no setor siderúrgico desde 1985, permitindo assim oportunidade para obtenção de dados e informações de diversas usinas no Brasil e no exterior através de visitas técnicas e trabalhos desenvolvidos, além da troca de experiências com os profissionais do setor em fóruns como o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), o Instituto Latino-Americano de Ferro e Aço (ILAFA) e o Instituto internacional de Ferro e Aço (IISI), assim como acesso aos dados da planta objeto do estudo de caso.

Essa vivência permitiu ter a percepção, na usina objeto do estudo de caso, de uma contradição na política de qualidade quando se trata da relação entre produtos e resíduos, onde estes podem significar uma clara oportunidade de negócios.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta dissertação é contribuir para aprimorar os sistemas de gerenciamento dos resíduos sólidos mais significativos gerados pelas usinas siderúrgicas semi-integradas. Os objetivos específicos são:

- 1 - Aplicar metodologia de análise dos processos de geração dos resíduos sólidos, mapa de processos, buscando identificar oportunidades de minimizar geração;
- 2 - Buscar a viabilização de aplicações ambientalmente corretas, social e comercialmente atrativas para os resíduos;
- 3 - Identificar novas tecnologias passíveis de serem desenvolvidas para o tratamento de resíduos que incorporem as abordagens socioambientais às de características técnicas de qualidade;
- 4 - Entender o gerenciamento de resíduos aplicado pela usina objeto do estudo de caso.

1.4 METODOLOGIA

Definir as hipóteses da pesquisa é provavelmente o passo mais importante a ser considerado em um estudo. Conforme Yin (2003), o estudo de caso é apenas uma das muitas maneiras de se fazer pesquisa; entretanto, esta estratégia é muito utilizada nas situações nas quais se incluem as áreas profissionais como a administração empresarial e os estudos organizacionais e gerenciais, particularmente quando se examinam acontecimentos contemporâneos e as fontes de evidências são as observações diretas.

Segundo Triviños (1987), esses estudos têm por objetivo aprofundar a descrição de determinada realidade e se caracterizam principalmente por duas circunstâncias: de um lado, a natureza e abrangência do objeto de estudo e de outro, a complexidade determinada pelos suportes teóricos que servem de orientação à pesquisa.

Para Stoecker (1991), o estudo de caso não é nem uma tática para a coleta de dados nem meramente uma característica do planejamento em si, mas uma pesquisa abrangente. Stake (1994), acredita que os estudos de caso não sejam “uma escolha metodológica, mas uma escolha do objeto a ser estudado”. Ainda segundo Yin (2003), quando as abordagens da pesquisa salientam questões do tipo “como” e “por que”, que

são mais explanatórias, é provável que levem ao uso do estudo de caso; isso se deve ao fato de que tais questões lidam com ligações operacionais que devem ser traçadas ao longo do tempo em vez de ser encaradas como meras repetições ou incidências.

Com efeito, a presente pesquisa se classifica como estudo de caso e, no seu desenvolvimento, deve responder às seguintes questões: como uma usina siderúrgica semi-integrada gera seus resíduos mais significativos e como deve tratá-los. Nesse sentido, conforme Lipset (1956) o objetivo do pesquisador é fazer uma análise “generalizante” e não “particularizante”; e ainda de acordo com Yin (2003), expandir e generalizar teorias e não enumerar frequências. Para Trivinos (1987), o grande valor do estudo de caso é fornecer o conhecimento aprofundado de uma realidade delimitada e formular propostas para o encaminhamento de outras pesquisas.

Neste estudo de caso serão utilizadas técnicas de análise documental, particularmente de relatórios de caracterização de resíduos e de monitoramentos ambientais; aplicação da metodologia de mapas de processos para entendimento dos mecanismos de geração dos resíduos, observações do processo de geração, dos pontos de coleta, armazenamento e transporte de resíduos. Na pesquisa serão utilizadas bibliografias e visitas técnicas a unidades de tratamento para a discussão das tecnologias.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, iniciando-se pela Introdução, na qual é definido o objeto de estudo da dissertação; em seguida, são apresentados a motivação para a escolha do tema, assim como os objetivos gerais e específicos do trabalho; encerrando a parte introdutória, apresentam-se a metodologia da pesquisa e a estruturação geral do trabalho.

O Capítulo 2 se inicia com um breve histórico do setor siderúrgico e uma conceituação dos principais processos, trazendo informações sobre os processos das usinas integradas e semi-integradas; em seqüência, é traçado um panorama do mercado siderúrgico mundial e brasileiro, com uma abordagem sobre a sucata ferrosa, principal matéria-prima de uma usina semi-integrada. Mostra-se, ainda, um breve comentário sobre o meio ambiente e o setor siderúrgico.

No Capítulo 3 é apresentada a legislação ambiental aplicável ao setor, sendo realizada uma análise detalhada sobre a geração dos resíduos mais significativos da

indústria siderúrgica: a escória de aciaria e de alto forno, o pó de aciaria elétrica, a carepa do lingotamento contínuo e da laminação, e o material resultante do beneficiamento da sucata ferrosa, a terra da “Shredder”.

O estudo de caso de uma usina semi-integrada tem lugar no Capítulo 4, com apresentação do processo produtivo, dos aspectos e impactos ambientais oriundos deste processo, e a análise do modelo de gerenciamento adotado.

Segue-se o Capítulo 5, no qual é apresentado um panorama das principais aplicações para os resíduos mais significativos, derivado de uma análise bibliográfica e documental que envolveu publicações, visitas técnicas a usinas siderúrgicas e unidades de tratamento de resíduos na Europa e Estados Unidos. Apresenta-se também um modelo de gerenciamento de resíduos a partir do estudo detalhado da geração de cada resíduo, fonte das principais informações quanto às variabilidades presentes, através do mapa de processo, sendo, ainda, apresentadas propostas de tratamento.

O trabalho se encerra no Capítulo 6, com a Conclusão, na qual são ressaltados os principais aspectos envolvidos no gerenciamento dos resíduos mais significativos de uma usina siderúrgica semi-integrada e sugestões para outros trabalhos.

2. O SETOR SIDERÚRGICO

Este capítulo se inicia com um breve histórico do setor siderúrgico, trazendo informações sobre os processos das usinas integradas e semi-integradas; em seguida, é traçado um perfil do mercado siderúrgico mundial, com uma abordagem sobre o consumo de energia e a geração e reciclagem da sucata ferrosa, principal matéria-prima de uma usina semi-integrada. É traçado um perfil da siderurgia brasileira e, ainda, um breve comentário sobre o setor siderúrgico e o meio ambiente, visando a dar um panorama do porte do setor e dos recursos naturais e financeiros envolvidos.

2.1 HISTÓRICO E CONCEITUAÇÃO

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida a partir da Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como também lhes adicionar propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto e à corrosão. 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 (ARAÚJO, 1997).

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono, com teor de carbono de 0,008% a 2,0% (ARAÚJO, 1997). Existem evidências de produção de ferro anterior a 1600 a.C.; sabemos que houve produção de aço em pequena escala por volta do século IV d.C.; entretanto, foi somente na metade do século XIX que Henry Bessemer desenvolveu o primeiro processo econômico para produção de aço em grande escala. A tecnologia dominante para a fabricação de aço, atualmente, é a que utiliza oxigênio básico (*BOF*), um aperfeiçoamento de uma descoberta de Bessemer e desenvolvida na América nos anos 1950. O forno elétrico a arco foi inventado em 1881.

O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, na forma de minério: é um óxido de ferro, fortemente associado ao oxigênio e à sílica.

O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas. Na siderurgia, as fontes de carbono mais utilizadas são:

- carvão mineral: extraído de minas subterrâneas, é processado na coqueria, que produz o coque metalúrgico;
- carvão vegetal: obtido através da carbonização de madeira;
- coque de petróleo: coque verde produzido no refino do petróleo, calcinado para utilização nas aciarias.

Em usinas integradas, dentro de um equipamento chamado alto forno, o carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério de ferro. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro para se ligar ao carbono chama-se redução (ARAÚJO, 1997).

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, ou sinter, e o carvão é coqueificado, para obtenção do coque, dele se obtendo ainda subprodutos carboquímicos

As usinas de aço do mundo inteiro, segundo o seu processo produtivo, classificam-se em:

Integradas – são usinas que iniciam o processo siderúrgico com minério de ferro, fundentes e coque no alto forno para a produção do ferro gusa e terminam o processo com o produto acabado pronto para o uso.

Semi-integradas – são usinas que iniciam o processo siderúrgico a partir da aciaria, utilizando sucata de aço, ferro fundido e ferro gusa como matérias-primas e concluindo o processo também com produtos prontos para o uso.

Existem, ainda, unidades produtoras chamadas de não-integradas, que operam apenas uma fase do processo: redução ou laminação. No primeiro caso, estão os produtores de ferro gusa, os chamados guseiros, que têm como característica comum o emprego de carvão vegetal em altos fornos para redução do minério. No segundo, estão os relaminadores, geralmente de placas e tarugos, adquiridos de usinas integradas ou semi-integradas e os que relaminam material sucateado.

No mercado produtor mundial operam, ainda, unidades de pequeno porte que se dedicam exclusivamente a produzir aço para fundições.

A primeira etapa para a produção do aço é iniciada no alto forno, onde o minério de ferro se funde formando um metal líquido chamado de ferro gusa. A parte líquida não metálica, que também é formada neste processo de redução, é chamada de escória, impurezas que contém óxidos CaO , SiO_2 , P_2O_5 , MgO , etc.

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, através da queima de carbono e posterior adições de ligas. O refino do aço se faz em convertedores LD¹ ou fornos elétricos.

O processo tem seguimento com a etapa do lingotamento, na qual o aço líquido é conformado em tarugos, placas ou lingotes.

Finalmente, a quarta etapa clássica do processo de fabricação do aço é a laminação, na qual o aço é deformado mecanicamente para a fabricação de produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc.

Com a evolução da tecnologia, as etapas de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção (ARAÚJO, 1997).

¹ LD - Linz Donavit - processo austríaco que transforma o gusa em aço com uso intensivo de oxigênio.

2.2 O MERCADO MUNDIAL DO AÇO

Anualmente, em torno de novecentos milhões de toneladas de aço são produzidos e consumidos, em todo o mundo; 60% desse total é produzido através do processo a oxigênio básico e 40%, através do processo de forno elétrico a arco (IBS, 2004).

O consumo anual de aço nos países desenvolvidos gira em torno de 400kg *per capita*, e a média mundial de consumo gira em torno de 138kg *per capita* (IBS, 2004). O fato de a crescente demanda mundial por aço exceder o fornecimento de sucata significa que é necessário continuar produzindo aço do ferro para o futuro próximo. Quando a demanda mundial se estabilizar e os índices de recuperação e reciclagem aumentarem continuamente, é provável que todo o aço seja produzido no forno elétrico a arco, num cenário sustentável, sob o ponto de vista do consumo de recursos naturais não-renováveis (IBS, 2002).

A produção mundial de aço bruto, em 2003, alcançou 964,7 milhões de toneladas e correspondeu, em massa, a mais de 80% de todos os metais produzidos no mundo. Esta marca, que dá a dimensão da importância do aço, superou o volume de 800 milhões de toneladas alcançados em 2000, quando se registrou um recorde histórico. A participação do Brasil praticamente se manteve nos últimos três anos, sendo responsável por 3,2% desta produção, como o 9º maior produtor mundial (IBS, 2004), depois de China, Japão, Estados Unidos, Rússia, Coreia do Sul, Alemanha, Ucrânia e Índia.

Na América Latina, de modo geral, observou-se em 2003 um aumento da produção de 6% em relação ao ano anterior. A produção brasileira na América Latina subiu aproximadamente 2%, representando 52,3% do total da região, seguida da mexicana e da argentina, com 25,4% e 8,5%, respectivamente, o que reforça a posição de liderança do setor brasileiro em mais da metade da produção da América Latina (IBS,2004).

2.2.1 CONSUMO DE ENERGIA

Para a fabricação do aço, as indústrias siderúrgicas utilizam um montante significativo e variado de energia. A siderurgia americana consome 36,5% de coque, a eletricidade (20%) 21% de gás natural e 21% de eletricidade para fabricar 1 tonelada de aço bruto.

Os franceses consomem mais o carvão (39,6%) e o coque (23,3%); os alemães, o coque (29,9%), o carvão (19,7%) e a eletricidade (13,7%); os japoneses, o coque (38,5%), a eletricidade (20%), o carvão (10%) e o vapor (9,8%), e os espanhóis têm perfil semelhante ao dos franceses, carvão (30,2%), coque (24,4%) e eletricidade (22%). (IISI, 2003) Já os brasileiros estão mais próximos dos alemães: coque (41,7%), carvão (22,6%) e eletricidade (8,1%); o fato novo é o uso do gás natural (6,1%) em substituição ao óleo combustível (0,7%), alteração que começou a se tornar significativa a partir de 1995 (BRASIL, 2002).

Em 2000, foram consumidos no Brasil pelo setor cerca de 15 mil Gwh de energia elétrica, um aumento de 16% com relação a 1999 e de quase 25% quando comparado com o ano de 1998. Esse nível de consumo coloca o setor do aço entre os maiores consumidores de energia elétrica de toda a indústria brasileira. Na década de 1990, o setor produziu, em média, 1,8 mil toneladas de aço bruto por GWh (IBS, 2002).

O consumo de energia é importante por duas razões essenciais: 1) 90% da energia consumida mundialmente são gerados de fontes de carbono finitas e não-renováveis; 2) a produção de energia derivada de combustíveis fósseis causam o aquecimento global através de emissão de gases, especialmente a do dióxido de carbono.

Em nosso atual nível de consumo de combustíveis fósseis, estima-se que as reservas conhecidas terão uma duração de 50 a 70 anos (petróleo e gás natural). Entretanto, no Brasil, a energia elétrica deriva predominantemente de fontes hídricas; já as reservas conhecidas de carvão, importantes para a produção de

coque pelo processo de oxigênio básico, durarão, no mínimo, 200 anos no atual nível de consumo mundial. (IBS,2002).

2.2.2 RECICLAGEM

A indústria siderúrgica mundial e a brasileira se encontram alicerçadas no uso da sucata como matéria-prima na produção de ferro e aço, em função principalmente da expressiva economia energética no processo produtivo. A sucata de ferro é obtida, de modo geral, a partir de rejeitos industriais e pela obsolescência de bens de consumo e de capital, sendo adquirida diretamente no mercado, através dos depósitos de sucata. As sucatas geradas internamente na própria siderúrgica e a industrial constituem matérias-primas com baixos níveis de contaminantes, enquanto a sucata de obsolescência se refere a bens de pós-uso, como automóveis, eletrodomésticos, silos e tanques de estocagem, etc; por isso, esta última necessita de processamento prévio ao seu uso siderúrgico (ANDRADE et al., 2000).

A oferta mundial de sucata tem oscilado nos últimos anos entre 370 e 390 milhões de toneladas, sendo que, deste volume, aproximadamente 70% provêm da coleta de sucata industrial e de obsolescência, enquanto o restante é proveniente das próprias indústrias de siderurgia e fundição (Figura 1). Há tendência de redução da oferta de sucata gerada internamente no setor siderúrgico, uma vez que as inovações tecnológicas têm proporcionado melhoria na eficiência dos processos e operações.

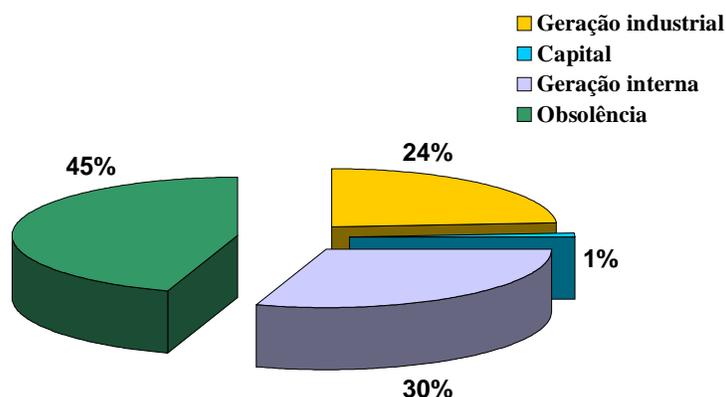


Figura 1 - Distribuição da oferta mundial de sucata em função das fontes

Fonte: Andrade et al. (2000).

A maior utilização do lingotamento contínuo, por exemplo, diminui a produção interna de sucata nas siderúrgicas, aumentando a necessidade de sucata externa (MOREIRA, 2001). Estima-se, ainda, que a taxa média anual de aumento na geração da sucata de obsolescência, calculada com base nos dados reunidos entre os anos de 1995 e 2000, tenha sido igual a 4%. Para o ano de 2010, estima-se que somente a sucata de obsolescência representará algo em torno de 60% da oferta mundial de sucata, o que, somado à sucata de geração industrial, resultará em 84% da oferta mundial de sucata (ANDRADE et al., 2000). De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), cerca de 25% da produção brasileira de aço no ano 2000 foi à base de sucata, na sua maior parte adquirida no mercado (SIMEÃO, 2003).

O processamento da sucata de obsolescência, previamente ao uso nos fornos, geralmente fica a cargo da indústria sucateira, formada por agentes, distribuidores e processadores (SIMEÃO, 2003). É importante salientar que uma tonelada de aço produzida com sucata consome cerca de 33% da energia necessária para a produção dessa mesma quantidade a partir do minério de ferro (ANDRADE et al., 2000). Para se ter uma idéia, as siderúrgicas que utilizam aciaria elétrica precisam de 1.100kg de sucata para produzir 1 tonelada de aço bruto. No caso das usinas integradas, o volume de sucata é significativamente menor mas

ainda necessário, pois para se produzir 1 tonelada de aço bruto são necessários, além do minério de ferro e outros insumos, 175kg de sucata.

Quanto à distribuição mundial da sucata de obsolescência, nota-se que a disponibilidade é diretamente relacionada com o grau de desenvolvimento econômico do país, como apresentado na Figura 2.

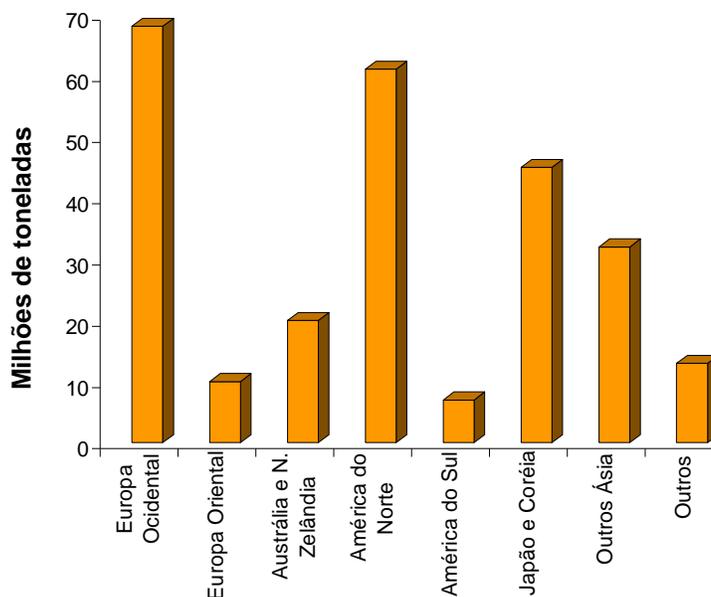


Figura 2 - Distribuição mundial da sucata coletada no ano de 1998
Fonte: ANDRADE et al., 2000.

O aço é o material mais reciclado no mundo, diferente de outros materiais de construção similares, os quais são simplesmente triturados e “transformados” em produtos de baixa funcionalidade para evitar outros custos com depósitos de refugos; o aço é 100% reciclável, com pequena ou nenhuma perda das propriedades inerentes.

O valor econômico intrínseco de sua sucata garante que o aço seja recuperado e conservado com as mesmas propriedades de valor. A infra-estrutura internacional de sucata garante que esta seja eficientemente coletada, processada e negociada mundialmente.

A reciclagem do aço ocorre durante o ciclo de vida de produtos de aço, seja durante a fabricação de produtos ou no pós-uso, as obsolescências: 1) na produção do aço, em que a sucata produzida no ambiente de fábrica é recuperada dentro das

aciarias; 2) na manufatura de produtos, em que limalhas, aparas, retalhos, cavacos, resíduos de torneamento, etc. são recuperados; 3) no final do ciclo de vida, quando o consumidor posterior da sucata de aço “obsoleta” a recupera e a retém dentro do sistema.

A reciclagem beneficia o meio ambiente porque previne perdas descartadas em aterros, reduz o gasto de recursos (substitui a produção primária nas usinas integradas) e reduz a energia requisitada para a produção do aço (a energia média necessária para produzir aço através de forno elétrico a arco é de apenas 33% daquela requerida pelo processo primário nas usinas integradas).

Além de reciclar a sucata ferrosa em seu processo, o produto da siderurgia também é reciclável e o valor econômico da sucata de aço, conjugado a uma infraestrutura bem estabelecida para a recuperação, processamento e transporte, assegura que, virtualmente, todo material obsoleto disponível no local da demolição seja recuperado. Conseqüentemente, através da reciclagem, economiza-se com despesas e impostos diversos provenientes de aterros.

Uma recente pesquisa feita no Reino Unido (IISI, 2003), conforme se observa na Tabela 1, mostra que a grande maioria do aço dos locais de demolição está sendo recuperada. Em média, 85% estão sendo reciclados e, ainda, 10% a 12% reutilizados; apenas nos usos em revestimentos misto para piso e em aço não-estrutural é que temos um menor percentual de recuperação e, por conseguinte, uma maior destinação para aterros. Esta excelente situação pode ainda ser melhorada, dando-se maior consideração ao potencial de desmontagem durante as fases de produtos e pelo incentivo à reutilização.

Tabela 1 - Percentual de destinação de aço de demolição

Destinação do aço de demolição	Seleções Estruturais	Suportes e trilhos	Revestimentos de aço inoxidável	Revestimentos misto para piso	Rebarbas	Aço não-estrutural
%	86	89	79	79	91	85
Reciclagem						
%	13	10	15	6	1	2
Reutilização						
%	1	1	6	15	8	13
Aterramento						

Fonte: IISI, 2003

2.3 A SIDERURGIA BRASILEIRA

O setor siderúrgico foi intensamente desenvolvido nas décadas de 1940 e 1950, e, mais recentemente, modernizado após as privatizações ocorridas durante os últimos 15 anos. Este processo, no período 1994/2000, contou com investimentos de US\$10 bilhões, voltados essencialmente para a modernização, redução de custos, gestão ambiental e melhoria da produtividade das usinas, gerando importantes ganhos em termos de arrecadação de impostos e melhores condições de trabalho e vida para os empregados e seus familiares. Com visão de longo prazo, o setor já tem projetos definidos até 2006, que correspondem a investimentos de mais de US\$4,4 bilhões (IBS, 2002).

As principais mudanças ocorridas no setor siderúrgico nos últimos dez anos são as seguintes (IBS, 2002): 1) Em 1992, mais de dois terços da produção de aço eram estatais - atualmente todas as empresas siderúrgicas são privadas; 2) Em 1992, existiam 30 empresas produzindo 23,9 milhões de toneladas de aço por ano - em 2001, havia 11 empresas produzindo 26,7 toneladas por ano; 3) Desde a década de 1990, a siderurgia brasileira vem se mantendo entre a 8^a e a 9^a posição relativas no mundo; 4) De 1990 a 1993, os investimentos alcançaram a média anual de

US\$441 milhões - em 2001, este número foi praticamente quatro vezes maior; 5) Em 1992, a produtividade representava 220 toneladas/homem/ano - em 2001, representava o dobro deste valor.

O setor siderúrgico brasileiro atualmente conta 12 empresas, tem uma capacidade instalada de 34 milhões de toneladas de aço bruto, gera 71 mil empregos diretos e cerca de 284 mil indiretos. Constitui-se na segunda maior contribuição do setor industrial, com US\$3,86 bilhões, para o saldo de US\$24,8 bilhões da balança comercial do país, assegura o pleno abastecimento do mercado doméstico graças à capacidade e à qualidade de atendimento proporcionadas pela modernização, o que ocorre sem prejuízo da posição exportadora brasileira.

A distribuição do consumo aparente de produtos siderúrgicos por setores consumidores finais, em 2001, pode ser observada na Figura 3, na qual se observa que a construção civil e os setores automotivos e de bens de capital são os grandes consumidores de aço.

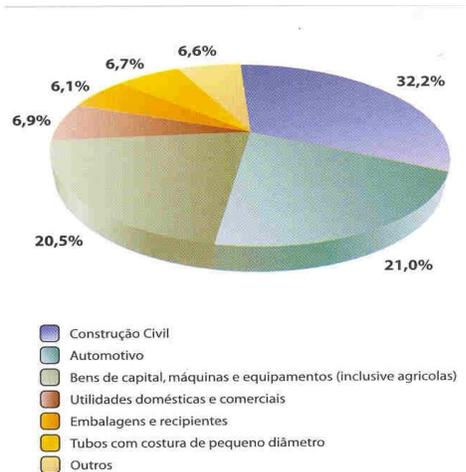


Figura 3 - Distribuição do consumo aparente de produtos siderúrgicos por setores consumidores finais 2001

Fonte: IBS, 2002.

2.3.1 O MEIO AMBIENTE E A SIDERURGIA

As empresas brasileiras do setor siderúrgico têm buscado na ecoeficiência dos seus processos um meio adicional para produzir bens e serviços a custos mais competitivos. Incorporam em seus modelos de gestão a melhoria contínua dos seus processos e produtos, como forma de satisfazer as necessidades de um mercado cada vez mais exigente de produtos de alta qualidade e ambientalmente mais seguros.

Não só a adoção pela siderurgia brasileira desta visão mais abrangente, como também práticas coerentes, têm permitido alinhar seus valores e interesses com os da sociedade como um todo, contribuindo para melhorar a visão do público em geral sobre a importância do setor para a economia do país.

Intensiva no uso de materiais e energia, a siderurgia aprendeu que poluição está mais facilmente associada com desperdícios e custos mais elevados do que com progresso e desenvolvimento.

O investimento em meio ambiente pelas indústrias siderúrgicas brasileiras consumiu, de 1994 a 2001, cerca de R\$1,2 bilhões (IBS, 2003). As principais prioridades têm sido a redução das emissões atmosféricas de CO_2 , SO_x e NO_x , tratamento dos efluentes e reuso da água e, por último, a reciclagem/disposição de resíduos sólidos, com destaque para as escórias. As emissões atmosféricas atualmente respeitam os limites estabelecidos pela legislação vigente, e praticamente 100% das fontes fixas têm equipamentos de controle instalados (BARTON, 2003); do total de águas utilizadas pela indústria, em média, 85% são provenientes de recirculação (IBS, 2003).

O setor tem procurado otimizar o uso dos recursos naturais, matérias-primas e insumos que utiliza, assim como tem buscado reduzir a geração de resíduos e maximizar a reciclagem. Nesse sentido, o conjunto das empresas brasileiras de siderurgia, entre reuso no processo e venda a terceiros, vêm reciclando cerca de 62% dos seus resíduos (IBS, 2002), o que significa que 38% dos resíduos sólidos gerados estão sendo estocados dentro das plantas ou destinados a aterros

licenciados (IBS,2003). Dentre os resíduos sólidos não totalmente reaproveitáveis, destacam-se as escórias de siderurgia geradas em alto forno e aciaria (OLIVEIRA, 2004).

Em relação ao desempenho socioambiental do setor siderúrgico, conforme o Relatório de Pesquisa I (FERREIRA, 2004), com algumas empresas do setor, dos investimentos ambientais citados nos relatórios de gestão ambiental não foi possível identificar claramente se representavam compensações, recuperações ou prevenções. Quando se procurou identificar a evolução desses investimentos, o resultado foi que algumas empresas diminuíram o valor investido entre 2002 e 2003; esse fato, por si só, não pode ser considerado ruim, pois poderia não haver necessidade de mais investimento. Embora as empresas digam que melhoraram seus índices de geração de poluição, os números apresentados não são claros, já que não há referência ao “estoque de poluição” ou “estoque de dívida ambiental” em termos concretos.

3. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Neste capítulo é apresentado um breve histórico da legislação ambiental brasileira que trata de resíduos industriais, desde a primeira Lei Federal de 1954 até ao Projeto de Lei 121/03, que propõe a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Anteprojeto da Política Estadual de Resíduos Sólidos. Além disso, é realizada uma análise detalhada sobre a geração e destinação dos principais resíduos da indústria siderúrgica - a escória de aciaria e de alto forno, o pó de aciaria elétrica, a carepa do lingotamento contínuo e da laminação - e o material resultante do beneficiamento da sucata ferrosa - a terra da "Shredder"

3.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

O primeiro diploma legal que fez referência a resíduos foi a Lei Federal nº 2312/54, que dispõe sobre normas gerais de defesa e proteção da saúde. O Decreto nº 49974-A/61 regulamentou a referida lei, sob a denominação de Código Nacional da Saúde, que, como norma geral, dispõe que as indústrias instaladas ou a serem instaladas devem submeter, nos devidos prazos, seus planos de lançamentos de resíduos líquidos, gasosos e sólidos à autoridade sanitária competente visando a evitar os inconvenientes ou prejuízos da poluição e da contaminação das águas receptoras, de áreas territoriais e da atmosfera (MACHADO, 2004).

Em seguida, ainda que de uma forma indireta, o Estatuto da Terra, instituído pela Lei Federal nº 4504/64, garante a todos o acesso à propriedade da terra, condicionado por sua função social, que ocorre quando, entre outras características, assegura a conservação dos recursos naturais. É certo que o adequado gerenciamento de resíduos perigosos, notadamente os agrotóxicos, é uma das exigências básicas para a conservação dos recursos naturais do campo, apesar de o Estatuto da Terra não lhes fazer referência (CASTRO, 2003).

Em 1970, o estado de São Paulo já proibia o lançamento dos resíduos sólidos a céu aberto (MACHADO, 2004), mas foi a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, em 1972, que o avanço foi significativo: o Brasil foi signatário do Tratado de Estocolmo, o qual determinava que

as políticas ambientais de todos os Estados devem fortalecer e não afetar de maneira adversa o potencial de desenvolvimento presente e futuro dos países em desenvolvimento, nem se antepor ao alcance de melhores condições de vida para todos.

Em vista disso, diversas ações foram estabelecidas para a proteção ambiental, como a Lei nº 898/75, que previu restrições a serem estabelecidas em lei sobre condições de coleta, transporte e destino final de esgotos e resíduos sólidos nas áreas de proteção dos mananciais, cursos e reservatórios de água e demais recursos hídricos de interesse da região metropolitana da Grande São Paulo, artigo 11, XII (MACHADO, 2004), e a Lei nº 997/76, que dispõe sobre o controle da poluição ambiental e, especificamente em São Paulo, a criação da Cetesb, órgão estadual de controle ambiental. O Decreto Estadual nº 8468/76, que veio regulamentar a Lei nº 997/76, em seu capítulo III, título 6, artigos 51 a 56, faz referência à disposição de resíduos sólidos.

A Portaria nº 53/79, do Ministério do Interior, estabeleceu que os projetos para tratamento e disposição de resíduos sólidos ficam sujeitos à aprovação do órgão estadual de controle da poluição, inexistindo entidade estadual para efetuar o exame dos projetos referidos ou a sua fiscalização, poderá o órgão federal agir diretamente.

A Lei nº 6938/81 estabeleceu a Política Nacional de Meio Ambiente, regulamentada pelo Decreto Federal nº 99274/90, que considera infrações administrativas as atividades que causem degradação ambiental, especificamente emitir ou despejar efluentes ou resíduos sólidos, líquidos ou gasosos, sem a observância das normas legais atinentes à matéria (CASTRO, 2003). Conforme o artigo 17 desta lei, o registro das pessoas jurídicas que se dedicam às atividades poluidoras e à extração, produção, transporte e comercialização de produtos

perigosos deve ser feito num Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras.

Em 1986, através da Resolução nº 001, o Conselho Nacional de Meio Ambiente - Conama instituiu a obrigatoriedade dos Estudos de Impacto Ambiental e dos Relatórios de Impacto ao Meio Ambiente (EIA/RIMA), que, entre outras exigências, obriga o empreendedor a prever e planejar meios de gerenciar seus resíduos sólidos.

Em 1987, a Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), publicou uma série de normas, a partir da NBR 10004, que dá critérios para a classificação de resíduos no país. Segundo esta norma, os resíduos devem ser classificados em 3 tipos: classe 1 - resíduo perigoso; classe 2 - resíduo não-inerte; classe 3 - resíduo inerte. Em seguida, vêm as normas NBR 10005, de ensaio de lixiviação, que é empregada para definir se um determinado resíduo é perigoso ou não, e a NBR 10006, de ensaio de solubilização, para verificar se um determinado resíduo é inerte ou não.

Basicamente, para um resíduo ser classificado como inerte, deve ser assegurado que, se ele entrar em contato com a água subterrânea, não vai haver alteração nas condições de potabilidade dessa água. A norma NBR 10007 define as condições para coleta e amostragem dos resíduos (CLÁUDIO, 1993). Além destas, foi publicada a norma NBR 10157/87 que trata dos critérios para projeto, construção, e operação de aterros. A norma 10004 veio a ser revisada em 2004; entre outras alterações, classificou os resíduos apenas em 2 tipos: os perigosos e os não perigosos, e estes se subdividem em inertes e não-inertes.

Em 1988, o Conama adotou a Resolução nº 6, posteriormente revogada pela Resolução nº 313/02, estabelecendo a necessidade do inventário de resíduos; esta foi a primeira medida concreta na tentativa de estabelecer uma política de resíduos no país (CLÁUDIO, 1993).

A Resolução nº 06/88 estabelece que toda e qualquer obra de unidades de transferência, tratamento e disposição final de resíduos sólidos de origem industrial ficam sujeitas ao licenciamento. Na elaboração do projeto, o empreendedor deverá

atender aos critérios e parâmetros estabelecidos previamente pelo órgão ambiental competente. Os anexos desta resolução contêm um modelo do inventário de resíduos, as instruções para o seu preenchimento, os códigos utilizados para a classificação, acondicionamento, sistema de estocagem, tratamento e destino final dos resíduos. O inventário contém cinco áreas básicas de informações: gerador de resíduos, características do resíduo (origem, quantidade gerada, estado físico, aspectos gerais, composição, poluentes potenciais, classificação de acordo com NBR 10004/87, testes de lixiviação e solubilização, código), dados sobre o transporte dos resíduos, dados sobre estocagem/tratamento/destino dos resíduos e o responsável pelo preenchimento do inventário.

Em 1988, foi destinado um capítulo específico de meio ambiente na Constituição Brasileira, dispondo claramente sobre medidas de proteção ambiental.

Não é outra a disposição da Carta Magna no que diz respeito aos princípios gerais da atividade econômica, que deve valorizar o trabalho humano e defender o meio ambiente, o que significa dizer que a liberdade de produção não libera a empresa da responsabilidade de dar aos seus resíduos tratamentos adequados. (CASTRO, 2003)

A Convenção da Basileia, Suíça, realizada em março de 1989, preconizou que o movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e outros deve ser reduzido ao mínimo compatível com a sua administração ambiental saudável e eficiente. (LORA, 2002)

Em 1990 e 1992, a ABNT publicou outra série de normas referentes à execução de aterros e de armazenamento de resíduos (NBR-12.235/92 Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos e NBR- 11174/90 Armazenamento de Resíduos Classes II – Não-Inertes e III - Inertes).

Em 1992, foi realizada no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, que veio consolidar o princípio de que “todos os seres humanos têm direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza”. (CUSTÓDIO, 1993)

Não é raro o Estado deparar com uma situação nova, criada pelo progresso e pela evolução dos costumes, a exigir uma providência legislativa que ponha fim a um comportamento reprovado pela coletividade (PIMENTEL, 1972).

Assim, em 1998 foi promulgada a Lei nº 9605/98, que merece destaque especial pela sua importância para o Direito Penal Ambiental, particularmente quanto ao controvertido tema sobre a responsabilidade penal da pessoa jurídica (DESTEFENNI, 2004). Segundo Luiz Regis Prado,

influenciado, de certa forma, pelo sistema anglo-americano em que essa responsabilidade é normalmente admitida, teve o legislador pátrio, claramente, como fonte de inspiração o modelo francês [...] recentemente adotado pelo Código Penal (arts. 121-2), que está em vigor desde 1º de março de 1994.

Sem dúvida, além de questão polêmica, a responsabilidade dos entes morais é a maior novidade da nova lei de tutela do meio ambiente (DESTEFENNI, 2004), ou, como diz Sícoli (1998), “trata-se de uma verdadeira revolução do Direito Penal pátrio, tradicionalmente edificado em torno da responsabilidade individual e no princípio da intranscendência”

Especificamente, o gerenciamento de resíduos industriais na siderurgia, envolvendo desde a geração até a disposição e destinação final, é, como já descrito, uma exigência legal, definida através das legislações federal, estadual e municipal, disciplinado pelas normas técnicas estabelecidas pela ABNT.

A legislação estabelece que os geradores são responsáveis pela destinação e disposição final dos resíduos industriais; portanto, é importante que os geradores tenham caracterizações adequadas de seus resíduos, selecionem tratamento e disposição final técnica e economicamente viáveis e aprovadas pelo órgão de controle ambiental. Buscando consolidar toda esta gama de documentos legais, o deputado Leonardo Mattos propôs pelo Projeto de Lei nº 121/03, que contempla a estruturação de uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como uma resposta a um dos grandes desafios a ser enfrentado pelos governos e pelo

conjunto da sociedade brasileira: a magnitude do problema da geração de resíduos sólidos.

Por este projeto, os resíduos são divididos em três formas: 1 - segundo a origem: difusa (não-determinada) e determinada (sabe-se quem produziu e de onde vem); 2 - segundo a natureza: perigoso ou não-perigoso; 3 - o gerenciamento: comum e especial.

Além disso, o projeto prevê a criação de um fundo federal para financiamento de projetos adequados para tratamento de resíduos sólidos, estabelece a obrigatoriedade de implantação de programas de coleta seletiva em municípios com mais de 100 mil habitantes, a existência dos fundos municipais de limpeza urbana e responsabilização das empresas geradoras de resíduos especiais, dentre eles as embalagens (CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, 2003). O projeto está parado, sendo seu relator o deputado Luciano Zica.

Atualmente, está em discussão na sociedade o Anteprojeto da Política Estadual de Resíduos Sólidos, coordenado pelo deputado Arnaldo Jardim, pelo qual as empresas, através da Fiesp/Ciesp, propõem uma classificação a partir da natureza do resíduo, ou seja, se o resíduo é perigoso ou não, independentemente da origem. Deseja-se avançar também na inserção do conceito de co-produto, materiais requalificados por processos ou operações de valorização, para os quais há utilização técnica, ambiental e economicamente viável.

Outro ponto importante é que normas de adesão voluntária, como auditorias e certificações, não devem constar de uma Política Estadual, assim como o estabelecimento da responsabilidade compartilhada entre todos os atores envolvidos em quaisquer das fases, da geração até o uso ou a destinação final dos resíduos, ressaltando-se o princípio vigente do poluidor pagador. Um ponto controvertido é o estabelecimento do seguro ambiental, pois o artigo do projeto não considera a periculosidade do resíduo ou a quantidade gerada, o que poderá se tornar mais um entrave para o empreendedor, além de poder ser considerada uma ação de privilégio para as seguradoras, pois o seguro deve ser entendido como uma ferramenta voluntária a ser adotada pelo gerador ou receptor (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2003).

No Anexo 1, pode ser verificada a lista de toda a legislação aplicável, relativa a resíduos industriais para uma siderúrgica semi-integrada. É importante salientar que, não havendo uma legislação específica, o órgão de controle ambiental de cada estado, particularmente para os casos de utilização de resíduos industriais, faz a avaliação do uso através de projetos e estudos científicos apresentados pela empresa interessada.

3.2 GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS

Na produção de aço, grandes quantidades de materiais são consumidas, mas apenas parte é incorporada ao produto final. Nas usinas integradas, para cada tonelada de aço bruto produzido são necessárias 2,40 toneladas de minério de ferro e outros insumos; para as aciarias elétricas, a fabricação de 1 tonelada de aço requer 1,30 toneladas de sucata, gusa e outros insumos - 85% da carga são constituídos de sucata ferrosa.

Os resíduos ocorrem durante todas as fases do processo: da preparação da matéria-prima, da manufatura do produto, da manutenção e reforma da construção e atividade de desmontagem e demolição. Não se trata apenas de desperdício de recursos, mas também de um custo e um potencial impacto ambiental, contrário aos princípios de sustentabilidade.

A estimativa da quantidade de resíduo gerada por determinado tempo e eventuais sazonalidades são importantes para determinar a estrutura necessária para gerir o processo e realizar o tratamento, indicar a escala de produção necessária, o que freqüentemente limita as tecnologias, e indicar tendências futuras da geração de resíduos (JOHN & ÂNGULO, 2003). Via de regra, não existem dados consolidados e confiáveis sobre a geração de resíduos industriais, mesmo para uma indústria que apresente um sistema de gestão de resíduos. Por esta razão, é recomendável verificar a consistência das estimativas.

O balanço de massas (em que a massa de resíduos será a massa total de matérias-primas, incluindo água, descontados os poluentes gasosos e líquidos emitidos e a massa de produtos) é quase sempre uma alternativa viável, embora trabalhosa. A adoção de índices de geração de resíduos em relação à massa de produção é também uma opção, mas que pode levar freqüentemente a erros, dado que diferenças entre matérias-primas e processos industriais podem fazer variar significativamente índices de geração entre diferentes instalações industriais, mesmo dentro de um mesmo país (JOHN & ÂNGULO, 2003).

A quantidade de resíduos gerada em uma planta siderúrgica depende diretamente da qualidade do material que é processado e do processo empregado. Por exemplo, para uma usina semi-integrada, a etapa fundamental é a preparação da matéria-prima, pois, quanto mais limpa for a sucata ferrosa carregada no forno elétrico, isto é, quanto mais isenta de impurezas, como terra, plástico, borracha, espuma e mesmo metais não-ferrosos, menor será a geração de escória e de pó de aciaria. É claro que terá sido gerado um outro resíduo: aquele resultante da separação das impurezas da matéria-prima, mas aí teremos um resíduo de menor complexidade.

A faixa de geração de resíduos sólidos na siderurgia é de 400kg a 700kg por tonelada de aço produzido (IBS, 2001), variável em função da rota tecnológica de produção. Estes índices abrangem os resíduos produzidos diretamente nos processos, como as escórias e as carepas, e outros provenientes dos sistemas de controle de poluição hídrica ou atmosférica, como as lamas de alto-forno e aciaria e os pós-coletados nos equipamentos de despoejamento, como filtros de manga e precipitadores eletrostáticos.

Dentre estes, será apresentado um detalhamento da escória e da carepa, pelo grande volume de geração; do pó do despoejamento, por ser um resíduo perigoso; e da terra da "Shredder", por ser um resíduo novo e também gerado em grande volume a partir da fragmentação e limpeza da sucata ferrosa.

3.2.1 ESCÓRIA

As escórias de siderurgia são materiais resultantes da produção de ferro gusa em alto forno e de aço em aciaria (ROCHA & FUINHAS, 1991). O processo siderúrgico do ferro gusa, em linhas gerais, caracteriza-se pela redução do ferro sob aquecimento a 1.900°C, a partir da mistura de minério de ferro, calcário e coque (PRADO et al., 2002). Os compostos não reduzidos (material inerte do minério e do coque) combinam-se com o *Ca* e o *Mg* do calcário, originando a escória de alto forno (PEREIRA, 1978). Na obtenção do aço, o ferro gusa em estado líquido é levado para a aciaria para ser refinado em fornos a oxigênio ou elétricos. Nesse processo há oxidação das impurezas e adições. (IBS, 2003)

Em função das matérias-primas utilizadas e características do processo siderúrgico, as escórias podem variar sua composição química; porém, como constituintes principais (95%) têm-se formas combinadas de óxidos de silício, alumínio, cálcio e magnésio, o que confere reação alcalina (CARVALHO-PUPATTO et al., 2002). Elementos como *P*, *S*, *Fe*, *Zn*, *Cu*, *B*, *Mo* e *Co* aparecem freqüentemente como impurezas e em proporções variáveis nas escórias (PIAU, 1995). O *S* contido nas escórias é proveniente do coque; o *MnO*, do minério de ferro e fundentes; e o *FeO* provém da redução incompleta do *Fe₂O₃* do minério (PIAU, 1995). Escórias de aciaria tendem a apresentar teores mais elevados de *P*, *Mn* e outros metais, uma vez que o refino do ferro gusa se refere à oxidação dessas impurezas (FILEV, 2003).

A escória de aciaria - ver Figura 4 - difere quimicamente da escória de alto forno, principalmente no que diz respeito ao teor de ferro contido e à basicidade binária (relação percentual entre óxido de cálcio e sílica). Assim, as escórias de aciaria apresentam maior dureza e densidade devido à presença de maiores teores de óxidos de ferro (BOSI FILHO, 1991).



Figura 4 - Escória de aciaria elétrica
Fonte: SID SI, 2004.

No Brasil, a geração de escórias, em 2001, totalizou cerca de 8,6 milhões de toneladas, sendo 3,1 milhões de escórias de aciaria, o que representa 36% do total de escórias geradas (IBS, 2002)

A produção anual de escória é, em geral, estimada em função das produções de aço e dos índices médios de geração. Em uma pesquisa realizada em 1998 em nove dos países maiores produtores de aço - Brasil, Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Itália, Japão e Coréia -, registrou-se uma produção anual de 74,5 milhões de toneladas de escória de aciaria, considerada após recuperação do metal incrustado (SETEPLA, 1999). Conforme se pode ver na Figura 5, o Brasil é o 5º maior produtor de escória de aciaria, ficando atrás de Japão, Estados Unidos, Coréia e Alemanha. Os números entre parênteses, sob o nome do país, indicam a produção total anual de aço bruto em milhões de toneladas.

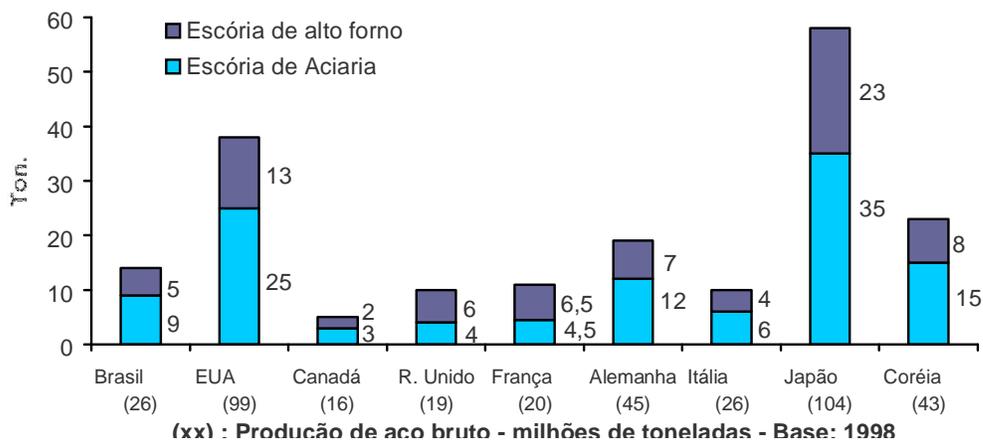


Figura 5 - Geração de escória (milhões de toneladas)

Fonte: Setepla, 1999.

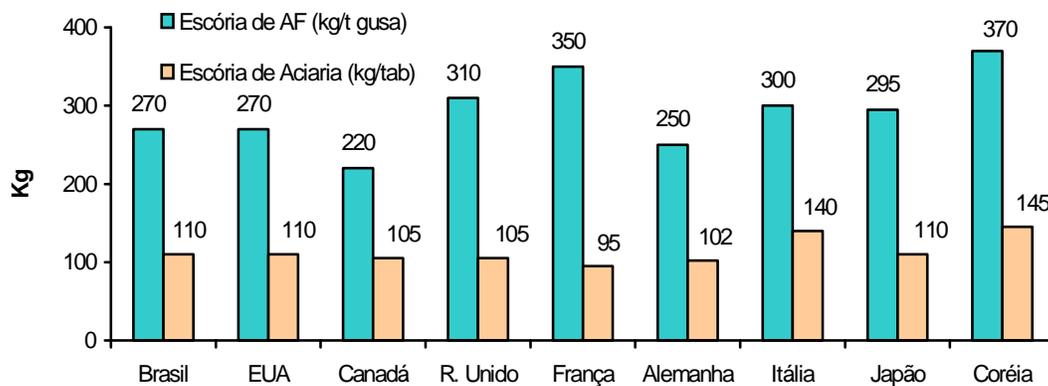


Figura 6 - Geração de escória (valores relativos à produção de gusa e aço bruto)

Fonte: SETEPLA, 1999.

A Figura 6 mostra os índices médios de geração de escória para a produção de ferro gusa em altos fornos e de aço em fornos elétricos. Os índices médios de geração de escória nos países pesquisados foram similares à média mundial apontada em relatório do *International Iron and Steel Institute-IISI*: 100kg - 150 kg de escória de aciaria por tonelada de aço bruto; no Brasil, esta média é de 110kg. (IISI, 1999)

A Tabela 2, a seguir, apresenta, por faixa, os elementos químicos que compõem as escórias de alto forno e de aciaria, considerando o que ocorre no Brasil em relação à média das outras oito fontes pesquisadas (SETEPLA, 1999).

Tabela 2 - Composição por tipo de escória (%)

TIPO DE ESCÓRIA	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _x	S total	P ₂ O ₅	Basicidade	
ESCÓRIA DE ALTO FORNO									
BRASIL	AF a Carvão Vegetal	26-35	6-13	41-45	10-16	Máx: 1,5	0,05	-	0,87-0,99
	AF a coque	41-44	6-7	35-40	10-13	Máx: 1,8	0,8-1,1	-	1,22-1,41
MÉDIA DOS OUTROS 8 PAÍSES		30-46	5-18	31-42	7-18	Máx.: 1,5	0,8-2,0	-	1,00-1,80
ESCÓRIA DE ACIARIA					Fe total				
BRASIL	Conversores LD	36-46	5-12	11-16	1-14	14-22	0,1-0,3	1,0-2,5	>3,00
	Fornos elétricos (FEA)	28-50	4-17	8-25	2-13	10-28	0,1-0,3	0,2-0,7	~3,00
MÉDIA DOS OUTROS 8 PAÍSES		24-60	1-15	10-20	1-13	14-30	0,1-0,2	ND	>3,00

Fonte: SETEPLA,1999.

Atualmente, as escórias de alto forno, depois de granuladas, têm destinação certa como matéria-prima na fabricação de cimento. As escórias de aciaria são utilizadas principalmente na construção de estradas (bases e sub-bases para pavimentação asfáltica), aplicação que corresponde a 46,6% da destinação total no Brasil e a 23% nos demais países (ver Figura 7).

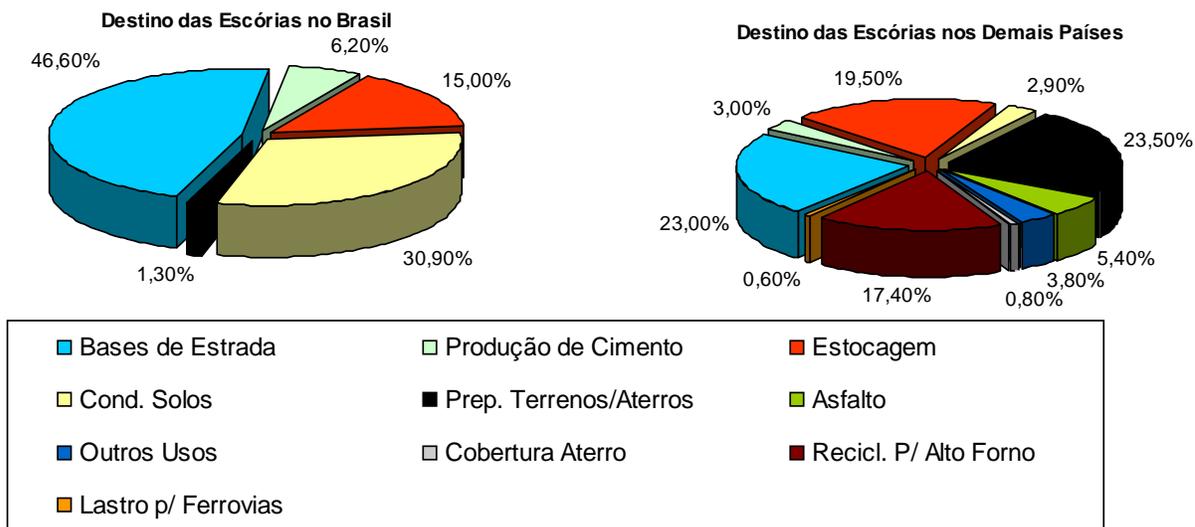


Figura 7 - Destinação das escórias

Fonte: SETEPLA, 1999.

As escórias de aciaria são comercializadas no exterior na faixa de US\$3,00 a US\$4,00/t FOB usina. No Brasil, o material pode ser vendido para bases de estrada ao preço máximo de R\$3,50/t FOB usina, mas freqüentemente é simplesmente doado às prefeituras locais. O custo de processamento, que inclui a separação magnética do metal e a classificação granulométrica por peneiramento, tem um valor referencial de R\$2,00/t de escória. (SETEPLA, 1999)

A Tabela 3, a seguir, mostra uma comparação entre a escória e os agregados naturais com a brita, a areia, o calcário e a rocha fosfática, para aplicação como base de estradas, asfalto, leito de ferrovia e condicionamento de solos.

Tabela 3 - Comparação das escórias com materiais concorrentes

Aplicação (Materiais concorrentes)	Vantagens da Escória	Limitações da Escória
Bases de estradas (agregados naturais, como brita e areia)	Cria bases mais duráveis Drenagem livre Camadas mais finas (5%)	Maior densidade Potencial de expansão (*) Uso próx. águas superficiais pode elevar o pH
Asfalto (Agregados naturais: brita, areia, calcário)	Alta estabilidade Resistência à derrapagem Maior período de retenção de calor Maior facilidade de compactação Camadas mais finas (5%)	Potencial de expansão (*) Maior uso de hidrocarbonetos
Lastro para ferrovias (Agregados naturais: brita, areia, calcário)	Estrutura vesicular Melhor ajustamento dos dormentes Melhor drenagem	
Condicionamento de solos (Calcário agrícola/ Rocha Fosfática)	Teor de calcário/micronutrientes Teor de P_2O_5 solúvel	Custo da moagem

(*) exige a "cura" da escória, para eliminar a presença de CaO e MgO livre.

Fonte: SETEPLA,1999.

A Tabela 4 apresenta a aplicação da escória nos outros países pesquisados, verificando-se um uso intensivo na reciclagem para alto forno, sendo importante também a aplicação como condicionamento de solos na Alemanha, Itália e Japão e na fabricação de asfalto.

Tabela 4 - Aplicação das escórias

	EUA	Canadá	Reino Unido	Alemanha	Itália	Japão	Coréia
Reciclagem para AF	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Como Lastro Ferroviário	✓	✓					
No condicionamento de solos				✓	✓	✓	
Na produção de cimento	✓					✓	✓
Em asfalto	✓	✓	✓				

Fonte: SETEPLA, 1999.

O consumo de escória na fabricação de asfalto para a construção de estradas é bastante significativo nos Estados Unidos e no Canadá (15% da geração de escória de aciaria), diferentemente do caso brasileiro, em que o uso acontece apenas em bases e sub-bases e no encascalhamento de estradas vicinais.

As aplicações de escória de aciaria com maior potencial de atratividade compreendem:

- 1 - Adição e/ou substituição de matérias-primas na indústria do cimento;
- 2 - Pavimentação;
- 3 - Correção de acidez do solo;
- 4 - Fonte de nutrientes e produção de fertilizantes;
- 5 - Material cerâmico;
- 6 - Lastro ferroviário.

A inexistência de critérios técnicos restringe a aplicação da escória, fazendo com que empresas não explorem completamente as potencialidades da aplicação deste material.

As escórias siderúrgicas competem em bases desiguais com materiais que podem substituir, pois ainda existem restrições técnicas associadas a características deste agregado, que é um material expansivo, e dúvidas quanto a possíveis impactos ambientais (a escória é um resíduo classe II A, não-inerte, conforme a ABNT NBR

10004/04) decorrentes de sua utilização em substituição aos materiais naturais utilizados com a mesma finalidade, que serão mais bem detalhados no Capítulo 4.

3.2.2 PÓ DE ACIARIA

Os pós de aciaria elétrica (PAE) são gerados durante a fusão de sucata ferrosa nos fornos elétricos a arco (FEA), e coletados através de filtros de mangas ou precipitadores eletrostáticos. A composição química básica dos pós de aciaria são os óxidos de ferro (49%), de zinco (16%), de cálcio (12%), de silício (5%), de manganês (3%), de magnésio (2%), de chumbo (2%) e alumina (1,5%). O pó de aciaria é listado como resíduo perigoso de fonte específica (K061) conforme a ABNT NBR 10004/04.

Durante toda a fusão e o refino do aço, em um forno elétrico a arco, há a geração de partículas sólidas e gases que são formados no interior dos fornos a temperaturas entre 1500°C/1600°C até 4000°C/5000°C nas pontas dos eletrodos. As partículas são formadas devido a fenômenos físico-químicos que acabam por pulverizar e liberar óxidos de ferro, silício, cálcio, manganês, etc., e também por vaporização desses materiais, sua oxidação, resfriamento e solidificação na forma de partículas.

Além dos materiais citados, são gerados ainda óxidos de nitrogênio e de enxofre e podem ser gerados dioxinas, furanos e compostos orgânicos voláteis, em função das características da sucata ferrosa, principalmente em relação à presença de materiais orgânicos na carga. Estes materiais formados durante a operação do forno são captados pelos sistemas de despoeiramento e tratados nos filtros de manga, gerando os pós de aciaria (ver Figuras 8 e 9)

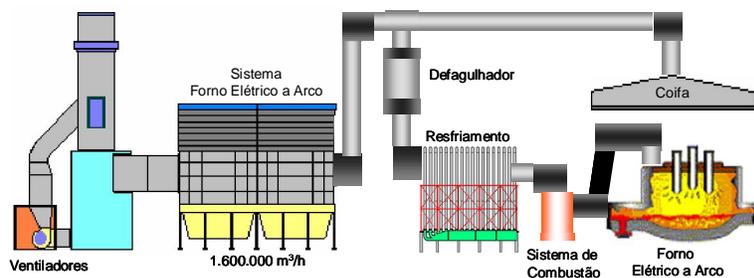


Figura 8 - Sistema de despoejamento do forno elétrico

A fase mais crítica em termos de geração de particulados é a descarbonação realizada com a injeção de oxigênio no metal líquido.

Quando o aço é produzido a partir de sucata suja (impregnada por óleos, graxas e materiais não metálicos), a quantidade de partículas geradas pode ser até três vezes maior que aquela quando se tem uma máquina “Shredder”.



Figura 9 - Vista do sistema de despoejamento do forno elétrico
Fonte: Sid SI, 2004

A geração anual de pó de aciaria elétrica envolvendo sete dos países maiores produtores: Canadá, Estados Unidos, México, Argentina, Alemanha, Itália e Japão,

exceto o Brasil, totaliza 1,5 milhão de toneladas em aciarias de aço carbono/baixa liga e 134 mil toneladas em aciarias de aço inoxidável (NATRONTEC, 1996), conforme pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Geração de pó de aciaria

País	Produção de aço em FEA – 1992 (1.000 t Métricas)		Geração de PAE – 1992 (1.000 t Métricas)		Coeficiente de geração de PAE (% da prod. de aço)
	CS/LA	A/SS	CS/LA	A/SS	
Canadá	4.950	386	76	6	1,5
EUA	30.911	1.911	534	33	1,7
México	4.606	N/D	74	N/D	1,6
Argentina	1.928	0	31	0	1,6
Alemanha	7.391	1.190	118	19	1,6
Itália	13.672	280	192	4	1,4
Japão	29.768	4.000	537	72	1,8
Total	93.226	7.767	1.562	134	1,7

CS/LA = Aço Carbono/Baixa Liga A/SS = Liga / Aço Inoxidável N/D = Não Disponível
Fonte: IRON AND STEEL WORKS OF THE WORLD, 1996.

As maiores empresas siderúrgicas semi-integradas do mundo têm adotado, fundamentalmente, a recuperação de zinco e chumbo e a inertização (que serão detalhadas no Anexo 8), e a disposição em aterros industriais controlados para o tratamento do pó de aciaria elétrica, conforme pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - Tratamento do pó de aciaria pelas maiores empresas siderúrgicas semi-integradas*

Usina	Tratamento
Olaberria	Forno Waelz
Bergara	tecnologia predominante mundialmente. Forno Waelz
Zaragoza	inertização será implantada em 2 anos. Aterro industrial
Madrid P	Aterro industrial
Madrid L	Aterro industrial
Zumarraga	Inertização
Azpeitia	Inertização
ADA	Aterro industrial na Espanha
SWT	Disposição em mina de sal
ARES	Forno Waelz e custos baseados no teor de zinco
PADI	Forno Waelz e custos baseados no teor de zinco
PAEB	7kg a 8 kg de pó são retornados ao forno elétrico para aumentar o teor de Zn. O restante é reciclado no Forno Waelz .

* Exceto na usina de PAEB, as demais têm o total de sua geração conforme indicado.
Fonte: THÜRINGEN,2002.

O custo de disposição na Europa pode ser verificado na Tabela 7.

Tabela 7 - Custo da disposição do pó de aciaria na Europa

Usina	Custo	
	€ t	€ t produzida
Olaberria	60,02	0,89
Bergara	60,0	1,02
Zaragoza	62,5	1,03
Madrid P	47,0	0,71
Madrid L	31,8	0,83
Zumarraga	58,5	1,21
Azpeitia	59,51	1,37
ADA	61,57	1,47
SWT	72,83	1,24
ARES	83,0	1,08
PADI	67,05	1,14
PAEB	85,67	1,33

Valor do Euro = R\$ 3,22 em 23/06/03

Fonte: THÜRINGEN,2002.

A produção anual brasileira de pó de aciaria elétrica situa-se na faixa de 81,4 mil toneladas, conforme a Tabela 8, sendo que o coeficiente de geração corresponde a 1,5 % da produção de aço.

Tabela 8 - Geração de pó de aciaria no Brasil

EMPRESAS PESQUISA- DAS	Local	PRODU- ÇÃO AÇO 1000 t/a	GERAÇÃO PAE/Zn		PAE/ AÇO %	TEOR de Zn PAE %	OUTROS METAIS E HALOGÊNITOS (%)				DISPOSI- ÇÃO	
			PAE- 1000t/a	Zn (t/a)			Fe	Pb	Cd	Cl		
Região Nordeste		670	10,3	273,0	1,5	2,6						
Usina 1	PE	260	4,4	171,1	1,70	3,9	51,2	0,6	0	0,8	Aterro Ind.	
Usina 2	BA	410	5,9	101,7	1,4	1,7	48,3	0,3	0	1,8	Aterro Ind.	
Região Sul		960	12,0	1.503	1,2	1,47						
Usina 3	RS	240	4,1	126,5	1,7	3,10	34,0	0,7	0	0,3	Aterro Ind.	
Usina 4	RS	300	5,1	1.089	1,7	21,3	28,8/ 37,3	1,8/ 1,8	0	3,0	Aterro Ind.	
Usina 5	PR	420	2,9	288,0	0,79	10,0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	Aterro Ind.	
Região Sudeste		3.865	59,0	6.196	1,5	10,5						
Usina 6	MG	600	7,20	600	1,2	8,3	50,6	1,5	0,1	2,1	Aterro industrial	
Usina 7	SP	75	0,9	30,8	1,3	3,1	34,0	0,7	0	0,3	Aterro segregado	
Usina 8	SP	360	3,65	306,6	1,0	8,4	39,6	0,8	0	1,1	Aterro segregado	
Usina 9	SP	410	6,9	553,6	1,7	8	41,6	1,2	0	1,1	Aterro industrial	
Usina 10	SP	400	2,7	454,0	0,7	16,5	49,0	2,0	0	0,7	Processamento externo fins siderúrgicos	
Usina 11	RJ	1,2	26,9	2,5	2,1	9,4	43	1,8	0	0,7	Aterro Ind.	
Usina 12	RJ	420	4,8	840,0	1,1	7,5	38,0	1,0	n.d.	n.d.	Aterro Ind.	
Usina 13	ES	320	5,8	887,6	1,8	15,2	35,7	2,6	0	2,1	Processamento externo fins siderúrgicos	
Total Geral		5.495	81,4	7.972	1,5	9,8						

Fonte: NATRONTEC/HATCH, 1996.

No Brasil, não existem plantas de reciclagem de pó de aciaria. Em função disso, praticamente todo pó gerado é destinado a aterros industriais ou às empresas de reprocessamento para fins siderúrgicos (sinterização).

Durante muitos anos o pó de aciaria foi utilizado como fonte de micronutrientes até que, em maio de 2000, a CETESB proibiu a comercialização, fabricação e formulação de insumos agrícolas no estado de São Paulo, pois a composição do resíduo, em muitos casos, apresenta vários metais, como o zinco, considerados

elementos essenciais ou úteis às plantas, associados a outros metais pesados de alta toxicidade, como o chumbo e o cádmio ou mesmo a possível presença de dioxinas e furanos (CETESB,2000).

O custo de disposição do pó de aciaria em aterros de resíduos situa-se na faixa de R\$200,00/t a R\$300,00/t.

3.2.3 CAREPA

As carepas, resíduos classe II A, não-inertes, conforme a ABNT NBR 10004/04, são formadas quando da passagem do tarugo pelos rolos extratores dos lingotamentos contínuos, fornos de reaquecimentos e cilindros das cadeiras de laminação; o material aí formado é carregado através de canaletas para os poços e tanques de carepa

A geração de carepa é de aproximadamente 16kg/t, sendo 11kg nas laminações e 05kg no lingotamento contínuo. A composição química típica deste resíduo é 65% de óxidos de ferro e residuais de óxidos de manganês, dióxido de silício e alumínio. Não há uma variação significativa na geração de carepas entre as usinas, seja do Brasil ou do exterior; quando se lingota aço para a produção de barras laminadas, as variações ocorrem em função do tipo de produto a ser laminado, perfis ou chapas, isto é, quanto maior a área superficial de contato com os cilindros laminadores, maior será a geração de escória.

Em função de sua composição, a carepa tem sido aplicada onde o uso de óxido de ferro é requerido, como em sinterizações das próprias siderúrgicas, cimenteiras e empresas produtoras de ferro-ligas. A incorporação de óleos e graxas provenientes dos serviços de lubrificação de manutenção à carepa têm sido a causa principal que impede a sua maior aplicação, embora o uso do raspador de óleo nos tanques de decantação de carepa tenham se tornado obrigatórios. Existe pouquíssima bibliografia sobre outras aplicações da carepa; estas informações foram obtidas através de entrevistas com profissionais do setor siderúrgico.

O valor de comercialização aplicado à carepa varia em função da distância do destino, pois o valor do frete impacta fortemente este valor; assim, a venda da carepa tanto pode gerar receita (R\$1,50/t) como despesa.

3.2.4 TERRA DA “SHREDDER”

A terra da “Shredder”, resíduo classe II A, não-inerte, conforme a ABNT NBR 10004/04, é gerada quando da separação magnética da sucata ferrosa após sua fragmentação na máquina “Shredder” (Figura 10). A Figura 11 mostra uma pilha de sucatas antes de ser processada na máquina “Shredder”; a Figura 13 apresenta uma pilha de sucata ferrosa após o processamento.

No Brasil apenas duas empresas possuem equipamento para fragmentação de sucata ferrosa: a Sid SI e a Gerdau. Esta máquina gera 100kg/tab de resíduo que é composto basicamente de 70% de terra, 20% de plástico, borracha, madeira, isopor e espuma, e finalmente por 10% de metais ferrosos e não-ferrosos, denominada terra da “Shredder”, conforme pode ser visto na Figura 12.

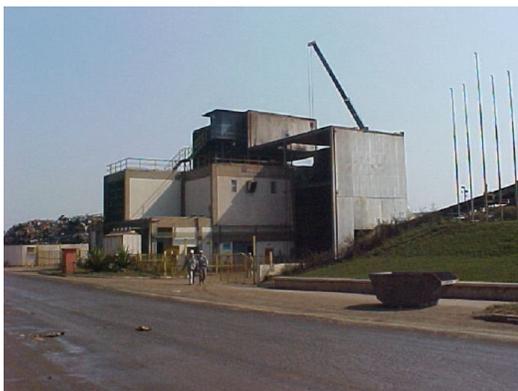


Figura 10 - Máquina “Shredder”
Fonte: SID SI, 2003



Figura 11 - Sucata a ser processada
Fonte: SID SI, 2003



Figura 12 - Terra da "Shredder"
Fonte: SID SI, 2003



Figura 13 - Sucata processada
Fonte: SID SI, 2003

A terra da "Shredder", no Brasil, caracteriza-se pela presença maçã de terra, enquanto, nas centenas de máquinas "Shredder" espalhadas pelo mundo, o resíduo nelas gerado é mais problemático, pela formação do *fluss*, materiais combustíveis formados basicamente por espumas e plásticos, especialmente poliuretanos presentes em automóveis. Em função disso, o destino deste resíduo tem sido os aterros controlados.

4. ESTUDO DE CASO: USINA SEMI-INTEGRADA

Neste capítulo é realizado o estudo de caso de uma usina semi-integrada, com apresentação do processo produtivo e detalhamento dos equipamentos para a produção de barras laminadas para a construção civil a partir da sucata ferrosa. É realizada uma análise dos principais aspectos e impactos ambientais oriundos deste processo, particularmente das emissões atmosféricas que, depois de captadas pelos sistemas de despoeiramento, vão formar os pós de aciaria, um dos resíduos mais importantes gerados por uma usina semi-integrada. O capítulo é concluído com a apresentação e análise do sistema de gerenciamento de resíduos adotado pela empresa.

4.1 PROCESSO DE UMA USINA SEMI-INTEGRADA

A usina, objeto deste estudo de caso, tem uma característica peculiar em relação à sua localização, pois está edificada dentro da área urbana do município de Piracicaba, apresentando, no seu entorno, áreas urbanizadas, áreas de cultivos, principalmente cana-de-açúcar, e o *campus* da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, conforme pode ser visto na Figura 14. A usina se situa no bairro Jardim Primavera, bairro limítrofe ao Norte com o bairro Vila Fátima, a Sudeste com o bairro Areião e a Sudoeste com o Bairro do Algodão. A área se encontra em um grande lóbulo de meandro do rio Piracicaba, de relevo pouco acidentado; a ocupação se caracteriza como mista, com áreas de serviços, comércio e pequenas indústrias, mas predominando o uso residencial.



Figura 14 - Vista aérea da usina objeto do estudo de caso

Fonte: SID SI, 2004

A usina faz parte de um grupo, que é o segundo maior complexo siderúrgico do mundo, com sede na Europa e com unidades fabris em mais de 60 países. Uma das características mais marcantes do grupo é imposição de rígidos padrões de qualidade de gerenciamento ambiental e de segurança do trabalho, assim sendo a usina objeto deste estudo de caso tem que reportar sistematicamente à sua sede, dados de monitoramento ambiental que incluem parâmetros não listados pela legislação brasileira, controle de geração e destinação de resíduos com metas rigorosas e controle de substâncias radiativas na entrada e no processo da usina.

O processo de fabricação de uma usina semi-integrada é, conforme anteriormente referido, caracterizado pela utilização de sucata ferrosa como principal matéria-prima para fabricação de seus produtos, neste caso, barras laminadas para uso na construção civil. O processo industrial de uma usina semi-integrada, conforme a Figura 17, ocorre basicamente nas operações desenvolvidas na aciaria e laminação.

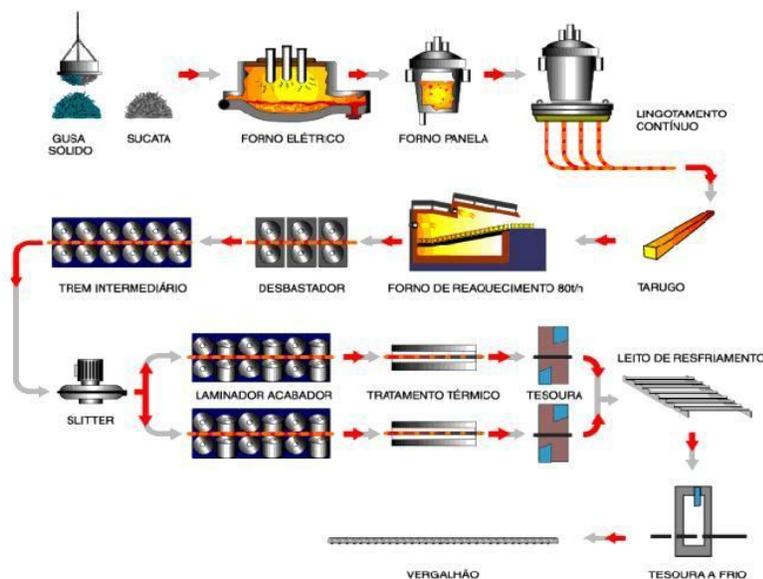


Figura 15 - Processo industrial da usina objeto do estudo de caso

4.1.1 PROCESSO DE ACIARIA

O processo é iniciado com a chegada da sucata ferrosa através de caminhões, quando é realizado, na portaria da usina, o monitoramento de possíveis substâncias radiativas. Esta análise é feita com detectores de radiação tipo portal em todos os caminhões, verificada a ausência de substâncias radiativas na carga, o caminhão vai até o pátio de recebimentos de metálicos para o descarregamento. Se for verificada a presença de substâncias radiativas, o caminhão vai para um local de isolamento, onde ficará aguardando a presença de um técnico do IPEN/CNEN, a usina tem um bunker para armazenamento de fontes radiativas.

A segunda etapa do processo, no recebimento de metálicos, a sucata constituída por retalhos de chapas metálicas, cavacos de usinagem, latarias de carros usados, peças de aço e ferro de equipamentos em desuso, refugos metálicos das próprias usinas siderúrgicas e outros é classificada em:

1 - Sucata pronto uso: dimensões e densidade adequadas ao processo do forno elétrico a arco;

2 - Sucata de oxi-corte: dimensões elevadas, necessitando de corte com maçaricos;

3 - Sucata Shredder: dimensões elevadas e baixa densidade. Os diversos materiais presentes na sucata devem obedecer aos seguintes critérios de dimensões para poderem ser utilizados na máquina fragmentadora Shredder:

1 - Cabos de aço com diâmetro menor que 25mm e comprimentos não maiores que 15m;

2 - Barras e eixos em aço carbono com diâmetro máximo de 50mm;

3 - Barras e eixos em aço liga com diâmetro máximo de 25mm;

4 - Chapas com espessura inferior a 25mm e 0,09m² (300mm x 300mm);

5 - Chapa com espessura inferior a 50mm e 0,02m² (150mm x 150mm);

6 - Perfis estruturais com espessura de abas inferior a 10mm;

7 - Seção ou tubo inferior a 200mm de diâmetro e comprimento e paredes com espessura inferior a 10mm.

É importante destacar o intenso trabalho desenvolvido pela usina com o objetivo de receber a sucata com a melhor qualidade possível, assim sendo a usina faz rotineiramente treinamento com os empregados das centrais de sucatas, para que sejam efetuados carregamentos com segregação de materiais como: baterias automotivas, cilindros, botijões, amortecedores, tambores com resíduos de produtos químicos ou embalagens com rótulo de material radioativo, entre outros.

A terceira etapa do processo é efetuada na máquina fragmentadora Shredder: A função principal da máquina Shredder, mostrada na Figura 16, é triturar a sucata para aumentar sua densidade aparente e eliminar as impurezas agregadas,

transformando sucatas, antes impossíveis de uso direto no forno elétrico, em outras de excelente qualidade.

A sucata a ser processada é recebida e armazenada no pátio de metálicos da usina e transportada até o fragmentador por intermédio de esteiras rolantes. A etapa seguinte, após processamento, é a eliminação de parte das impurezas, cerca de 18% a 20% em peso, constituída de terra, metais não-ferrosos, plásticos, borracha, isopor e madeira, que se constitui no resíduo denominado terra da “Shredder”, e é realizado por um separador magnético.



Figura 16 - Shredder - máquina fragmentadora de sucata
Fonte: SID SI, 2003.

A utilização da máquina fragmentadora de sucatas, Shredder, assegura significativos ganhos ambientais e operacionais, como pode ser visto na Tabela 9, quando se compararam alguns fatores de processo com e sem a utilização da Shredder, conforme dados obtidos de relatórios operacionais da usina objeto deste estudo de caso.

Tabela 9 - Ganhos ambientais e operacionais com a utilização da Shredder

Resíduo: Fator de Processo	Sem Shredder	Com Shredder	Ganhos (considerando uma produção média de 42.000 t/mês)
Nº de cestões para a formação da corrida	Formação de corrida com 2,6 cestões (Base: Nov/2000)	Formação de corrida com 2,0 cestões (Base: ano 2003)	Redução de movimentação no processo equivalente à formação de 55 cestões/mês
Quantidade de escória gerada no processo	12,43 Kg/t (Base: ano 2000)	10,13 Kg/t (Base: ano 2002/2003)	Redução de 96,6 ton/mês de resíduos na forma de escória
Quantidade de Pó de Aciaria formada no Processo	13,00 Kg/t (Base: ano 2000)	12,00 Kg/t (Base: ano 2003)	Redução de 42,0 ton/mês na forma de Pó de Aciaria
Consumo de energia elétrica no FEA	466 kWh/t (Base: ano 2000)	413 kWh/t (Base: ano 2002/2003)	Redução de 53 kWh/t de energia elétrica

Fonte: SID SI, 2003.

O maior ganho é o fato de se ter sucata limpa e de alta densidade, não se enforçando terra e outras impurezas, trazendo em consequência a redução de carregamento do forno e redução de consumo de energia, pois não estarão sendo fundidas as impurezas, materiais que iriam contribuir na geração de material particulado e também de escória.

A quarta etapa do processo é a operação do forno elétrico a arco que responde pela transformação das matérias-primas sólidas em aço líquido. O processo é iniciado com o carregamento do forno com um cestão, cuja carga é composta de sucata ferrosa (85%) e ferro gusa (15%); nesta usina, que possui a máquina “Shredder”, são realizados apenas dois carregamentos do forno; em usinas que não possuem esta máquina, são efetuados três ou quatro carregamentos, em função da baixa densidade obtida. O princípio de operação do forno elétrico a arco, que pode ser visto na Figura 19, consiste em energizar os três eletrodos, que descem para o interior do forno automaticamente; ao entrar em contato com a sucata, ocorre o curto-circuito entre os três eletrodos e a sucata; a grande geração de calor funde a sucata que está próxima aos eletrodos e o aço líquido é acumulado na sola do forno.

Após alguns minutos, os três eletrodos descem até próximo ao nível da sola e mantêm o arco elétrico sobre o aço líquido, gerando o calor necessário, entre 1500°C e 1600°C, para a fusão da sucata do forno. Queimadores a gás natural e injetores de oxigênio aceleram o processo de fusão com energia química. Basicamente, a operação no forno elétrico se compõe de três etapas: a fusão da sucata ferrosa, a oxidação (injeção de oxigênio) e finalmente o refino; nestas etapas ocorrem a formação da escória e a captação dos gases formados no interior do forno, e que são captados pelos sistemas de despoeiramento e vão gerar os pós de aciaria. Entre o carregamento do forno, a realização destas três etapas e o vazamento do aço líquido na panela são transcorridos aproximadamente sessenta minutos. A operação seguinte é realizada no forno panela.



Figura 17 - Vista geral do forno elétrico

Fonte: SID SI, 2003

A quinta etapa é a operação do forno panela (Figura 18) que é responsável pela conclusão do processo de refino do aço, o ajuste fino para o acerto da composição química. Também é regulada a temperatura em torno de 1580°C para a etapa seguinte, que é a de fabricação dos lingotes ou tarugos que se processa na máquina de lingotamento contínuo



Figura 18 - Vista geral do forno panela
Fonte: SID SI, 2003

A sexta e última etapa do processo na Aciaria é a conformação do aço na máquina de lingotamento contínuo (Figura 19) que é responsável pela transformação do aço líquido em tarugos. Esta máquina propicia:

1 - Aumento substancial no rendimento do processo, permitindo elevado número de conjugações de corridas;

2 - Transformação do metal líquido em produtos semi-acabados, eliminando necessidade de desbaste em laminação primária;

3 - Melhoria da qualidade interna do aço, resultante de uma solidificação mais rápida e uma estrutura interna mais homogênea;

4 - Melhorias do acabamento superficial das peças, eliminando as escamas e dobras resultantes da laminação primária (BOSI FILHO, 1991).



Figura 19 - Máquina de lingotamento contínuo
Fonte; SID SI, 2003

Na passagem dos tarugos nas mesas de rolos que os conduzem para a etapa de laminação são formadas as carepas de lingotamento.

4.1.2 Processo de Laminação

O processo de laminação, conforme a Figura 20, consiste basicamente na transformação dos tarugos provenientes da máquina de lingotamento contínuo em laminados planos e barras conhecidas como vergalhão para uso na construção civil. (ARAÚJO, 1997) O fluxo do processo, que é constituído de oito etapas, é detalhado a seguir.

A primeira etapa é o enformamento dos tarugos no forno de reaquecimento, quando é realizado o reaquecimento dos tarugos a uma temperatura de 1050°C;

A segunda etapa do processo é a passagem pelo trem desbastador, quando os tarugos são pressionados, sucessivamente, entre cilindros, sofrendo redução em sua seção, com conseqüente aumento de comprimento;

A terceira etapa é a passagem pelo trem intermediário, quando o tarugo começa a adquirir o formato de barra laminada;

A quarta é a passagem pelo *Slitter*, máquina que faz a divisão da barra para os veios A e B que entrarão no laminador acabador;

A quinta é a passagem pelo trem acabador, que vai dar forma final à barra laminada. Ao passar pela pressão de vários cilindros, a barra recebe a marcação das nervuras e as gravações da bitola nominal, dando origem ao CA50, aço para concreto armado;

A sexta etapa é a chegada no leito de resfriamento, quando as barras perdem o calor naturalmente, em contato com o ar do ambiente;

A sétima etapa é a de corte e dobra, quando as barras são cortadas ou dobradas conforme solicitação do cliente;

A oitava e última etapa do processo de Laminação é o etiquetamento, quando as barras ou feixes dobrados são identificados e enviados à área de estoque para posterior expedição.



Figura 20 - Vista geral do setor de Laminação
Fonte: SID SI, 2003

Durante todo o processo de laminação dos tarugos para a fabricação das barras, são geradas as carepas de laminação.

4.2 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

O processo de uma siderúrgica semi-integrada, de uma forma simplificada, considerando as entradas de energia, matérias-primas e insumos, e as saídas de produtos e efluentes, pode ser apresentado conforme a Figura 23.

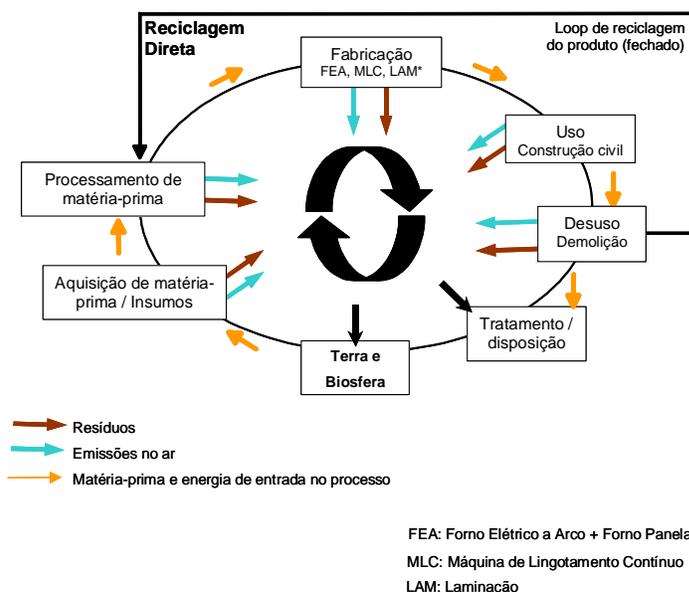


Figura 21 - Loop de reciclagem do aço

Os aspectos e impactos potenciais foram avaliados de acordo com o processo de fabricação da usina semi-integrada objeto do estudo de caso, conforme a Figura 24, para a fabricação de barras laminadas para a construção civil, a partir de sucata ferrosa. O ponto de partida para a análise realizada foi o transporte de matérias-primas e insumos até a usina através de caminhões, e a preparação da sucata ferrosa na máquina fragmentadora Shredder; em seguida, foram consideradas as unidades de processo.

As unidades de processo que compõem o fluxo de produção são: um forno elétrico com capacidade de 75t por corrida, uma máquina de lingotamento contínuo de 4 veios e uma laminação que produz laminados de aço com bitolas que variam de 6mm a 32mm. A fronteira final da análise foi a distribuição do produto.

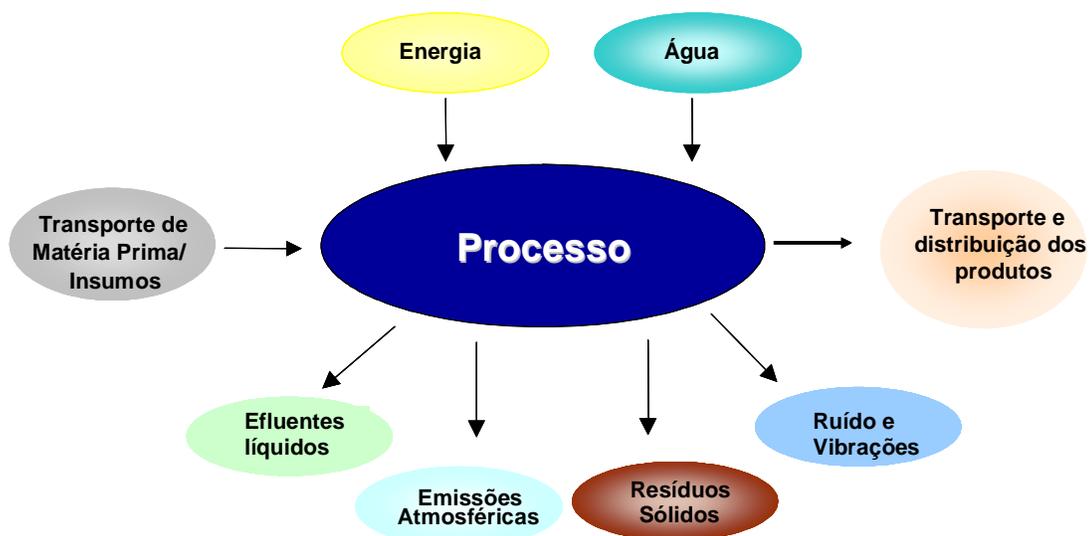


Figura 22 - Aspectos e impactos ambientais

As quantidades de energia média total consumidas para a fabricação de uma tonelada de barras laminadas, assim como as emissões médias totais para ao ar, o consumo de água, *make-up*, dentro de um sistema fechado com 98% de recirculação e seus resíduos sólidos estão apresentadas a seguir, sempre tendo como base de referência a tonelada de aço bruto (tab).

Tabela 10 - Energia

Material	Unid/tab
E. Elétrica	675,7 kwh
Gás Natural	39220,9 m ³
Oxigênio	42192,1 m ³

Fonte: SID SI, 2003

Tabela 11 - Resíduos Sólidos

Resíduo	kg/tab
Pó de Aciaria	12,0
Carepa	16,0
Escória	110,0
Terra "Shredder"	de 117,0

Fonte: SID SI, 2003

Tabela12 - Emissões Atmosféricas

Material	Unid/tab
M.Particulado	50,3 g
CO ₂	1,3 g
NO _x	77 g
SO ₂	54 g

Fonte: SID SI, 2003

Tabela13 - Consumo de Água

Material	Unid/tab
Captação	1,5 m ³

Fonte: SID SI, 2003

Tabela 14 -Transporte de matéria-prima

Material	Unid/tab
M.Particulado	3,2g
CO	85,7 g
NO _x	150,0 g
HC	23,6g

Fonte: SID SI, 2003

Tabela 15 - Transporte de produto acabado

Material	Unid/tab
M.Particulado	2,7 g
CO	71,5 g
NO _x	125,0 g
HC	19,7 g

Fonte: SID SI, 2003

Todos os dados constantes das tabelas foram obtidos de relatórios internos da usina objeto deste estudo e a metodologia utilizada foi a de análise de ciclo de vida simplificada, técnica estudada na disciplina: Análise de Ciclo de Vida – ACV: Aspectos, Conceitos e Metodologia, suporte para o desenvolvimento desta dissertação.

Emissões atmosféricas

Conforme citado no item 3.2.2, durante a fusão e o refino do aço no forno elétrico, há geração de partículas sólidas e gases, quando o aço é produzido a partir de sucata suja (impregnada por óleos, graxas e materiais não-metálicos), a

quantidade de partículas geradas pode ser até três vezes maior que aquela quando se tem uma máquina “Shredder”. A fase mais crítica em termos de geração de particulados é a descarburização realizada com a injeção de oxigênio no metal líquido.

Entre estes materiais gerados, uma substância importante, por seu impacto à saúde, formada durante a fusão da sucata ferrosa, particularmente se esta estiver impregnada de óleo, graxa ou outras matérias orgânicas, são as dibenzo-para-dioxinas policloradas (PCDD) e os dibenzofuranos policlorados (PCDF), ou simplesmente as dioxinas e furanos, que são duas séries de compostos com ligações tricíclicas aromatzadas, involuntariamente sintetizadas. Os átomos de cloro se ligam nestes compostos, criando possibilidades de um grande número de isômeros: 75 para as dioxinas e 135 para os furanos.

As dioxinas derivam das reações em moléculas de cloro expostas a temperaturas que variam de 200°C a 480°C em ambientes fartos de matéria orgânica (GOJIC, 2004). O padrão de emissão para dioxinas e furanos, estabelecido pela União Européia é I-TEC 0,1ng/Nm³ (nanogramas por normais metros cúbicos) para novas instalações, onde I-TEC é o total de toxicidade equivalente. No Brasil, a Resolução nº 316/02 do Conama estabeleceu 0,5ng/Nm³ como padrão de emissão para sistemas de tratamentos térmicos de resíduos.

Na siderurgia, as dioxinas e furanos podem ocorrer nas sinterizações e nos fornos elétricos, sendo que suas concentrações aumentam na saída do forno elétrico se houver pré-aquecimento de sucata (IISI, 2003). Duas técnicas de controle de dioxinas e furanos já são adotadas com sucesso em usinas européias: injeção de carbono - *Schiffange plant* - e torre de resfriamento, com capacidade de resfriamento rápido do fluxo de gás para valores abaixo de 250°C - *Belval plant* (IISI, 2003). Na usina objeto do estudo de caso, foi medido 0,05ng/Nm³ no topo da chaminé para as dioxinas e furanos. (SID SI, 2003)

A distribuição granulométrica aproximada do material particulado gerado no interior do forno elétrico está mostrada na Tabela 16.

Tabela 16 - Distribuição granulométrica de partículas pela etapa do processo

Etapa do Processo	Fração em porcentagem (massa) para diâmetros das partículas em microns			
	0.0-0.7	0.7-7.0	7.0-80.0	Acima 80.0
Fusão	47.9	29.9	15.5	6.7
Injeção O ₂	42,2	35.5	15.7	6.6
Refino	44,5	30.6	13.5	11.4

Fonte: SID SI, 2003

A configuração das partículas é determinada pela sua origem, óxidos de ferro, por exemplo, têm contorno esférico, alumínio combinado com nitrogênio formam cristais octaédricos.

A poeira exaurida de um forno elétrico a arco voltaico consiste principalmente de óxido de ferro, conforme pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Percentuais gerados de particulados pela etapa do processo

Etapa do processo	Óxido de Ferro	Outros Óxidos
Fusão	80%	20%
Injeção O ₂	62%	38%
Refino	53%	47%

Fonte: SID SI, 2003

Gases desprendidos do forno

Os gases são misturas de monóxido de carbono, dióxido de carbono, ar e gases inertes, como o argônio, propositalmente injetados.

A composição dos gases desprendidos varia nas diversas fases do processo e é gerada de:

- 1 - Consumo de eletrodo;
- 2 - Vaporização e dissociação do óleo e da água da sucata;
- 3 - Fusão da sucata;
- 4 - Redução de carbono (CO e CO₂);
- 5 - Ar falso succionado através das aberturas do forno;
- 6 - Excesso de oxigênio não reagido;
- 7 - Gases inertes propositalmente injetados.

Durante a injeção de oxigênio, há um aumento da formação dos gases nas temperaturas predominantes do processamento de aços líquidos, e o carbono é eliminado do banho líquido na forma de monóxido de carbono, ocorrendo a seguinte reação:



Parte deste monóxido de carbono reagirá com oxigênio, formando dióxido de carbono:



Já foram constatados valores de concentração de até 88% de monóxido de carbono na mistura gasosa nesta fase; há, em menores volumes, a oxidação de silício, manganês, cálcio, etc., o alto teor de monóxido de carbono durante a injeção de oxigênio, apresenta a possibilidade de uma mistura explosiva de gás.

O sistema de despoeiramento, equipamento de controle de poluição, é projetado para eliminar essa possibilidade através da câmara de combustão de gases.

Na maioria das instalações, usa-se a auto-ignição dos gases associados à entrada de uma corrente adequada de ar secundário, para tornar os gases não explosivos.

Supondo-se 100% de conversão do oxigênio para monóxido de carbono durante a injeção, e 85% de combustão de monóxido para dióxido de carbono, com 100% de ar em excesso, obtêm-se condições de trabalho seguras para os fornos elétricos.

A vazão instantânea dos particulados, como dos gases gerados no processo, são dependentes de diversas variáveis, tais como peso de carga líquida no forno, composição química no banho, vazão de oxigênio injetado, temperatura do banho líquido, etc. Algumas dessas variáveis sofrem alterações ao longo do processo, tornando específico para cada caso a determinação de seus valores. (FAVA & PAGE, 1992)

4.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

O gerenciamento de resíduos industriais pode ser entendido como o “controle sistemático da geração, coleta, segregação na fonte, estocagem, transporte, processamento, tratamento, recuperação e disposição de resíduos” (LORA, 2002).

A usina objeto do estudo de caso produz 480.000 toneladas de aço bruto (tab) anualmente, e gera: 52.800t de escória de aciaria elétrica (110kg/tab); 5.760t de pó de aciaria (12kg/tab); 7.680t de carepa de lingotamento contínuo e de laminação (16 g/tab); 69.120t de terra que vem agregada à sucata metálica (117kg/tab).

Para coleta de dados confiáveis, foi realizado um rigoroso controle de geração e destinação dos resíduos, respeitando as características de cada um:

1 - Pó de aciaria elétrica: é coletado diretamente do silo da casa de mangas filtrantes do sistema de despoejamento do forno elétrico e do forno panela, e armazenado em grandes sacos denominados *big bag's*. Nas Figuras 23 e 24 podem ser

vistos o ponto de coleta do pó de aciaria no silo do sistema de despoeiramento e o armazenamento em *big bags* para transporte.



Figura 23 - Captação do pó de aciaria
Fonte: SID SI, 2004



Figura 24 - Pó de aciaria em *big bags*
Fonte: SID SI, 2004

A pesagem da quantidade gerada é realizada pelo Departamento de Utilidades que emite relatório mensal para o Departamento de Meio Ambiente. Atualmente há somente uma destinação para o pó de aciaria aprovada pela CETESB com a emissão do Certificado de Aprovação de Destinação de Resíduos Industriais (CADRI), que é o uso nas sinterizações de siderúrgicas integradas, após o granulamento em uma empresa terceirizada; para a destinação são utilizadas “Ordens de Carregamento” e “Manifesto de Transporte de Resíduos Perigosos” (Anexo 2). Os *big bag*'s ficam armazenados em um galpão coberto e concretado, em conformidade com a ABNT NBR 12235/92; o carregamento é executado por pontes rolantes para as carretas que efetuarão o transporte.

Problemas:

a) O custo do frete é alto e a logística, complicada; a empresa terceirizada que faz o processamento do pó está localizada em Catalão-GO e as siderúrgicas integradas estão localizadas majoritariamente na Região Sudeste;

b) Existe risco de desvio de cargas, pelo fato de o pó de aciaria ser a única fonte nacional de zinco solúvel, elemento utilizado na formulação de micronutrientes. O pó de aciaria da usina objeto deste estudo contém alto teor de óxido de zinco (16,5%);

c) O custo de disposição em aterro classe 1, conforme citado na página 46, situa-se na faixa de R\$200,00 a R\$300,00 por tonelada;

d) O grupo controlador da usina estabeleceu como meta de estocagem interna máxima de resíduos 50kg por tonelada de aço produzida.

2 - Escória: é coletada diretamente da planta da empresa terceirizada responsável pelo processamento, isto é, pela recuperação dos metálicos contidos na escória e pela britagem e separação granulométrica da escória. O controle da geração, assim como a comercialização, é realizado pela própria empresa de processamento que fica no *site* da usina objeto deste estudo de caso – o armazenamento é feito diretamente sobre o solo; as quantidades destinadas são informadas através de relatório mensal que é enviado para o Departamento de Meio Ambiente. Atualmente a CETESB, sem a emissão do CADRI, autoriza o uso da escória apenas para base de pavimentação com cobertura asfáltica; entretanto, a usina geradora da escória deve garantir a rastreabilidade do local onde foi utilizada a escória para controle.

Problemas:

a) A geração de escória é muito alta, 52800 toneladas anuais, e não se consegue fazer a destinação integral do volume gerado, mesmo com doações a prefeituras;

b) Como não existe área disponível na usina, não é possível fazer estoques controlados para assegurar a “cura” da escória. É necessário um período médio de seis meses para neutralizar a característica de expansibilidade da escória, o que dificulta a comercialização;

c) A escória gerada pelo forno elétrico não é separada da escória do forno panela;

d) A grupo controlador da usina estabeleceu como meta de estocagem interna máxima de resíduos 50kg por tonelada de aço produzida.

3 - Terra da “Shredder”: é coletada da esteira rolante, após o separador magnético da máquina “Shredder”, conforme referido anteriormente, em uma área concretada; não há estocagem intermediária e todo o material é destinado, a partir do próprio ponto de geração, para uma empresa terceirizada que efetua o tratamento, que consiste da recuperação de metais ferrosos e não ferrosos para comercialização – os metais ferrosos retornam para a usina objeto deste estudo de caso. O controle de geração é realizado pela empresa responsável pelo processamento da escória, que emite relatório mensal e envia para o Departamento de Meio Ambiente. O resíduo, após a separação dos metais, é enviado para um aterro industrial licenciado pela CETESB.

Problemas:

a) O custo para destinar a terra para um aterro licenciado é de R\$45,00 por tonelada;

b) O grupo controlador da usina estabeleceu como meta de estocagem interna máxima de resíduos 50kg por tonelada de aço produzida. O envio para aterros, ou outras soluções que caracterizem uma não recuperação dos resíduos, são adicionados à estocagem interna para a avaliação do cumprimento da meta.

4 - Carepa: é coletada do poço de carepa e dos tanques de decantação (ver Figura 25). Na Figura 26 pode ser observada uma fotografia da carepa armazenada em um dique de contenção.



Figura 25 - Poço de carepa
Fonte: SID SI, 2004



Figura 26 - Carepa de lingotamento contínuo e laminação
Fonte: SID SI, 2004

O controle de geração é realizado através de “Ordens de Carregamento”. Assim, todas as caçambas de coleta de carepa, em seus respectivos pontos de geração, são pesadas antes de serem enviadas a um local no pátio de armazenamento de sucatas ferrosas da usina objeto deste estudo de caso, e armazenadas sobre o solo; todos os comprovantes são enviados para controle junto ao Departamento de Meio Ambiente; o controle de destinação é realizado através de “Ordens de Carregamento”, emitidas pelo Departamento de Meio Ambiente. Este controle é rotina do Departamento, conforme a planilha de “Gerenciamento de Resíduos” no Anexo 3. A Cetesb, após a emissão do CADRI, autoriza o uso da carepa como matéria-prima em cimenteiras, empresas fabricantes de ferro-ligas, de sulfatos férricos e como massa em contrapesos de tratores.

Problemas:

- a) A geração de carepa é muito alta, 7680 toneladas anuais, e não se consegue fazer a destinação integral do volume gerado, acarretando armazenamento interno;
- b) Não é feita a segregação entre a carepa fina do tanque de carepa e a carepa grossa do poço de carepa;
- c) A carepa ao ser armazenada pode vir contaminada com outros materiais como: madeiras, pontas de barras e luvas de raspa;

d) A grupo controlador da usina estabeleceu como meta de estocagem interna máxima de resíduos, 50 kg por tonelada de aço produzida.

Os resíduos são caracterizados conforme a ABNT NBR 10004/04, e parte destes têm tido uma disposição inadequada - ver Figura 27 -, isto é, não conforme com a ABNT NBR 11174/90, que disciplina o armazenamento de resíduos classes II A e B, não-inertes e inertes, respectivamente. Esta situação tem baixo potencial para gerar risco de contaminação do solo e de águas subterrâneas, em função das características geológicas da região em que está instalada a usina (espessura ao redor de 100 metros para as rochas intrusivas básicas).

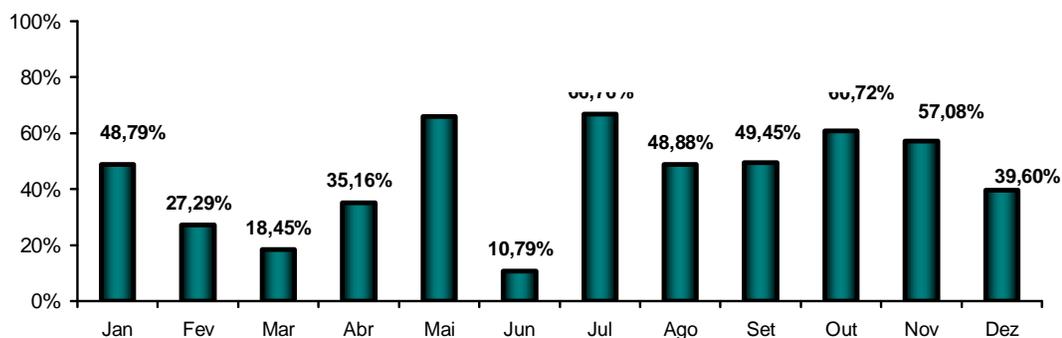


Figura 27 - Taxa de disposição inadequada em 2001
Fonte: SID SI, 2002

São consideradas disposições inadequadas os resíduos que ficam armazenados temporariamente (escória e carepa) e os resíduos com destinação ainda não aprovada pela Cetesb (terra da "Shredder"). Em 2001, 44% dos resíduos da usina objeto deste estudo de caso foram dispostos inadequadamente.

Foi realizado um estudo de *benchmarking* nacional entre as usinas semi-integradas do grupo siderúrgico ao qual pertence à usina objeto do estudo de caso, conforme a Figura 28.

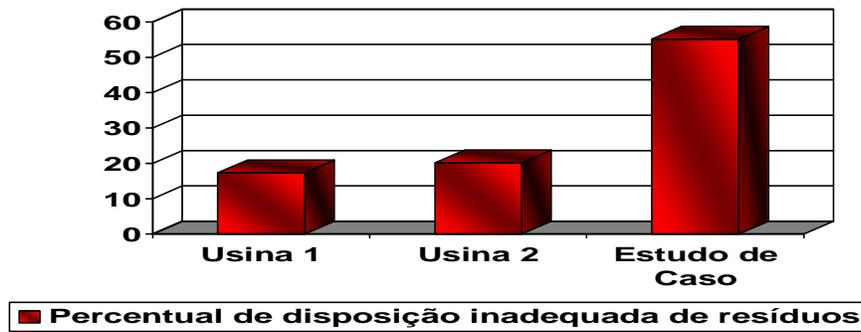


Figura 28 - Benchmarking Sid Si: Taxa de disposição inadequada em 2001

Fonte: SID SI, 2002

As usinas 1 e 2 apresentaram resultados inferiores de disposição inadequada, 18% e 20% respectivamente, porque ambas dispõem de aterro industrial em suas instalações.

5. TRATAMENTO DE RESÍDUOS

Enquanto no Capítulo 3 buscou-se apresentar o cenário das destinações existentes para os resíduos nos principais países produtores de aço, neste capítulo são selecionadas as melhores práticas para o tratamento dos quatro resíduos principais gerados na usina objeto do estudo de caso, com um aprofundamento maior no pó de aciaria, que tem requerido desenvolvimento de várias tecnologias para seu tratamento.

Serão relatadas soluções aplicadas no Brasil e em outros países, como o uso da escória de aciaria para neutralização de solos nos Estados Unidos, Japão e China; tecnologias de inertização do pó de aciaria, de disposição controlada ou de recuperação de zinco e chumbo na Espanha; e as soluções já adotadas pela própria usina objeto deste estudo. Em seguida, é apresentada uma proposta de gerenciamento desses resíduos a partir do entendimento do processo de geração, conforme recomenda Lora (2002), e pela utilização dos mapas de processo de Werkema (2000). O capítulo é concluído com a formulação de propostas para o tratamento de cada um dos resíduos.

5.1 TÉCNICAS DE TRATAMENTO

Neste item são apresentadas as melhores práticas de tratamento que podem ser aplicadas para os quatro resíduos, levando-se em conta tanto os aspectos ambientais como os técnicos e econômicos.

5.1.1 ESCÓRIA

Considerando-se a produção brasileira de aço bruto nos anos de 2002 e 2003, média de 25 milhões de toneladas anuais (IBS, 2003), a produção de escória atual seria de 7,5 milhões de toneladas por ano, sendo 5 milhões de toneladas de escória de alto forno e 2,5 milhões de toneladas de escória de aciaria. Parte dessas escórias é vendida para indústrias cimenteiras e de construção civil, respectivamente como matéria-prima para a obtenção do cimento *Portland* e uso em pavimentação ou construção como agregado (FILEV, 2003). Embora a venda de parte das escórias seja prática usual na maioria das empresas de grande porte, alguns aspectos técnicos impedem a utilização plena dos resíduos para tal finalidade, podendo-se destacar problemas quanto à heterogeneidade, alto teor de cal livre, expansibilidade e ausência de atividade hidráulica (FILEV, 2003).

As escórias de aciaria e os materiais resultantes do seu beneficiamento, os agregados siderúrgicos, apresentam em sua composição elementos que provocam a expansão do material devido à sua hidratação (destaca-se a cal livre). Esta situação promove, no caso da utilização como base de pavimentos, a ruptura do acabamento. Para eliminar as dúvidas em relação à expansibilidade e estabilização dos agregados siderúrgicos, estão em curso estudos, alguns patrocinados pelo Instituto Brasileiro de Siderurgia, para desenvolvimento de uma metodologia analítica, que permita medir o nível de expansão residual dos agregados siderúrgicos.

Outro ponto fundamental é identificar como se processa a “cura” (hidratação da cal livre e conseqüente expansão do material) em condições naturais ou através de outros meios que permitam acelerar o processo. A partir deste conhecimento, poderão ser definidos procedimentos de armazenamento que promovam a cura natural em menor tempo em processos de cura acelerada.

Do ponto de vista ambiental, necessita-se avaliar se os usos pretendidos podem ocasionar impactos ambientais adversos, de forma a assegurar aos futuros usuários a garantia na aplicação, não só do ponto de vista de qualificação técnica do material como também da eliminação dos riscos ambientais.

O desenvolvimento de pesquisas neste âmbito é abundantemente relevante, pois são reais os benefícios que podem advir da utilização dos agregados siderúrgicos em substituição aos materiais naturais, como a argila, areia e pedra britada. Dentre esses benefícios, destacam-se:

1 - Conservação de recursos naturais não-renováveis, utilizados em pavimentação de ruas;

2 - Redução de custos na construção de pavimentos, permitindo uma base mais durável e de drenagem livre, aumentando a vida útil do pavimento e a construção de bases mais firmes para maior resistência à carga;

3 - Minimização do consumo energético e das emissões resultantes da extração e beneficiamento;

4 - Redução de custos para recuperação ambiental das áreas degradadas nos processos extrativos;

5 - Eliminação do acúmulo e descarte das escórias siderúrgicas;

6 - Geração de receita pela venda dos agregados siderúrgicos.

Enquanto os problemas citados não são solucionados, não é rara a existência de grandes volumes de escórias estocadas nos pátios das empresas, de onde geralmente são enviadas a aterros públicos ou particulares. A disponibilidade restrita de áreas para instalação de aterros próximos a centros urbanos, o custo relativamente elevado de manutenção desses locais e a necessidade de vida útil prolongada têm restringido tal alternativa de disposição de resíduos para aqueles que realmente não são passíveis de reuso ou reciclagem, destacando-se, ainda, que o material imprópriamente enviado para aterro representa um desperdício de matéria-prima (COMPAM, 2003).

Além do uso em substituição aos materiais naturais na construção de pavimentos, também o uso agrícola das escórias de siderurgia surge como alternativa viável de reaproveitamento do resíduos (AMARAL SOBRINHO et al., 1993), podendo-se economizar na exploração de um recurso não-renovável, o calcário, bem como em fertilizantes (LOUZADA, 1987). O uso das escórias para

neutralização da acidez de solos é prática difundida em alguns países, como Estados Unidos, Japão e China (PRADO et al., 2002; PRADO et al., 2003). Em regiões tropicais, onde os solos são predominantemente muito sujeitos à intempérie e pobres em *P* e cátions trocáveis (BRADY & WEIL, 1999), o uso agrícola das escórias de siderurgia como corretivo torna-se ainda mais atrativo. Benefícios adicionais à fertilidade do solo e nutrição das culturas estão relacionadas à presença de *Si*, *P* e micronutrientes nas escórias. Motivo de preocupação são as concentrações que podem ser relativamente elevadas de alguns elementos potencialmente tóxicos, micronutrientes ou não, tais como *Cd*, *Cu*, *Mn*, *Pb* e *Zn* (OLIVEIRA et al., 2004).

A prática da calagem para neutralização da acidez do solo e fornecimento de *Ca* e *Mg* para culturas agrícolas é reconhecida como importante na obtenção de elevadas produtividades (KAMPRATH, 1984; VITTI & LUZ, 2001). Em solos de regiões tropicais, altamente sujeitos à intempérie e ricos em óxidos de *Fe* e *Al*, a calagem traz como benefícios adicionais a neutralização do alumínio e manganês tóxicos e o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos com cargas variáveis (KAMPRATH, 1984; SILVA & OLIVER, 2001).

A geração estimada de escórias de siderurgia (7,5 milhões de toneladas por ano) poderia suprir cerca de 40% do total de calcário agrícola produzido no Brasil, média de 18 milhões de toneladas nos anos de 2000, 2001 e 2002 (CONAB, 2003); no entanto, seu uso agrícola é praticamente desprezível. Rocha & Fuinhas (1991) citam alguns fatores que podem explicar tal situação: (i) baixo nível tecnológico empregado na agricultura; (ii) relativa oferta de calcário; (iii) desconhecimento do potencial da escória comparativamente a do calcário; (iv) dificuldade para moagem da escória ocasionada pelos elevados teores de silício que a torna abrasiva e com alta tenacidade; (v) presença de elementos acompanhantes indesejáveis, caso de alguns metais pesados.

A maioria das pesquisas realizadas com escórias de siderurgia indica ação neutralizante da acidez de solos semelhante à dos calcários (RIBEIRO et al., 1986; AMARAL SOBRINHO et al., 1993; PRADO & FERNANDES, 2001; PRADO et al., 2002), exceto pela reação mais lenta no solo (PRADO & FERNANDES 2000), o que

pode ser interessante por um provável efeito residual mais longo na liberação de nutrientes.

O efeito residual mais prolongado da escória de siderurgia pode estar relacionado com o equilíbrio químico de solubilização deste resíduo após aplicação no solo (PRADO et al., 2003). Em solução aquosa, há diminuição da solubilidade do silicato de cálcio com o aumento do pH e da concentração de Ca em solução (KATO & OWA, 1996). Outro aspecto relacionado à reação mais lenta da escória após aplicação no solo refere-se à presença de complexos de alumínio-silicatos na sua composição (ANDO et al., 1988).

Alem da ação corretiva da acidez de solos, as escórias de siderurgia, semelhante aos calcários, servem de fonte de Ca e Mg; são citadas na literatura nacional para algumas culturas de interesse agrícolas: alface (AMARAL et al., 1994; PRADO et al., 2002), cana-de-açúcar (PRADO & FERNANDES, 2000; PRADO & FERNANDES, 2001; Prado et al., 2003), eucalipto (ROCHA & FUINHAS, 1991), goiabeiras (PRADO et al., 2003) e milho (PIAU, 1995).

5.1.2 PÓ DE ACIARIA

A avaliação das tecnologias para disposição do PAE no Brasil e as visitas técnicas a usinas de tratamento nos Estados Unidos, Espanha e Itália indicaram claramente alternativas distintas de solução, principalmente em função do estágio de desenvolvimento de tecnologias emergentes de grande potencial, ou seja, alternativas auto-sustentáveis ou que reduzam drasticamente os custos previsíveis com a disposição do PAE e não representam risco continuado de geração de passivos ambientais.

O resultado do emprego dessas tecnologias emergentes, algumas planejadas para iniciar sua operação em escala industrial em 2004/2005, pode alterar significativamente o cenário atual de disposição do PAE. Assim, não cabe encaminhar decisões de investimento antes da avaliação dos resultados relativos aos processos Ezinex (ver Anexo 4) e MRT/Forno Rotativo, desenvolvimento do

óxido comercial de zinco, com separação de *Pb/Cd* e evolução do projeto para uma etapa inicial de forno rotativo (ver Anexo 5).

Um estudo, ainda em curso, de avaliação agronômica do pó de aciaria realizado pelo Instituto Agronômico de Campinas-IAC, apresentado no Anexo 7, tem se revelado bastante promissor, conforme as conclusões preliminares dos ensaios realizados com quatro amostras de pó de aciaria elétrica das principais siderúrgicas brasileiras:

- Teor total de 16% a 22% de *Zn* indica a possibilidade de o pó de aciaria ser usado como uma fonte do micronutriente para as plantas;
- A baixa solubilidade em água e o teor solúvel em ácido cítrico e em citrato neutro de amônia (CNA) de 6% a 9,5% de *Zn*, menos da metade do teor total, indica que a eficiência agronômica dos pós de aciaria comparada ao sulfato de *Zn* pode ser inferior a 50%;
- Os teores totais altos e a solubilidade entre 0,8% e 2,3% de *Fe* e de 0,05% a 0,2% de *Mn* em ácido cítrico nas amostras de pó de aciaria indicam a possibilidade de que esses micronutrientes se tornem disponíveis às plantas;
- Uma das amostras apresentou em torno de 0,1 % de *Mo*, micronutriente necessário em quantidades muito pequenas às plantas, podendo o pó de aciaria desempenhar também a função de fertilizante fonte de *Mo*;
- Os teores totais de *Pb* (de 1,8% a 3,2%), de *Cd* (de 300 mg kg⁻¹ a 600mg kg⁻¹) e de *Cr* (1700 mg kg⁻¹ a 4600 mg kg⁻¹) são altos e, pelas legislações vigentes em alguns países, esses resíduos não poderiam ser usados na agricultura, mas no Brasil se equiparam a fertilizantes comerciais;
- A solubilidade alta de *Cd*, em água, e de *Pb*, em ácido cítrico e em CNA, é um indicativo prévio da sua disponibilidade às plantas;
- O processamento dos pós de aciaria nos adubos das amostras fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), se por um lado diminuiu a concentração total de *Cd*, *Pb* e *Cr* por unidade de *Zn* e melhorou a

solubilidade desse nutriente, por outro lado também aumentou a solubilidade dos três elementos potencialmente tóxicos;

- Nos adubos formulados com pós de aciaria e superfostato simples, a relação entre a concentração de *Zn*, *Cd* e *Cr* dos pós foi mantida, sendo que esses metais são totalmente solúveis em água. A concentração de *Pb* por unidade de *Zn* foi expressivamente reduzida, tendo baixa solubilidade em água.

Estão em curso no IAC análises de dioxinas e furanos nas amostras de pó de aciaria, o que, conforme os níveis de concentração encontrados, poderá inviabilizar esta aplicação sem um tratamento prévio.

No Anexo 8 serão detalhados também exemplos de soluções aplicadas em usinas espanholas: inertização e disposição controlada nas usinas de Nervacero e de Azkoitia, e de recuperação de zinco e chumbo na planta de Azer.

5.1.3 CAREPA

A carepa, em função de ser composta quase exclusivamente de óxido de ferro, tem sido aplicada nas cimenteiras, na fabricação de ferro-ligas, na produção de sulfato férrico (ver nas Figuras 29, 30 e 31 a seqüência desde a chegada da carepa em *big bags*, o seu processamento no reator até o produto) e também na produção de contrapeso balanceador, conforme pode ser visto nas Figuras 32 a 35.



Figura 29 - Recebimento da carepa em *Big Bag's*
Fonte: Nheel Química, 2004



Figura 30 - Reator de enriquecimento
Fonte: Nheel Química, 2004



Figura 31 - Sulfato Férrico Clorado
 Fonte: Nheel Química, 2004



Figura 32 - Recebimento a granel da carepa
 Fonte: Ambiental Paulista, 2004



Figura 33 - Misturador
 Fonte: Ambiental Paulista, 2004



Figura 34 - Colocação da massa no contrapeso
 Fonte: Ambiental Paulista, 2004



Figura 35 - Vista dos contrapesos
 Fonte: Ambiental Paulista, 2004

Nas usinas integradas, a carepa é reciclada internamente, sendo utilizada na sinterização. Neste processo, é adicionada aos finos de minério e outros materiais, como cal e carvão, e na máquina de *sínter*, a uma temperatura de 1000°C, formando-se pelotas que irão alimentar o alto forno para a produção de gusa.

Existe também um processo desenvolvido pela Heckett Multiserv, empresa com matriz na Inglaterra e com operações em escala mundial em diversas usinas siderúrgicas, inclusive na usina objeto deste estudo de caso, denominado Carbofer, para uso da carepa e do pó de aciaria formando um *mix* com carvão e cal para injeção pneumática no forno elétrico. O carvão deste *mix* é um agente para formação de escória espumante e há o incremento de óxido de zinco em função da presença do pó de aciaria (ver Anexo 9).

Há projetos, ainda em testes em escala piloto, para a fabricação de um gusa secundário (de menor qualidade) a partir da refusão da carepa.

O Departamento de Estradas de Rodagem DER/SP está realizando estudos e experiências utilizando carepa como agregado na massa asfáltica, objetivando a redução de custos na manutenção de vias pavimentadas. Foram usinados 10m³ de pré-misturado a frio (PMF), substituindo-se o pedrisco pela carepa e aplicando o agregado no tapa-buraco e também na regularização e selamento (tratamento superficial) do pavimento. Foi observado, a princípio, um bom resultado no que diz respeito à cura do material e às características e propriedades físicas quando comparado com a massa asfáltica comum, ou seja, usando o pedrisco. Além do PMF, utilizou-se também a carepa como agregado no concreto betuminoso usinado a quente (CBQU), obtendo-se bons resultados.

O agregado enquadrou-se como lama asfáltica, conforme especificação DNER-ES-P23/71, conforme pode ser verificado na Tabela 18.

Tabela 18 - Quadro comparativo entre carepa e lama asfáltica

Parâmetros	Lama Asfáltica DNER-ES-P23/71	Carepa
Estabilidade Marshall	> 350Kgf/cm ²	700Kgf/cm ²
% de vazios	3 a 5	6
% de fluência	8 a 18	9
% R.B.V	75 a 82	77
(Relação Betume Vazios)		

Fonte: DER, 2001

Os resultados foram obtidos com o teor ótimo de betume igual a 7%; foi utilizado o cimento asfáltico de petróleo (CAP) 50/60 na composição. A lama asfáltica é um material usado basicamente como tratamento superficial (selamento). Em relação ao custo, o CBUQ com a utilização de carepa, em um raio de 100km de Piracicaba, pode apresentar uma redução de até 60%, o mesmo percentual quando a carepa é utilizada no PMF.

5.1.4 TERRA DA “SHREDDER”

Conforme referência anterior, a eficiência da reciclagem da sucata de obsolescência é relativamente alta, cerca de 82%; entretanto, esta sucata comumente vem impregnada de impurezas, como terra, plásticos, borrachas, etc., após a preparação da sucata. Em empresas que possuem máquinas fragmentadoras, há sobra deste material residual que também contém metais não-ferrosos em concentrações variáveis, denominado terra da “Shredder”, cuja disposição final em aterros demanda elevado capital devido aos volumes diariamente gerados.

A terra da “Shredder” é normalmente tratada em uma planta constituída de peneiras vibratórias e esteiras para separação dos seus componentes, conforme pode ser visto nas figuras de 36 a 46.



**Figura 36 - Chegada da terra da “Shredder”
a ser processada**
Fonte: Bugue Reciclagem



Figura 37 - Carregamento do alimentador
Fonte: Bugue Reciclagem



Figura 38 - Alimentador de esteira
Fonte: Bugue Reciclagem



**Figura 39 - Entrada do material na
peneira**
Fonte: Bugue Reciclagem



Figura 40 - Vista das peneiras vibratórias
Fonte: Bugue Reciclagem



**Figura 41 - Encaminhamento do material
ferroso e não-ferroso**
Fonte: Bugue Reciclagem



**Figura 42 - Saída da terra da “Shredder”
processada**
Fonte: Bugue Reciclagem



**Figura 43 - Vista da terra da “Shredder”
processada**
Fonte: Bugue Reciclagem



**Figura 44 - Esteira para separação de
materiais metálicos e não-
metálicos**
Fonte: Bugue Reciclagem



**Figura 45 - Caçambas para a separação
de material metálico e não-
metálico**
Fonte: Bugue Reciclagem

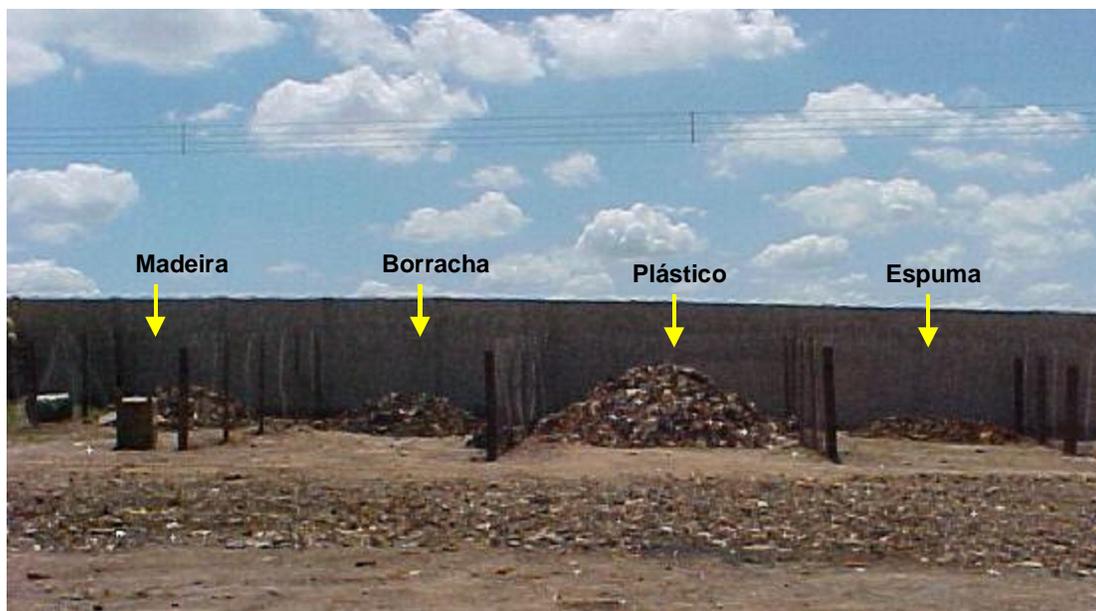


Figura 46 - Baía de separação de materiais diversos

Fonte: Bugue Reciclagem

Os metais recuperados são comercializados e os materiais restantes são enviados para aterro industrial, conforme referido anteriormente.

5.2 PROPOSTA DE GERENCIAMENTO

O gerenciamento de resíduos industriais implica ações muito mais abrangentes que o mero cumprimento de leis e regulamentações ambientais. A redução de riscos e a minimização da geração de resíduos são itens importantes a ser considerados (LORA, 2002). A metodologia citada por Lindger (1989) e proposta pela EPA - *Environmental Protection Agency*, Estados Unidos, para o gerenciamento de resíduos industriais, deve considerar a definição de ações necessárias à obtenção de soluções adequadas ao ponto de vista do desempenho industrial e do atendimento às exigências dos órgãos de controle ambiental.

São três as questões básicas propostas pela metodologia citada, a saber:

1 - Se a empresa gera resíduos, quais são eles, qual sua taxa e ponto de geração?;

2 - Como os resíduos gerados são classificados de acordo com os instrumentos legais disponíveis?;

3 - Quais são os instrumentos de controle aplicáveis e as tecnologias disponíveis para o gerenciamento desses resíduos?.

O presente estudo de caso propõe uma quarta questão:

4 - Como os resíduos são gerados?

As três primeiras questões já foram respondidas, a primeira no Capítulo 3, itens 3.1 (Processo de uma usina semi-integrada) e 3.3 (Gerenciamento de resíduos); a segunda, de uma forma geral, no Capítulo 2, item 2.2 (Geração e destinação de resíduos) e será mais bem detalhada neste item 4.2; a terceira, no Capítulo 2, item 2.1 (Legislação Ambiental) e Capítulo 4, item 4.1 (Técnicas de tratamento). A quarta e última questão será tratada a seguir.

O estudo do processo e de suas matérias-primas fornece informações importantes quanto à potencial composição química do resíduo bem como a possíveis fontes de variabilidade (JOHN & ÂNGULO, 2003).

O entendimento do processo de produção responsável pela geração de um resíduo industrial e a adequada caracterização são os pontos fundamentais para a sua gestão (LORA,2002). Uma ferramenta que tem sido utilizada para o conhecimento do processo é a denominada mapa de processo (WERKEMA, 2000).

Assim, os mapas de processo foram aplicados sobre os resíduos principais da usina semi-integrada, objeto do estudo de caso, para documentar o conhecimento existente sobre os processos.

O mapa de processo deve descrever:

- Os limites do processo: onde começa e onde termina;
- Entradas e saídas;
- Principais atividades / tarefas;

- Parâmetros:

- Parâmetro do produto final (Y):

Um parâmetro que caracteriza o produto no estágio de produto acabado. O produto acabado pode ser, por exemplo, uma peça, uma submontagem e/ou uma montagem.

- Parâmetro de produto em processo (y):

Um parâmetro que caracteriza o produto antes do estágio de produto acabado.

- Parâmetro de processo (x):

Uma característica mensurável de um processo que pode afetar o desempenho do produto (exemplos: temperatura, pressão, velocidade, tempo). Conforme Coleman (1999), os parâmetros de processo se classificam em: parâmetro de processo controlável, fator que pode ser ajustado em um valor predeterminado e mantido em torno deste valor; e parâmetro de ruído, fator que não pode ser ajustado em um valor predeterminado e mantido em torno deste valor.

Se a caracterização do processo indica que a variação em um parâmetro controlável ou em um parâmetro de ruído exerce um impacto significativo na performance do produto, aquele parâmetro é identificado como um parâmetro crítico.

São apresentados a seguir os mapas de processo dos quatro principais resíduos enfocados neste trabalho, realizados a partir da planta objeto do estudo de caso.

- **Pó de Aciaria Elétrica (PAE):** é o principal efluente atmosférico do processo de forno elétrico. Sua geração está relacionada com a volatilização dos metais na região do arco, a oxidação pelo oxigênio soprado e o carreamento de impurezas e finos pela exaustão. O pó de aciaria é um resíduo Classe I listado como perigoso de fonte específica (K 061) conforme a ABNT NBR 10.004/04. As etapas da geração do pó de

aciaria, assim como os parâmetros de processo, podem ser vistos na Figura 47.

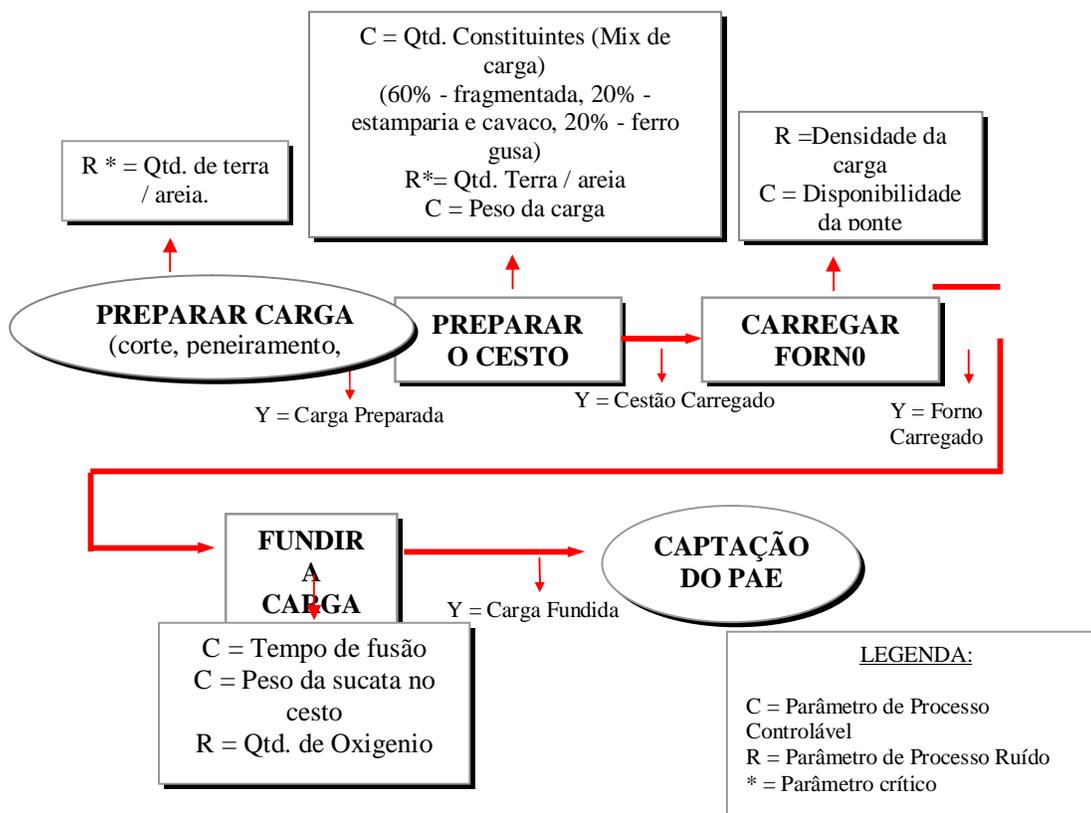


Figura 47 - Mapa de geração de resíduo - Pó de aciaria

Como pode ser verificado pelo mapa, o parâmetro crítico é a quantidade de terra que vem agregada à sucata ferrosa e que vai ser carregada no forno elétrico. Quanto maior for o volume de terra, mais cal precisa ser adicionado ao carregamento do forno para corrigir a basicidade e evitar o ataque aos tijolos refratários que fazem a proteção térmica da carcaça do forno, e mais oxigênio precisa ser injetado no forno para a formação de óxidos (SiO_2 , CaO) e proporcionar a retirada das impurezas do banho (aço líquido dentro do forno) e, portanto, maior vai ser o volume de pó gerado.

O fluxo, desde a captação do pó de aciaria nos sistemas de desempoeiramento até a destinação final, pode ser visto na Figura 48.

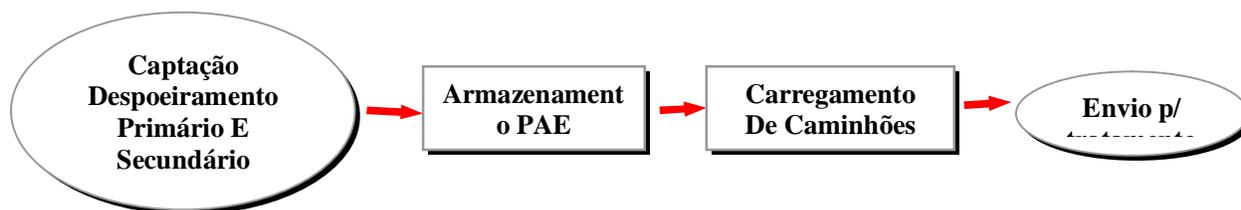


Figura 48 - Fluxograma de destinação de pó de aciaria

- Escória: Formada pela adição de fundentes à carga do forno, é vertida líquida, resfriada e reprocessada na planta da empresa responsável pela separação magnética de metálicos e seleção granulométrica. A escória é um resíduo Classe II A (não-inerte) devido ao fato de a concentração de ferro obtida no ensaio do solubilizado (0,37mg/L) se apresentar levemente superior ao limite máximo especificado na ABNT NBR 10.004/04 (0,3mg/L). Sua importância está em ser o resíduo de maior geração. As etapas, assim como os parâmetros de processo da geração da escória, podem ser vistos na Figura 49.

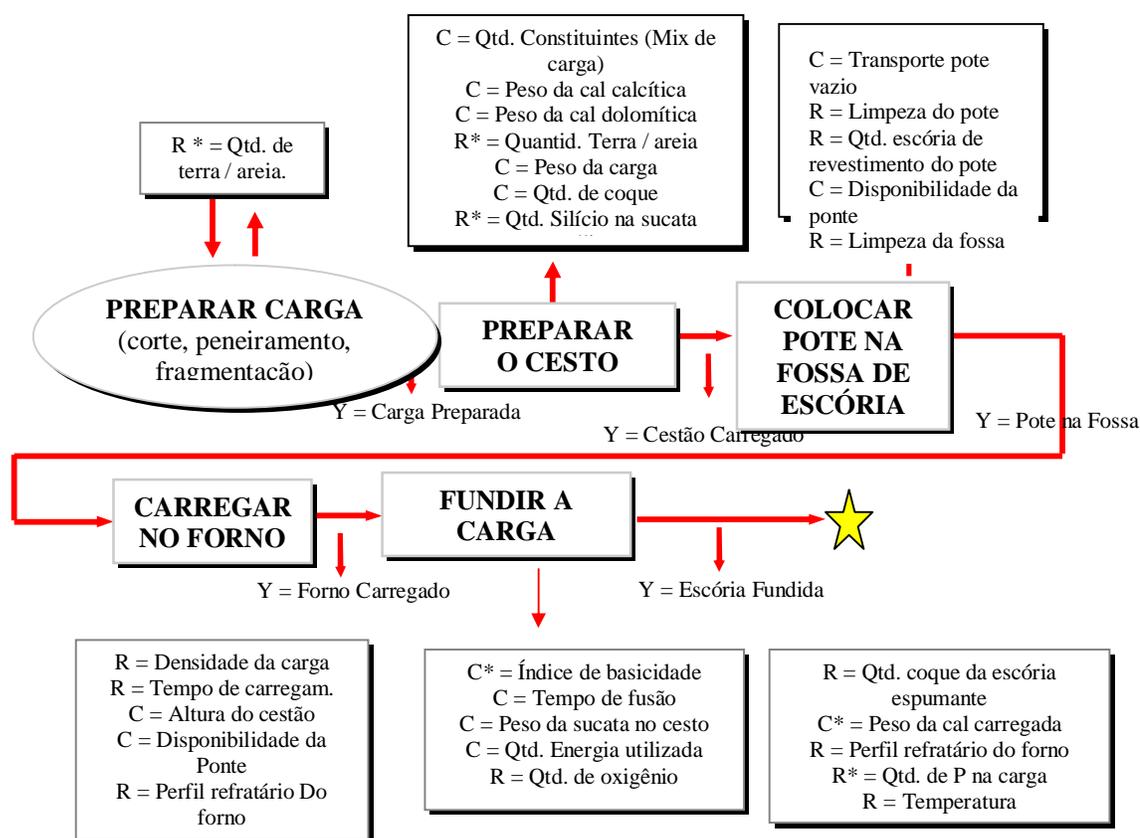


Figura 49 - Mapa de geração de resíduo - Escória

Para a escória, aplica-se o mesmo raciocínio utilizado para a formação do pó de aciaria; aqui também o parâmetro crítico é a quantidade de terra que vem agregada à sucata ferrosa e que vai ser carregada no forno elétrico. Quanto maior for o volume de terra, mais cal precisa ser adicionado, mais oxigênio precisa ser injetado no forno, formando SiO_2 e CaO e, portanto, maior vai ser o volume de escória gerada.

O fluxo, desde a retirada da escória do forno até a destinação final, pode ser visto na Figura 50.

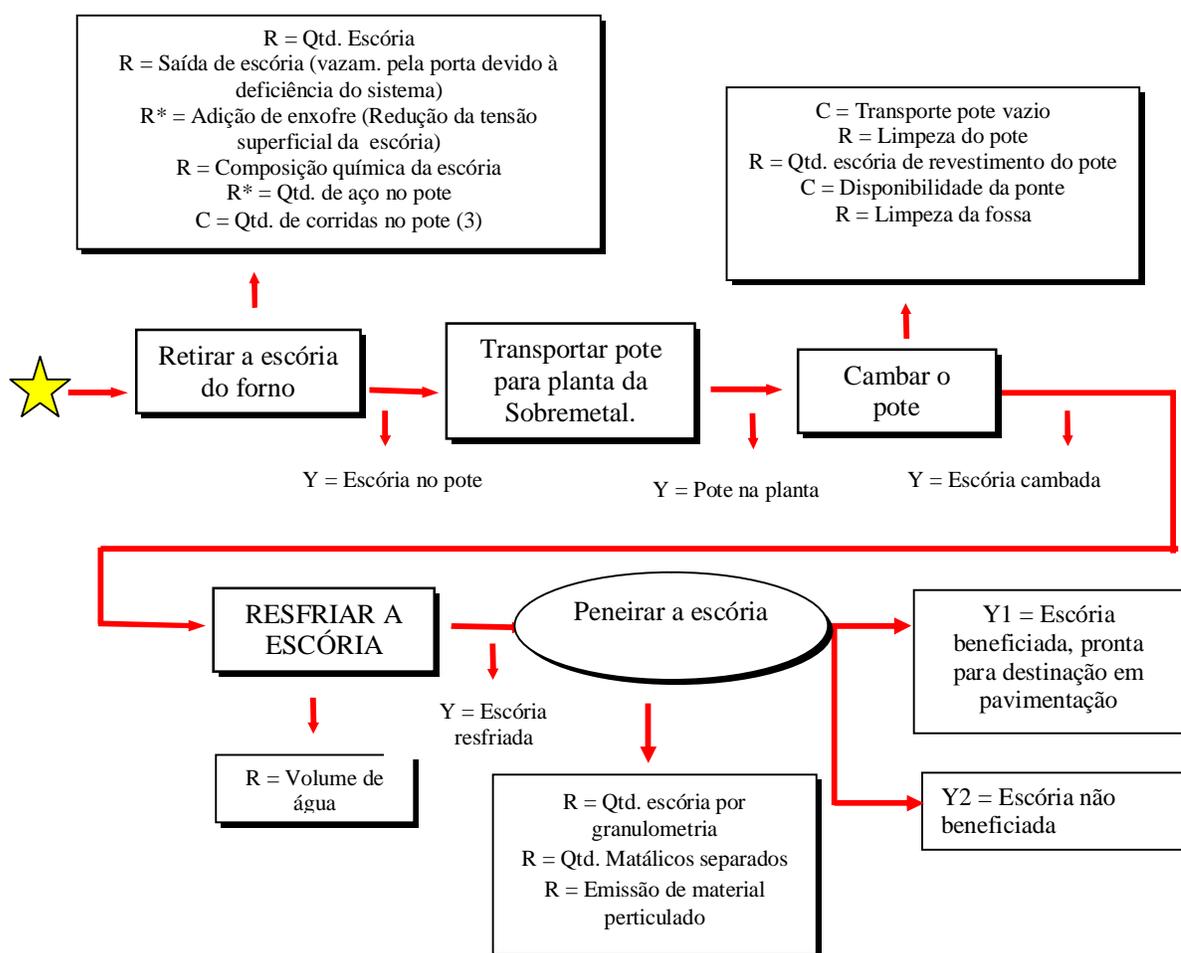


Figura 50 - Fluxograma de destinação de escória

- Terra da “Shredder”: Resulta do processo de fragmentação da sucata ferrosa na máquina Shredder após a separação da fração metálica pelos

rolos magnéticos. A terra da “Shredder” é um resíduo Classe II porque apresenta, no extrato solubilizado, fenóis, fluoretos, ferro e manganês acima dos limites permitidos pela NBR 10.004/04. As etapas, assim como os parâmetros de processo, da geração da terra da “Shredder” podem ser vistos na Figura 51.

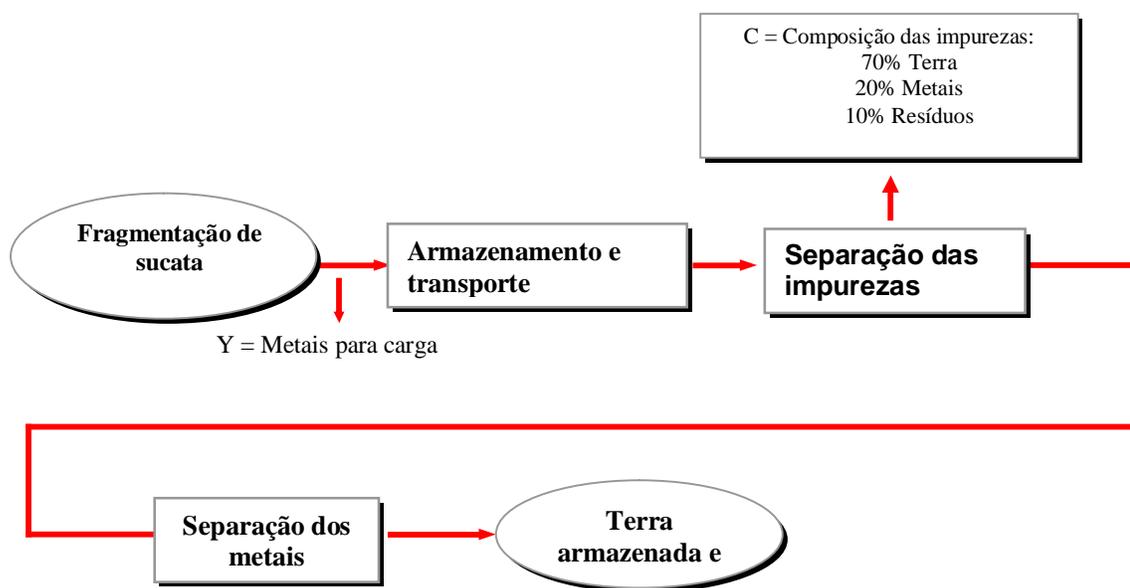


Figura 51 - Mapa de geração de terra da “Shredder”

- **Carepa:** É resultante do processo da passagem do lingote pelos rolos extratores da máquina de lingotamento contínuo, forno de reaquecimento e das gaiolas (cadeiras) da laminação, sendo carregada para o poço de carepa e tanques de decantação. Pode estar impregnada de óleo e graxa utilizados na lubrificação dos equipamentos. A carepa é um resíduo Classe II A, por apresentar, no extrato solubilizado, os parâmetros ferro, manganês e sódio acima dos limites máximos permitidos na ABNT NBR 10.004/04. As etapas, assim como os parâmetros de processo da geração da carepa, podem ser vistos na Figura 52.

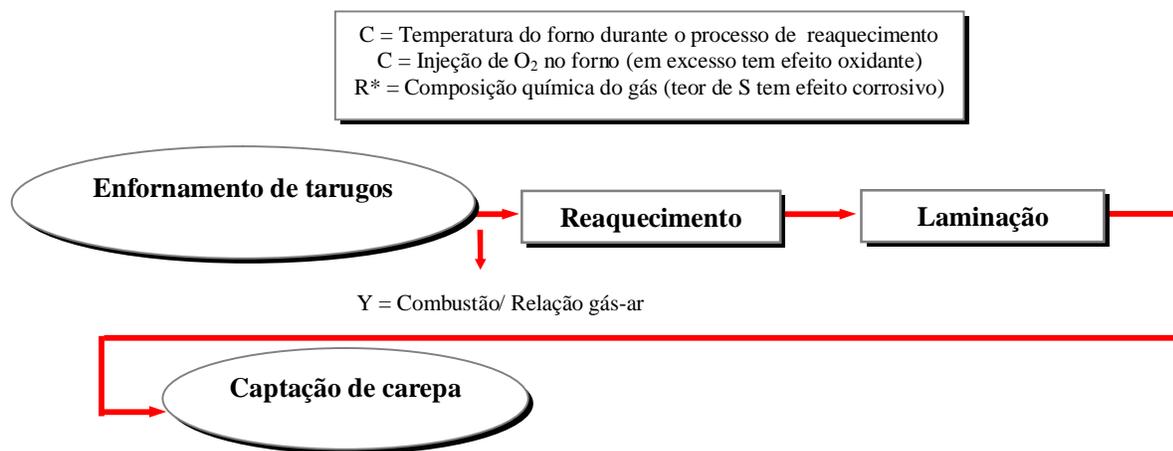


Figura 52 - Mapa de geração de carepa

Como pode ser verificado pelo mapa, o parâmetro crítico é o teor de enxofre no combustível do forno de reaquecimento, oxidando os tarugos enfornados e elevando a geração de carepa.

O fluxo, desde a retirada da carepa dos poços de decantação até a destinação final, pode ser visto na Figura 53.

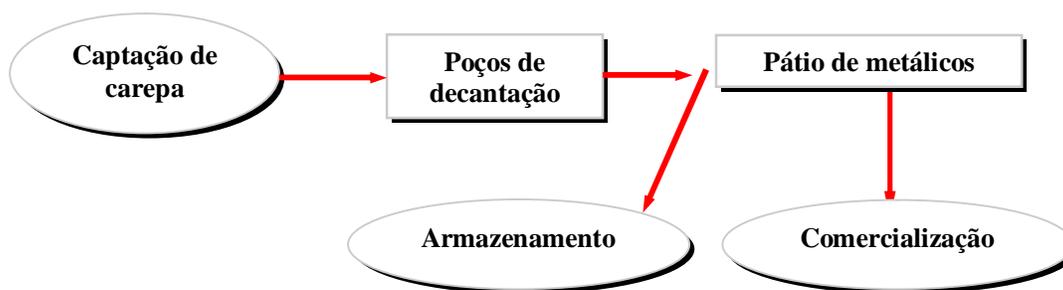


Figura 53 - Fluxograma de destinação de carepa

5.3 PROPOSTAS DE TRATAMENTO DOS RESÍDUOS

Neste item, depois de serem apresentadas as melhores práticas de tratamento aplicáveis para os quatro resíduos e de responder às questões básicas para o gerenciamento de resíduos, principalmente de como eles são gerados, é realizado um detalhamento de propostas de alternativas que podem contribuir para o gerenciamento da usina objeto do estudo de caso e para outras usinas semi-integradas e para a formulação de um plano de contingência.

5.3.1 PROPOSTA DE TRATAMENTO/UTILIZAÇÃO PARA ESCÓRIAS

Observa-se que no curto prazo, particularmente para o estado de São Paulo, onde a CETESB permite apenas o uso do agregado siderúrgico (escória) como sub-base asfáltica, desde que atendidas as seguintes condicionantes:

1 - O material ser classificado como resíduo não perigoso, conforme a Norma ABNT NBR 10004/04;

2 - Os locais pavimentados não podem estar situados em áreas de proteção ambiental, áreas de proteção de mananciais ou outras áreas com restrições ambientais;

3 - A camada de agregado siderúrgico, depois da hidratação, deve receber imprimação impermeabilizante, seguida da execução de camada de rolamento;

4 - A execução da camada de agregados deve ser programada de modo a evitar acúmulo de agregados fora da via a ser pavimentada;

5 - Os agregados devem ser britados na própria siderúrgica, antes do seu uso como sub-base.

Deve ser criada uma estrutura nas empresas que permita, quanto ao produto:

A - Segregação de toda escória gerada, separando inclusive a escória do forno elétrico da escória do forno panela, esta uma escória redutora com alto teor de CaO (58%) e baixo teor de FeO (2%), cuja geração representa apenas pouco mais de 10% da geração total de escória;

B - Definição de formas de estocagem;

C - Separação granulométrica conforme a demanda do mercado;

D - Garantir o período mínimo de seis meses para “cura” da escória;

E – Realização de ensaios físico-químicos de expansibilidade.

E quanto ao mercado:

A - Realizar prospecção e pesquisa de mercado;

B - Garantir assistência técnica na pré e pós-venda;

C - Emitir certificado do produto.

Para o médio prazo, deve-se congrega toda a bibliografia e experiência mundial do uso do agregado siderúrgico para, em um esforço conjunto, reunindo o Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT) e os Departamentos de Estradas e Rodovias (DER) estaduais, buscar a normatização do uso do agregado junto à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Devem, ainda, prosseguir os estudos conjuntos com institutos de pesquisa e universidades para se buscar a consolidação, em bases científicas, dos outros usos para a escória, particularmente a utilização na agricultura. A usina também deve identificar ou apoiar o desenvolvimento de empresas que tenham como negócio o uso da escória.

Finalmente, no longo prazo, atendidos todos os aspectos ambientais, deve-se buscar estabelecer a escória efetivamente como um produto competitivo técnica e economicamente, em larga escala do mercado, e devem ser firmados contratos de comercialização a fim de assegurar os compromissos entre as partes.

5.3.2 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA PÓ DE ACIARIA ELÉTRICA

Para o curto prazo, foi possível identificar as seguintes soluções, a serem aplicadas individualmente ou em combinação, conforme a escala de operações de cada planta/empresa e o teor de *Zn* e/ou de outros metais nobres como *Ni* e *Cr*.

1 - A implantação de pátios temporários de estocagem, impermeabilizados e com tratamento dos percolados/gases, que acomodariam os resíduos até sua reciclagem/tratamento; surge como alternativa que poderá atender não só ao curto prazo como preparar a empresa para soluções permanentes. Trata-se de solução certamente menos onerosa que um aterro para resíduos perigosos nos moldes norte-americanos, que permite esta destinação apenas após a inertização, conforme preconizados no Brasil - dupla impermeabilização, drenagem controlada e tratada de percolados e gases, monitoramento exaustivo, etc.;

2 - Aterro Industrial Classe I (resíduos perigosos), podendo este ser localizado *in situ* ou fora da área da indústria siderúrgica. Tal alternativa pode criar problemas futuros para a empresa geradora, uma vez que esta é responsável “eterna” pelo material aterrado. Esta solução é proibida em países como Estados Unidos, Canadá (em processo de proibição), Itália, Áustria, e Alemanha. Portanto, soluções econômicas poderão ser estudadas para a construção de aterros com vida útil minimizada (na realidade, aterros temporários), de forma a atender à legislação e possibilitar a espera pelo desenvolvimento comprovado de novas tecnologias. Nesse caso, uma negociação delicada com os órgãos do meio ambiente deverá ser implementada, já que a tendência destes é no sentido de fazer valer a legislação da EPA, agência ambiental norte-americana, que impede a disposição - mesmo em aterros duplamente impermeabilizados com rigorosos controles de percolados e monitoramento exaustivo - de resíduos perigosos como o pó de aciaria;

3 - Enriquecimento do pó de aciaria em até cerca de 15% ou 20% de *Zn* por reciclagem direta nos fornos elétricos, ou após pelletização, diminuindo significativamente as exigências de estocagem de resíduos perigosos e aguardando a instalação de unidades capazes de processar o pó de aciaria para recuperação

econômica dos metais. Este procedimento, no entanto, exige teor mínimo de partida acima de 5% de *Zn*, além de trazer problemas operacionais para o forno elétrico, pois apenas uma parte do pó de aciaria é composta de óxido de ferro (45% a 52%), o que gera aumento no consumo de energia e maior desgaste dos tijolos refratários;

4 - Incorporação em sinterização de usina integrada, o que já vem ocorrendo em algumas usinas;

A médio prazo devem prosseguir as discussões e testes para incorporação em fornos de cimento, ou na indústria de fertilizantes, para aproveitamento principalmente do óxido de ferro e do óxido de zinco, respectivamente. A incorporação ao cimento é praticada no Canadá a um custo de até US\$120/t, mas espera-se sua proibição a curto prazo. A incorporação a fertilizantes vem sendo discutida entre a Associação Nacional de Distribuidores de Adubo - ANDA e a CETESB, com fortes ressalvas ambientais em função da presença de metais pesados no pó, e possíveis presenças de dioxinas e furanos. Deve ser analisada a viabilidade do desenvolvimento de mercado para incorporação nas indústrias de cerâmica e tintas, entre outras. Esta alternativa já é praticada de forma limitada no Brasil, embora sujeita a restrições ambientais e problemas de mercado.

E a longo prazo, devem ser acompanhadas as tecnologias em desenvolvimento no exterior como a Solidificação ISI, com possibilidade de recuperação de valores metálicos, ou inertização *Super Detox* (ver Anexo 5), que não oferece a possibilidade de recuperação de valores metálicos, mas possui vantagens relativas de custo e facilidade operacional e não exige a incorporação de sucata fina. Tanto na Solidificação ISI como na inertização *Super Detox* são formados silicatos metálicos que podem vir a ser reciclado em fornos elétricos (no caso do *Mill Rock* da ISI) ou utilizados (ambos os casos), por exemplo, na pavimentação de estradas ou simplesmente dispostos em aterros do tipo Classe II A (resíduos não-inertes); os processos Ezinex (ver Anexo 4) e MRT/Forno Rotativo (ver Anexo 6) e os já adotados pelas usinas espanholas (ver Anexo 8)

Uma matriz relacionando as referidas soluções individuais possíveis de curto prazo com o perfil das siderúrgicas semi-integradas, desconsiderando a conveniência de associação entre as empresas, é apresentada a seguir:

Tabela 19 - Matriz de soluções em função do % de zinco

Soluções/Empresas tipo	Baixo teor de Zn	Media escala, teores de Zn acima de 5%	Grande escala, teores de Zn acima de 5%
Pátio de estocagem	Sim	Sim	Sim
Aterro Classe I	Possível, mas não desejável	Possível, mas não desejável	Possível, mas não desejável
Inertização/Aterro	Sim	Sim	Sim
Reciclagem direta	Não	Sim	Sim
Negociação p/ incorporação	Sim	Difícil, por razões de mercado	Difícil, por razões de mercado
Estudos adicionais	Sim	Sim	Sim

Fonte: Sid SI, 2002

5.3.3 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA CAREPA

Como proposta de curto de prazo, a empresa deve construir um local que atenda aos requisitos da Norma ABNT NBR 11174/90, efetuando a segregação das carepas geradas nos diversos pontos do seu processo. Assim sendo, deverão existir baias que permitam a separação da carepa seca gerada no forno de reaquecimento da laminação e trem de desbaste da laminação; da carepa grossa gerada na máquina de lingotamento contínuo e também no trem de desbaste da laminação e coletada no poço de carepa; da carepa fina gerada nos trens intermediário de acabamento da laminação e coletada nos tanques de decantação de carepa.

A destinação para cimenteiras, que têm capacidade para utilizar toda a carepa gerada na empresa, deve ser mantida e ampliada. O envio para as sinterizações deve ser apenas uma solução contingencial, principalmente em função

de questões de logística (custo do frete). O processo Carbofer da Heckett MultiServ deve ser mais bem conhecido, assim como deve ser acompanhado o desenvolvimento da aplicação da carepa na fabricação do gusa secundário e de massa asfáltica.

A médio prazo, a exemplo da escória, devem ser desenvolvidos estudos conjuntos com institutos de pesquisa e universidades para se buscar, em bases científicas, outros usos para a carepa e constituído o mercado devem ser firmados contratos de comercialização afim de assegurar os compromissos entre as partes.

5.3.4 PROPOSTA DE TRATAMENTO PARA TERRA DA “SHREDDER”

A proposta de curto de prazo é manter o processo atual de separação de metálicos, enviando o material residual para o aterro industrial. Alternativas ao aterro passam pela reciclagem total ou parcial da terra da “Shredder”, resultando, no mínimo, em redução dos volumes a serem aterrados (aumento da vida útil dos aterros e redução de custos) e em economia de matéria-prima, ao se considerar o processo produtivo cujo resíduo será incorporado.

Com base no exposto, uma proposta de médio prazo é desenvolver um projeto para viabilizar a utilização da terra da “Shredder” processada na composição de tijolos cerâmicos (Figura 54) em olarias, evidenciando as vantagens ambientais desta prática, em concordância com os preceitos e normas do órgão ambiental competente.

O projeto deve ser organizado de modo a contextualizar a geração do resíduo dentro dos setores siderúrgico e de reciclagem de metais, apresentando informações referentes a: (i) caracterização química e classificação da terra da “Shredder” processada; (ii) inserção do resíduo no processo de manufatura de tijolos em olarias; (iii) certificação da qualidade das peças cerâmicas contendo o resíduo; e (iv) classificação dos tijolos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública. Em paralelo, deve ser proposta à CETESB a construção de unidade-piloto - uma pequena casa - dentro da área da usina, para realização de todos os ensaios e testes que o órgão de controle venha solicitar. Um outro projeto a ser

apreciado é verificar a viabilidade de utilizar a terra processada em substituição a areia na indústria cimenteira como fonte de sílica.



Figura 54 - Proposta para fabricação de tijolos, utilizando-se cerca de 40% de terra da “Shredder” processada
Fonte: Bugue Reciclagem

6. CONCLUSÃO

A boa gestão empresarial de uma usina siderúrgica implica haver padrões rigorosos de gerenciamento ambiental e padrões únicos, preferencialmente do país-sede, quando se tratar de grupos internacionais; além disso, em haver o gerenciamento de resíduos com status de problema prioritário. A introdução de modernas ferramentas estatísticas ou de qualidade, como os mapas de processo e de iniciativas de estudos envolvendo parcerias com universidades e institutos de pesquisa, além de visitas técnicas a unidades de tratamento de resíduos no exterior, são extremamente importantes para a condução de um gerenciamento de resíduos eficiente. Para as empresas que não têm equacionada a questão de resíduos, a curto prazo é fundamental a implantação de um pátio temporário de estocagem, impermeabilizado e com tratamento dos percolados/gases que acomodem os resíduos até sua reciclagem/tratamento, para adequação aos requisitos legais e preparação da empresa para soluções permanentes.

O foco na redução da geração de resíduos deve ser prioridade dos gestores, e o entendimento do processo produtivo sob a ótica dos mecanismos de geração de resíduos, através dos mapas de processo ou outra ferramenta que permita o entendimento do processo, deve ser prática padrão. É necessário também implementar uma completa mudança conceitual e de estratégia no trato dos resíduos, pois transformá-los em produtos (embora continuem sendo um resultado não desejado) ambientalmente eficientes e seguros, com desempenho técnico adequado e que sejam economicamente competitivos nos diferentes mercados, requer, além do entendimento do processo de geração, também a redução de variabilidade para assegurar aos clientes níveis de qualidade constantes, conformidade com normas, controle de estoque, prazo de fornecimento, transporte e até desenvolvimento de *folders* para sua divulgação.

Os aterros externos controlados, embora sejam uma solução reducionista por abortarem a visão sistêmica para o tratamento da questão dos resíduos e terem uma característica finita, são uma alternativa que as usinas semi-integradas devem

contemplar em seu plano de contingência. Devem ser utilizados em situações emergenciais, por esgotamento de áreas de armazenagem temporária ou enquanto soluções de caráter sustentáveis estejam em desenvolvimento. As parcerias com as universidades e institutos de pesquisa, a exemplo dos estudos que a usina objeto deste estudo de caso desenvolveu com a ESALQ/IAC para uso de escória para correção de acidez de solos, com o IAC para uso de pó de aciaria como micronutriente, com o DER/SP para uso da carepa como agregado na massa asfáltica e com a UFSCAR para uso da terra da “Shredder” na composição de tijolos cerâmicos, devem ser estimuladas e potencializadas, pois o grande volume e a presença de substâncias importantes na composição dos resíduos da usina devem ser fatores de motivação para a pesquisa e desenvolvimento de novas alternativas de aplicação.

O acompanhamento do emprego das tecnologias emergentes, como no caso do pó de aciaria, planejadas para iniciar sua operação em escala industrial em 2004/2005, pode alterar significativamente o cenário atual de disposição deste resíduo, não cabendo, assim, encaminhar decisões de investimento antes da avaliação dos resultados relativos aos processos Ezinex e MRT/Forno Rotativo.

Finalmente, as empresas devem refletir, desde que não signifiquem riscos ambientais, sobre o potencial socioeconômico a ser explorado, oriundo da pesquisa de um novo produto gerado a partir do resíduo, quando se deve contemplar necessariamente a geração de empregos, redução do volume de aterros, redução de consumo de recursos naturais não-renováveis, evitando a contaminação do ambiente ou o comprometimento da saúde da população.

Sugestões para outros trabalhos:

No desenvolvimento deste trabalho foi observado que algumas rotas tecnológicas para tratamento/uso de resíduos têm potencial para novas pesquisas, como por exemplo as seguintes:

- Uso da escória de aciaria elétrica na indústria cimenteira;
- Uso da carepa na fabricação de gusa secundário;
- Análise comparativa das tecnologias emergentes (Ezinex, Super Detox, MRT/Forno Rotativo), para uso do pó de aciaria;
- Aprofundamento dos estudos sobre as potenciais aplicações do pó de aciaria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; Costa, L.M.; Oliveira, C.; Velloso, A C.X. Metais pesados em alguns fertilizantes e corretivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.271-276, 1992.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; Costa, L.M.; Dias, L.E.; Barros, N.F. Aplicação de resíduos siderúrgico em um latossolo: efeito na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p. 299-304, 1993.

ANDO, J.; OWA, N.; ASANO, M. Studies on structures, solubility and agronomic response of industrial slag – Effects of alumina on solubility and agronomic response of slags. **Japan Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.59, p.27-32, 1988.

ANDRADE, M.L.A; Cunha, L.M.S; Gandra, G.T; Ribeiro, C.C. Mercado mundial de sucata - Relatório Setorial. Disponível em <www.bndes.gov.br> Acesso: 12 out 2004.

ANTUNES, Paulo de Bessa. **Direito Ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Lúmen Júris, 2001.

ARAUJO, Luiz Antonio de. **Manual de Siderurgia** – São Paulo: Editora Arte e Ciência, 1997.

Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo - **Projeto de Lei**: Política Estadual de Resíduos Sólidos. São Paulo, 2002.

Associação Brasileira de Metais. **Poluição Atmosférica na Indústria Metalúrgica**. Édili Serviços Gráficos Editora Ltda. São Paulo. 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10004/87. **Resíduos Sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro, 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10005/87. **Lixiviação de resíduos**. Rio de Janeiro. 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10006/87. **Solubilização de resíduos**, Rio de Janeiro. 1987.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 11174/90. **Armazenamento de resíduos classe II – não-inertes e III – inertes**. Rio de Janeiro. 1990.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 12235/92. **Armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro. 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 13221/03. **Transporte terrestre de resíduos**. Rio de Janeiro. 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 8418/83; NBR 10157/87. Rio de Janeiro. 2003.

BARROS, N.M. **Resumo do Relatório EAF Benchmarking in Thüringen**, 2002.

BARTON, J.R. **Aço verde**: The brasilian steel industry and environmental performance. Disponível em <<http://168.96.200.17/ar/libros/lasa98/barton.pdf>>. Acesso: 27 ago 2004.

BELGO, Relatório Técnico sobre Instalação e Operação da Máquina Fragmentadora de Sucatas – Shredder, Belgo-Mineira, Piracicaba, 2003.

BELGO SIDERURGIA, Relatório Técnico sobre Aspectos e Impactos Ambientais da Fabricação de Barras Laminadas, Belgo-Mineira, Piracicaba, 2003.

BELGO SIDERURGIA, Relatório Técnico sobre Análise das Emissões Atmosféricas Geradas na Operação do Forno Elétrico, Belgo-Mineira, Piracicaba, 2003.

BELGO SIDERURGIA, Relatório de visitas técnicas: Benchmarking in Thuringen, Belgo, Piracicaba, 2002.

BELLO FILHO, Ney de Barros et al. **Crimes e infrações administrativas ambientais** - Comentários à Lei nº 9.605/98. 2. ed. Brasília: Brasília Jurídica, 2001.

BOSI FILHO et al. **Curso de Aciaria Elétrica**. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1991.

BRANDY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soils**. 12. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**, 2002.

Câmara dos Deputados - **Projeto de Lei: Política Nacional de Resíduos Sólidas**, Brasília, DF, 2001.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BULL, L.T.; DOMINGOS, R.J. **Growth analysis of rice when influenced by metallurgy slag as source of silicon**. In: 17th World Congress of Soil Science (compact disc). Abstracts. Bangkok: Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives (LDD), The Soil and Fertilizer Society of Thailand (SFST), The International Union of Soil Sciences (IUSS), 2002.

CASTRO, Marcos Adede Y. **Resíduos Perigosos no Direito Ambiental Internacional** - Sua Internacionalização nos países do Mercosul. Porto Alegre: Sergio Antonio Fabris Editor, 2003.

CETEC - Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, CBHPCJ – **Relatório Zero**, Piracicaba - SP, 1999.

CETESB - **Resolução da Diretoria nº 015/00/p. de 30 de Maio de 2000**. São Paulo, 2000.

CETESB – **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, 1998/2000**. São Paulo, 2001.

CLÁUDIO, J.R. **Gerenciamento Ambiental na Indústria**. Anais do III Simpósio Nacional de Gerenciamento Ambiental na Indústria - Resíduos Sólidos Industriais, ps217-225. São Paulo: Signus Editora, 1993.

COLEMAN, J.; ROSS, B.; SANDERS, D. **The Process Map**. New York: Quality Engeneering, 1999.

COMISSÃO BRUNDTLAND. **Nosso Futuro Comum**. Fundação Getúlio Vargas. Rio de Janeiro – RJ, 1991.

COMPAM – Comercio de Papéis e Aparas Mooca Ltda. **O que é resíduo.** Disponível em <<http://www.compam.com.br/residuo.htm>>. Acesso: 28 ago 2004.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção de calcário agrícola – Brasil (1997-2002).** Disponível em <<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/0606-Calcario.pdf>> Acesso: 26 ago 2004.

Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá - **Relatório de Atividades 2001-2002 e Plano de Atuação 2003-2004.** Americana-SP, 2003.

CUSTÓDIO, Helita Barreira. **A declaração do Rio/92:** conteúdo e impacto sobre os direitos nacionais. In: Dano Ambiental - Prevenção, Reparação e Repreensão. São Paulo: RTY, 1993.

DALY, Herman E. **Problemas em Matéria de Comercio Internacional:** Posições Neoclássicas e de Estado-Estável. 1993

Departamento de Estradas de Rodagens – DER/SP. Relatório sobre o uso da carepa de laminação na fabricação de massa asfáltica. Piracicaba, 2001.

DESIMONE, L.; POPOFF, F. **Eco-efficiency: the business link to sustenaible development.** Cambridge: MIT Press, 1998.

DESTEFENNI, Marcos. **Direito Penal e licenciamento ambiental.** São Paulo: Memória Jurídica, 2004.

FAVA, J. A., PAGE, A. **Application of product Life-Cicle Assessment to Product Stewardship and Pollution Prevention Programs.** 1992.

FERREIRA, A.C.S. **Relatório de Pesquisa I.** Observatório de Desempenho Ambiental. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004.

FILEV, R. **Escória de aciaria.** Disponível em <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/escoriadeaciaria.htm>>. Acesso: 27 ago 2004.

GEISLER, J. Use of steelworks slag in Europe. **Waste Management**, v. 16, n. 1-3. 1996.

GOJIC, M. **Current state and development of steelmaking process**. Metalurgija, 43. Sisak, Croatia, 2004.

Instituto Brasileiro de Siderurgia – **Ações de proteção ambiental na indústria siderúrgica brasileira**. Rio de Janeiro, 1990.

Instituto Brasileiro de Siderurgia – **Balanco anual de Siderurgia**. Rio de Janeiro, 2001.

Instituto Brasileiro de Siderurgia – **Balanco Social da Siderurgia**, Rio de Janeiro, 2002.

Instituto Brasileiro de Siderurgia – **Balanco social da siderurgia brasileira**. Disponível em <www.ibs.org.br> Acesso: 26 ago 2004.

Instituto Brasileiro de Siderurgia – **Siderurgia: Compromisso com o meio ambiente**. Rio de Janeiro, 1992.

International Institute of Iron and Steel – **Report 1999**. Japan, 1999.

International Institute of Iron and Steel – **Report 2003**. USA, 2003.

Iron and Steel Works of the World. 10ª Edição, 1996.

JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio Cirelli. **Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos** - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

KAMPRATH, E.J. Crop response to lime on soils in the tropic. In: ADAMS, F. (Ed.) **Soil acidity and liming**. Madison: ASA, 1984.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag in water and calcium chloride solution: Effects of solution pH and calcium concentration on solubilities of slags. **Japan Journal of Soils Science and Plant Nutrition**, v.67, p.626-632, 1996.

LEME MACHADO, Paulo Affonso. **Direito Ambiental Brasileiro**, 12. ed. São Paulo: Malheiros Editores Ltda.,2004.

LINDGER, G.F. **Developing and implementing the environmental management program.** In: Managing Industrial Hazardous Waste, pp. 35-223, 1989.

LIPSET, S.M.; TROW, M. e Coleman, J. **Union democracy: The inside politics of the International Typographical Union.** New York: Free Press, 1956.

LITTLE, Arthur D. Setepla Tecnometal Engenharia Ltda. **Estudo sobre aplicações de escórias siderúrgicas.** IBS, 1999.

LORA, Electo Eduardo Silva. **Prevenção e controle da poluição nos setores energético, industrial e de transportes.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante de solo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: Imprensa Universitária, 1987.

MACHADO, A.T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaio para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria.** Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

MOREIRA, B. **Consumo de sucata cai 30% com racionamento de energia.** Agência Estado. Disponível em: <www.estado.com.br/agestado/noticias/2001/set/25/182.htm> Acesso: 15 set 2004.

MOURAD, Ana Lúcia; GARCIA, Eloísa E. C.; VILHENA, André. **Avaliação de ciclo de vida: princípios e aplicações.** Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

NATRONTEC - Estudos e Engenharia de Processos Ltda., Hatch Associates Ltd. **Identificação e seleção de tecnologias para tratamento e/ou reciclagem de pós de aciarias elétricas.** IBS, Rio de Janeiro, 1996.

OLIVEIRA, Fernando Carvalho; ANDRADE, Cristiano Alberto de; MATTIAZZO-PRESOTTO, Maria Emília. **Escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo** – Biossolo Agricultura e Ambiente – Piracicaba-SP, 2004.

PEREIRA, J.E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: Imprensa Universitária, 1978.

PERS, 2003. **Anteprojeto de Política Estadual de Resíduos Sólidos**: Câmara Legislativa do Estado de São Paulo – São Paulo, 2003.

PIAU, W.C. **Efeitos de escórias de siderurgia e atributos químicos de solo e na cultura do milho** (*Zea mays* L.). Tese de Doutorado. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1995.

PIMENTEL, Manoel Pedro. **Direito penal econômico**, São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1973.

PRADO, Luiz Regis. **Crimes contra o ambiente**. São Paulo: RT, 1998.

PRADO, R.M.; CORRÊA, M.C.M.; CINTRA, A.C.O.; NATALE, W. Respostas de muda de goiabeira à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n.1, p. 160-163, 2003.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito de calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de P no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, v. 74, n.2, p. 235-242, 1999.

_____ Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1199-1204, 2001.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Areia Quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.18, p.36-39,2000.

PRADO, R.M; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.4, p.539-546, 2002.

RIBEIRO, A.C.; FIRME, D.J.; MATTOS, A .C.M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo da acidez do solo. Disponível em www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n2/16230.pdf. > acesso em 25.08.2005.

ROCHA, D.; FUINHAS, I.M.S.F.R. Efeito da escória na correção do solo e no crescimento do eucalipto na região de cerrado do nordeste de Minas Gerais. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. **Recuperação de rejeitos na indústria metalúrgica**. São Paulo: Édile Serviços Gráficos e Editora, 1991. p.53-66.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley Moacyr . **Utilização de Resíduos na Construção Habitacional** – Porto Alegre, RS: ANTAC, 2003.

Secretaria do Meio Ambiente – Governo do Estado de São Paulo. **Curso de Direito Ambiental**. Campinas-SP, 1997.

SETEPLA TECHNOMETAL. **Estudo sobre aplicações de escórias siderúrgicas no Brasil e em oito países**. Rio de Janeiro, 1999.

SÍCOLI, José Carlos Meloni. **Boletim do IBCCrim**. n. 65. ed. esp. Abril de 1998.

SILVA, A.R.P; OLIVER, E.N. Calagem, o alicerce da agricultura. **Informativo Coopercitrus**, n. 175, p.32-34, 2001.

SIMEÃO, L. Situação alarmante. **Revista Brasileira do Aço**. v. 64,2003. Disponível em <www.inda.org.br/revista> Acesso: 10 out 2004.

STAKE, R. E. Case studies. In DENZIN, N.K. & LINCOLN, Y.S. (Eds.). *Handbook of qualitative research* (pp. 236-247). Thousand Oaks, CA: Sage,1994.

STOECKER,R. **Evaluating and rethinking the case study**. *The Sociological review*, p.39, 88-112, 1991.

TRIVIÑOS, A.N.S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas,1987.

VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. **Utilização agrônômica de corretivos agrícolas**. Piracicaba: FEALQ, 2001.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino . **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos** – Belo Horizonte, MG: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

_____ **6 Sigma: Treinamento para Black belts** – Sessão 1, Caxambu – MG, 2000.

XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. VI-036 - **Análise do Ciclo de Vida Aplicada à Indústria da Construção Civil** - Estudo de Caso - Luiz Fernando Cybis e Carlos Vicente John dos Santos, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXOS

ANEXO 1 - LISTAGEM DA LEGISLAÇÃO APLICÁVEL RELATIVA A RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE UMA SIDERÚRGICA SEMI-INTEGRADA

- **Lei 10.888/01**

Dispõe sobre o descarte final de resíduos urbanos potencialmente perigosos (Resíduos Perigosos/ Pilhas/ Baterias/ Lâmpadas Fluorescentes/ Aerossóis). Estabelece obrigações para fabricantes, distribuidores, importadores, comerciantes ou revendedores de resíduos.

- **Lei 3115/89**

Dispõe sobre os resíduos sólidos originários dos Serviços de Saúde/ Estabelece a competência exclusiva do poder público para a coleta, transporte e destinação final.

- **Resolução Conama 264/99**

Dispõe sobre o licenciamento dos fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de co-processamento de resíduos/ Determina ao gerador do resíduo destinado ao co-processamento a exigir do destinatário e do transportador que comprovem o licenciamento.

- **Resolução Conama 05/93**

Define procedimentos mínimos para o gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos oriundos de Serviços de Saúde, portos, aeroportos.

- **Resolução Conama 09/93**

Dispõe sobre o uso, combustão, incineração, fórmula e constituição, tratamento, destinação final, reciclagem, refinagem, industrialização, transporte, comercialização dos óleos lubrificantes.

- **Resolução Conama 257/99**

Dispõe sobre o descarte de pilhas e baterias/ Determina aos usuários a devolução do produto aos comerciantes, fabricantes, importadores ou distribuidores após o seu esgotamento energético.

- **Resolução Conama 307/02, alterada pela Resolução Conama 348/04**

Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos gerados nas atividades de construção civil.

- **Resolução Conama 283/01**

Dispõe sobre o Plano de Gerenciamento de Serviços de Saúde, documento a ser elaborado e apresentado à análise e aprovação do órgão ambiental competente.

- **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.

- **Resolução Conama 313/02**

Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos e aprova o novo modelo a ser apresentado ao órgão estadual de meio ambiente. Relaciona as empresas obrigadas à apresentação do Inventário/Revoga a Resolução Conama 06/88.

- **Resolução CONAMA 316/02**

Disciplina os processos de tratamento térmico de resíduos, definido como qualquer processo cuja operação seja realizada acima da temperatura mínima de 800 graus Celsius, exceto para rejeitos radioativos e para co-processamento em fornos de clínquer.

- **Portaria ANP 127/99**

Regulamenta a coleta do óleo lubrificante usado ou contaminado.

- **Portaria MINTER 53/79**

Estabelece normas para disposição de resíduo sólidos/Proíbe a utilização do solo como destinação final de resíduos.

- **Resolução Anvisa 306/04, que revogou a Resolução Anvisa 33/03**

Estabelece nova regulamentação para elaboração do PGRSS - Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Saúde.

- **Resolução SS/SMA/SJDC 01/98**

Aprova o Regulamento Técnico para Apresentação do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde.

- **Resolução SS 49/99**

Dispõe sobre os resíduos sólidos de restaurantes e cozinhas industriais destinados à alimentação de animais.

- **Resolução CETESB 07/97**

Adota os padrões de emissão para unidades de incineração de resíduos de serviços de saúde.

- **NR 9**

Dispõe sobre a elaboração e implementação do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais.

- **NR 25**

Dispõe sobre a eliminação de resíduos nos locais de trabalho.

ANEXO 2 - PLANILHA DE MANIFESTO DE TRANSPORTE DE RESÍDUOS PERIGOSOS

		MTR - Manifesto para Transporte de Residuo Perigoso					Nº.:				
Gerador											
Razão Social:											
Atividade:											
Endereço:											
Município:											
Nome do Responsável:											
Tel:		Fax:									
E-mail:											
Descrição dos Resíduos	Fonte/ Origem	Características (nome, composição, odor, cor, etc)	Estado Físico	Classif. Código	Quant. Total	Un.	Código ONU	Acondicionamento	Nº de Risco	Grupo de Embalagem	
	A										
	B										
	C										
TRANSPORTADOR											
Razão Social:				Tel:							
Endereço:				Município:		Estado:					
Veículo Placa:				Município:		Estado:					
Tipo de equipamento de transporte :				Nome do condutor:							
STTAE DESTINATÁRIO (Sistema localizado em área externa do gerador, que trata, transfere, armazena ou dispõe os resíduos)											
Razão Social:				Tel:							
Atividade:				Município:		Estado:					
Endereço:				Município:		Estado:					
Responsável:				e-mail:							
Descrições adicionais dos resíduos listados acima:											
Instruções especiais de manuseio e informações adicionais .											
Certificação do gerador: Eu, por meio deste manifesto, declaro que os resíduos acima listados estão integralmente e corretamente descritos pelo nome, classificados, embalados e rotulados seguindo as normas vigentes e estão sob todos os aspectos em condições adequadas para transporte de acordo com os regulamentos nacionais vigentes.											
a) Gerador : (nome do emitente)				Assinatura		Data:					
b) Transportador: (nome do motorista)				Assinatura		Data:					
Nome				Assinatura		Data:					
1ª Via: Gerador / 2ª Via: Sttade / 3ª Via: Transportador / 4ª Via: Controle do Gerador/5ª via Controle do Sttade											

ANEXO 3 - PLANILHA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

		GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS														
Item Acompanhamento	Unid.	jan/04	fev/04	mar/04	abr/04	mai/04	jun/04	jul/04	ago/04	set/04	out/04	nov/04	dez/04	Media Ano	Acumulado	relativo
Geração																
1 Resíduos Perigosos																
1.1	Pó de Aciaria	Ton														
1.2	Óleos e graxas	Ton														
Total		Ton	0,00	0	0,00											
2 Resíduos Não Perigosos																
2.1	Carepa	Ton														
2.2	Escória	Ton														
2.3	Terra da Shredder	Ton														
2.4	Refratários	Ton														
Total		Ton	0,0	0,0	0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,0	
Total de Resíduos		Ton	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
3 Acompanhamentos																
3.1	Produção Aciaria	Ton														
3.2	Produção Laminação	Ton														
Destinação externa (saída)																
1 Resíduos Perigosos																
1.1	Pó de Aciaria	Ton														
1.2	Óleos e graxas	Ton														
Total		Ton	0,00	0	0,00											
2 Resíduos Não Perigosos																
2.1	Carepa	Ton														
2.2	Escória	Ton														
2.3	Terra da Shredder	Ton														
2.4	Refratários	Ton														
Total		Ton	0,0	0,00	0,0	0,0										
Total de Resíduos		Ton	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Disposição temporária																
1 Resíduos Perigosos																
1.1	Pó de Aciaria	Ton														
1.2	Óleos e graxas	Ton														
Total		Ton	0,00	0	0											
2 Resíduos Não Perigosos																
2.1	Carepa	Ton														
2.2	Escória	Ton														
2.3	Terra da Shredder	Ton														
2.4	Refratários	Ton														
Total		Ton	0,0	0,00	0,0	0,0										
Total de Resíduos		Ton	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00

Fonte: Sid SI, 2004

ANEXO 4 - PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO DA EZINEX

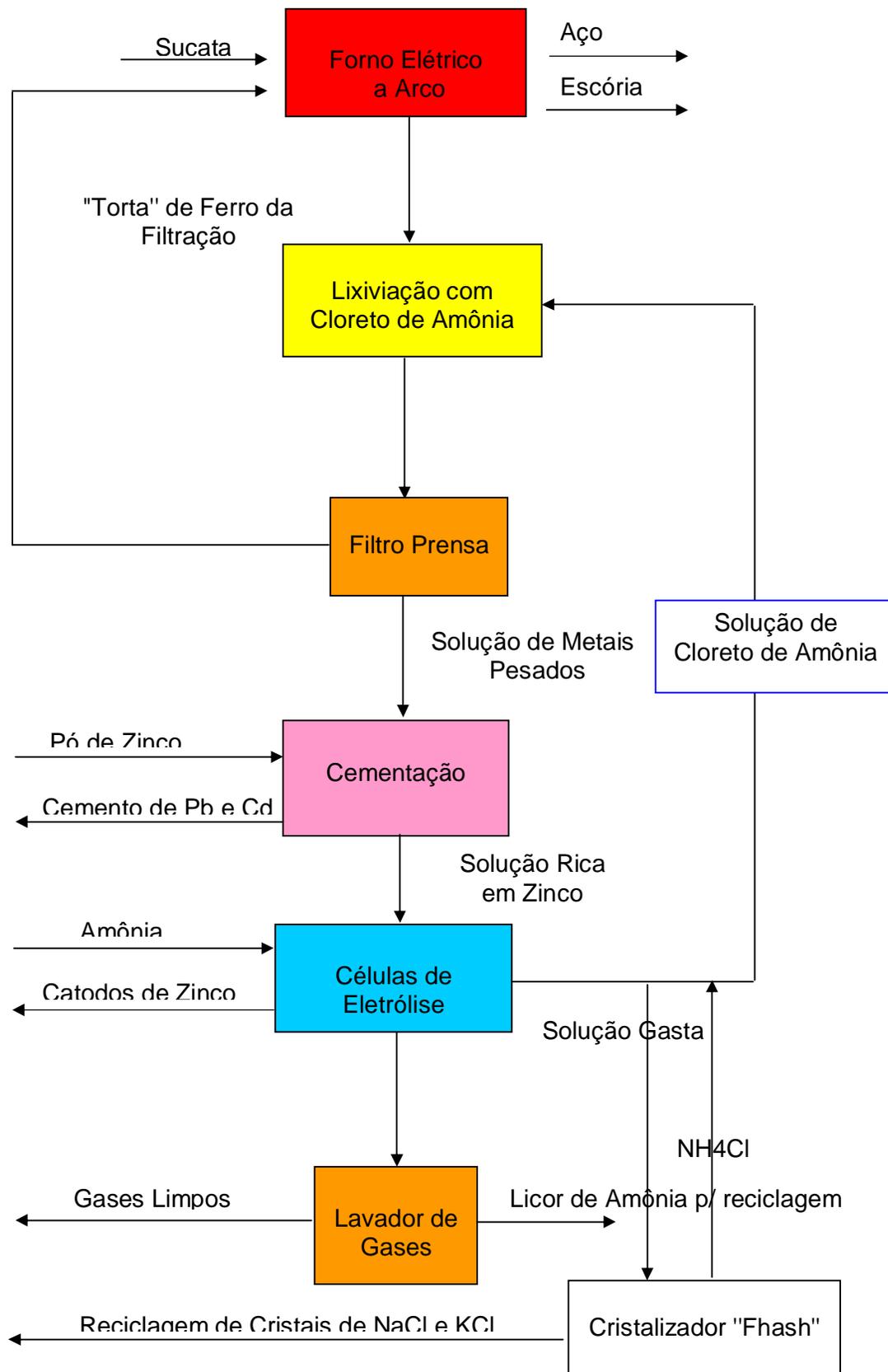
Descrição do processo

O processo tem três etapas principais; lixiviação, cementação e precipitação. Na etapa de lixiviação, o pó de aciaria é adicionado a uma solução aquecida de cloreto de amônia. Os óxidos de zinco, chumbo e cádmio são dissolvidos, assim como os cloretos, fluoretos e metais alcalinos. Um sólido consistindo basicamente de óxidos de ferro e ferrita de zinco permanece insolúvel. O lixiviado é então filtrado e os sólidos podem ser reciclados no forno elétrico.

Na etapa seguinte, os metais dissolvidos, à exceção do zinco, são cementados utilizando pó de zinco metálico. O cimento, que apresenta um teor alto de zinco, chumbo e cádmio, é filtrado, restando uma solução de zinco. O cimento de chumbo é vendido para produtores de metais primários.

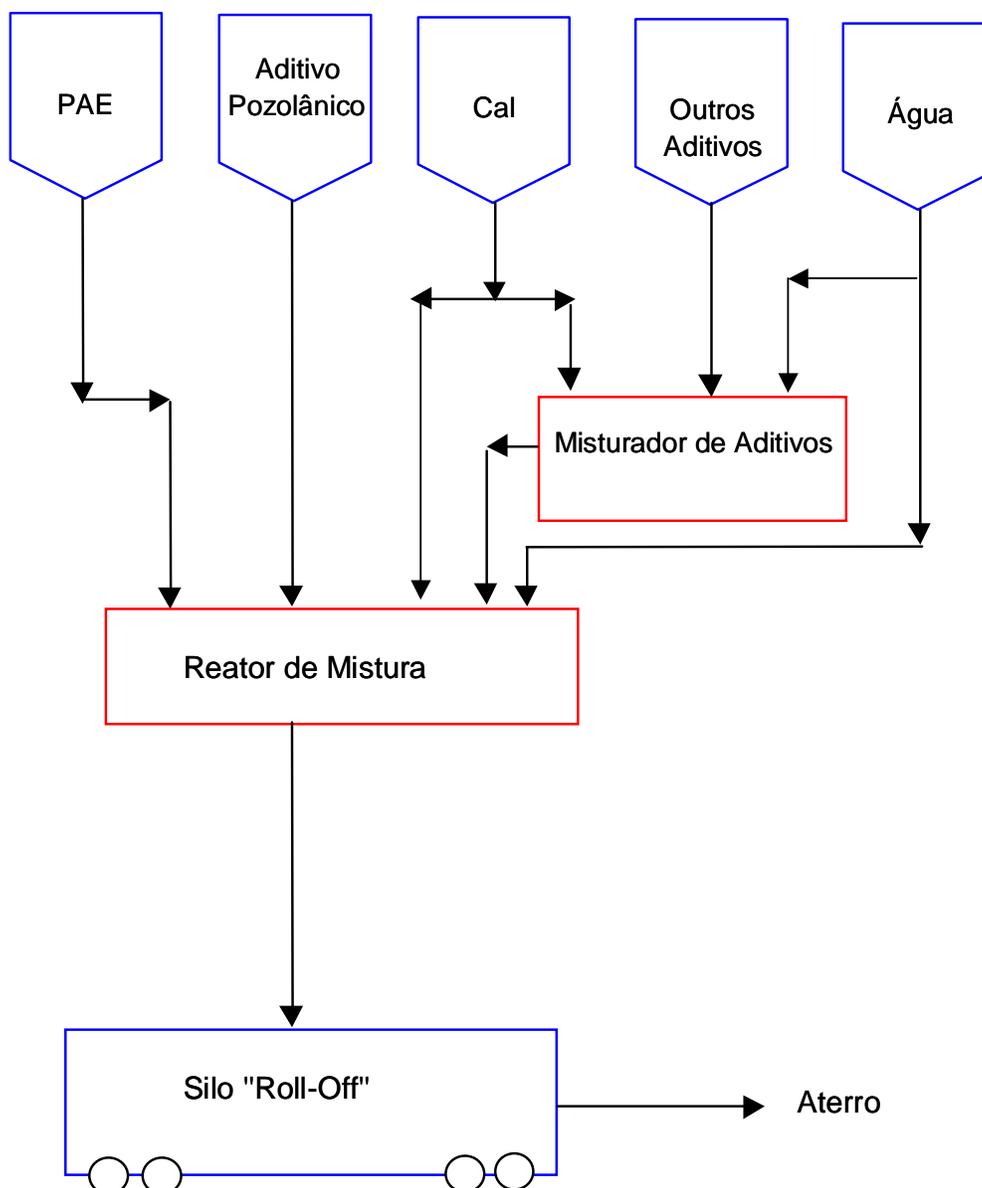
A Ezinex pratica o eletrorefino do zinco da solução, produzindo cátodos de zinco de alta pureza, usando um processo anódico adequado para evitar a geração de cloro gasoso. O cloro gasoso é a grande preocupação dos fundidores de zinco eletrolítico, que exigem especificação rígida quanto ao teor máximo deste gás nas suas matérias-primas.

A solução resultante após o eletrorefino é purgada para controle do acúmulo de cloretos. A solução purgada é enviada a um evaporador para concentração e precipitação dos sais de halogenetos. Ver o fluxograma do processo da Ezinex na figura a seguir.



Anexo 5 - Processo Super Detox

Neste processo, o pó de aciaria é misturado a agentes de estabilização adequados, tais como aluminossilicatos. O pó é quimicamente alterado para compostos menos solúveis e encapsulado na matriz de aluminossilicato. Depois do endurecimento na matriz, semelhante à formação de concreto, o pó não é mais lixiviável. O tempo de cura é de 16 horas. O material estabilizado é aprovado no teste de lixiviação da EPA-EUA. Ver o fluxograma do processo Super Detox na figura a seguir.

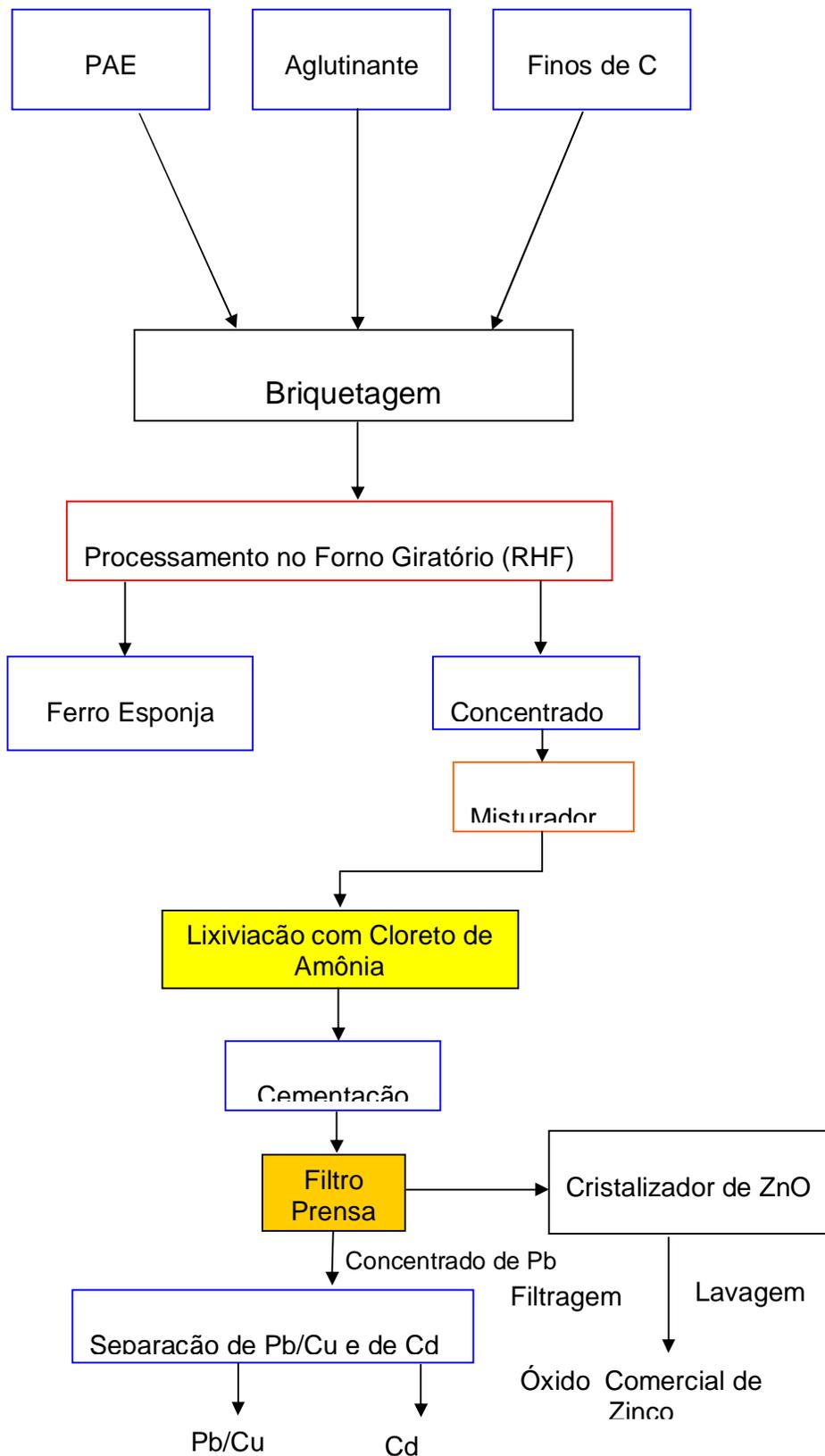


ANEXO 6 - PROCESSO MRT/FORNO ROTATIVO

O processo tem uma etapa preliminar, quando a carepa e finos de carbono são misturados ao pó de aciaria, sendo briquetados com 9% a 10% de água (níveis mais elevados de água podem levar a esfoliação ou decrepitação dos briquetes no forno) e alimentados no forno rotativo. Cerca de 94% do ferro presente no pó é metalizado, enquanto zinco, chumbo e cádmio são evaporados.

O produto da redução direta contém pequenos níveis (ppm) de chumbo e cádmio, sendo aprovados pelo teste de lixiviação de EPA-EUA. Nessa etapa são produzidos o ferro esponja, que volta para o forno elétrico, e um concentrado de óxido de zinco, que é lixiviado com cloreto de amônia; a solução lixiviada contém menos óxido de ferro insolúvel e requer uma pequena prensa para filtração.

A etapa seguinte é a cristalização do óxido de zinco, que utiliza $NaOH$ para a remoção de cloro. Ver o fluxograma do processo MRT/Forno Rotativo na figura a seguir.



ANEXO 7 - ANÁLISE DE (4) AMOSTRAS DE PÓ DE ACIARIA, REALIZADA PELO INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC)

O Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), através de quatro usinas semi-integradas, suas afiliadas, contratou o IAC para avaliar o potencial agronômico do pó de aciaria. Para tanto, as usinas enviaram quatro amostras de pó de aciaria (aproximadamente 7kg cada uma); estas foram homogeneizadas e fez-se a quarteação. Três partes foram armazenadas, individualmente, em sacos plásticos. A outra parte foi reservada para as análises de caracterização e para os experimentos em vasos com plantas.

As análises para a caracterização dos resíduos foram iniciadas determinando-se a granulometria das amostras, através da passagem de uma porção da amostra em peneiras encaixadas uma sobre a outra, com aberturas de malha de 2mm (ABNT 10) e de 0,3mm (ABNT 50). A umidade foi determinada pela diferença entre uma massa de aproximadamente 100g do resíduo, antes e depois de ser secada em estufa com circulação de ar a 105°C, até peso constante. O pH foi medido na suspensão obtida pela agitação, por 10 minutos, de 10cm³ do resíduo e 25ml de água deionizada. A densidade foi determinada pela pesagem de 10cm³ de cada pó de aciaria. A média de três repetições dessas determinações estão no quadro a seguir.

Amostras	Massa retida (%) em peneira 0,3mm	Densidade (g cm ⁻³)	Umidade (%)	pH
A	4,3	0,77	0,45	9,8
B	14,2	0,95	0,41	7,9
C	13,2	0,74	0,56	6,8
D	10,2	0,76	0,74	9,9

As quatro amostras de pó de aciaria apresentaram-se na forma de pó muito fino, com aproximadamente 90% de partículas menores do que 0,3mm. Todo o material das quatro amostras passou pela peneira com abertura de malha de 2mm. O grau de finura de um fertilizante tem influência na sua reatividade, pois, quanto mais fino, maior é a sua superfície de contato com o solo.

As amostras apresentaram umidade baixa, inferior a 1%. Praticamente, não houve diferença na densidade das amostras; apenas a amostra B destacou-se com densidade um pouco maior. O pH em água dos materiais variou de levemente ácido a alcalino.

A determinação de nutrientes e elementos potencialmente tóxicos às plantas foi feita em extratos obtidos através de digestão com HNO_3 concentrado e aquecimento em forno de microondas (USEPA, 1994). A eficiência do método é reconhecida nos Estados Unidos, sendo adotado como procedimento oficial para a digestão de amostras de água, sedimentos, lodos, solos e óleos. O método foi testado na dissolução de fertilizantes minerais e melhoradores dos solos, mostrando-se bastante eficiente (RAVEN & LOEPPERT, 1995). Embora esse método promova um ataque suficientemente forte às amostras para dissolver toda a porção que possa vir a tornar-se “ambientalmente disponível”, obteve-se uma porção não dissolvida de, aproximadamente, $25g\ 100g^{-1}$, para as 4 amostras dos pós de aciaria.

Visando à decomposição total das amostras, procedeu-se à digestão com ácido fluorídrico (HF), adaptando o método EPA-3052 (USEPA, 1996), que envolve o aquecimento em forno de microondas. Procedeu-se à digestão de 0,500g de amostra com 9ml de HNO_3 concentrado, deixando reagir de um dia para o outro. Adicionou-se, então, 3ml de HF concentrado deixando reagir em temperatura ambiente por dois dias em frascos fechados, agitando, manualmente, algumas vezes. Obteve-se uma dissolução maior que $99g\ 100g^{-1}$ para todas as amostras dos pós de aciaria.

Para se ter uma idéia da disponibilidade às plantas dos elementos de maior interesse nos resíduos, foram feitas extrações com água, com ácido cítrico (AC) e com solução neutra de citrato de amônio (CNA). Para a extração com água, adotou-se o método oficial da Associação Internacional de Química Analítica (KANE, 1995). Transferiram-se 2g da amostra para papel de filtro adaptado em funil, colocado sobre balão de 200ml. O material foi então lavado com porções sucessivas de água deionizada até completar o volume do balão.

As extrações com ácido cítrico e com citrato de amônio constituíram-se de agitação por uma hora de 1,000g da amostra com 100ml de solução de AC a 2% ou com 100ml de solução de CNA . As suspensões foram transferidas para balões de 250ml e decantadas. O ácido cítrico 2%, na relação 1:100, e a solução neutra de

citrato de amônio são usados para avaliar a disponibilidade de fósforo em fertilizantes (BRASIL, 1983), sendo que Vale (1999) usou os extratores para micronutrientes em fertilizantes e obteve correlação significativa com a quantidade de *Zn* acumulada por plantas de arroz. A metodologia oficial japonesa para fertilizantes (JAPÃO, 1982) inclui o ácido cítrico para a extração de *Mn*. Alcarde & Ponchio (1979) explicaram a ação solubilizante da solução de ácido cítrico a 2% - relativamente diluída, mas com acidez elevada (pH 2,3) - e da solução de citrato de amônio - uma solução tamponada de ácido cítrico + hidróxido de amônio, relativamente concentrada, neutra (pH 7,0) - com base nas constantes de estabilidade do ânion citrato, que em condições de acidez tende a formar complexos com cátions.

As determinações dos elementos de interesse nos extratos obtidos foram feitas por espectrofotometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES).

A legislação brasileira exige a garantia do teor de micronutrientes em fertilizantes pela determinação do teor total (BRASIL, 1983). Isso permite a comercialização de materiais não contemplados pela legislação e de eficiência agrônômica ainda duvidosa, como *Zn* metálico, silicato de *Zn* e sulfeto de *Zn*. Alcarde & Rodella (1993) confirmaram que o ácido clorídrico concentrado (método oficial) promove solubilização total tanto do óxido de *Zn* como do *Zn* metálico, e verificaram que a solução neutra de citrato de amônio, usada na determinação de fósforo solúvel em fertilizantes, foi eficiente na discriminação dessas formas de *Zn*.

Os resultados das análises mostraram que o pó de aciaria possui teor de zinco comparável a outras fontes do nutriente usadas na agricultura, como o sulfato de zinco ($\pm 20\%$ de *Zn*) e as fritas (Quadro 2). As fritas ou FTE (*frited trace elements*) são silicatos complexos obtidos pela fusão de silicatos ou fosfatos com uma ou mais fontes simples de micronutrientes, a aproximadamente 1.000°C, seguida de resfriamento rápido com água, secagem e moagem (MORTVEDT & COX, 1984). As fritas comercializadas no Brasil apresentam, normalmente, entre 5% e 20% de *Zn*, de 2% a 10% de *Fe* e *Mn*, de 1% a 3% de *B* e *Cu* e 0,1% ou 0,2% de *Mo*.

Além de micronutrientes, as fritas contêm também elementos potencialmente tóxicos. Gabe (1999) verificou, em um material FTE (BR5) com 10% de *Zn*, o teor de 563mg kg⁻¹ de *Cd* e , em outro material (BR12), com 9% de *Zn*, o teor de 4.721mg kg⁻¹ de *Pb*. Alcarde (2002) apresentou resultados analíticos de várias fritas

comercializadas no Brasil: o teor de *Pb* variou de 0% a 2,5 % e o teor de *Cd*, de 0 mg kg⁻¹ a 313 mg kg⁻¹.

O sulfato de *Zn* também pode conter esses elementos potencialmente tóxicos. O teor desses elementos nos fertilizantes depende da pureza da matéria-prima utilizada na sua fabricação. Tanto o minério esfarelita quanto os subprodutos da galvanização, produção de baterias e de pigmentos, usados como matérias-primas, contêm metais indesejáveis em sua constituição.

O pó de aciaria, usado como uma fonte de *Zn*, poderá também agir como uma fornecedora dos micronutrientes *Mn*, *Fe*, *Cu*, *B*, *Mo* e *Ni* e, em menores proporções devido às doses baixas aplicadas, dos macronutrientes *P*, *S*, *Ca*, *Mg* e *K*. Quanto aos elementos potencialmente tóxicos, principalmente, *Cd* e *Pb*, pode-se afirmar que os teores presentes nas amostras em estudo equiparam-se aos de fertilizantes comercializados no Brasil, considerando o teor total por unidade do micronutriente em questão (ver quadro na página 131).

A maior dissolução das amostras obtida pela digestão com ácido fluorídrico não aumentou significativamente o teor dos elementos determinados nos extratos quando comparado com o teor obtido nos extratos resultantes da digestão com ácido nítrico em forno de microondas (ver quadro na página 131).

Em relação ao teor obtido pelo método EPA-3051, em torno de 0,5% do *Zn*, foi solúvel em água para as amostras A, B e D, sendo que para a amostra C chegou a 4%. As solubilidades em AC e em CNA foram muito próximas entre si, em torno de 40% dos teores obtidos com o método EPA-3051. *Fe*, *Mn* e *Cu* mostraram-se pouco solúveis em água e, em ácido cítrico, a solubilidade representou 5% a 10% do teor “total” (ver quadro na página 132).

O *Cd* mostrou-se bastante solúvel em água, em torno de 15%, 20% e 40% do teor extraído pelo método EPA-3051, para as amostras A, B e C, respectivamente, sendo que na amostra D apenas 1% foi solúvel em água. Em ácido cítrico, mais da metade do *Cd* foi solubilizado e, na solução de CNA, próximo a 40% foram solubilizados, em todas as amostras (ver quadro na página 132).

O *Pb* não foi tão solúvel em água quanto o *Cd*, mas o superou em ácido cítrico e em CNA. Aproximadamente, 70% do *Pb* extraído pelo método EPA-3051 foram solubilizados em ácido cítrico e 60%, em CNA. O teor “total” de *Pb* teve uma variação alta entre as quatro amostras analisadas (aproximadamente 1%). A

solubilidade do *Cr* em água foi baixa e em ácido cítrico e CNA variou bastante entre as amostras analisadas (ver quadro a seguir).

Elemento	EPA-3051				Ácido Fluorídrico				
	A	B	C	D	A	B	C	D	
	g								kg ⁻¹
P	1,1 ± 0,1	2,0 ± 0,2	2,1 ± 0,3	2,4 ± 0,4	ND	ND	ND	ND	
S	5,5 ± 0,2	5,1 ± 0,2	3,9 ± 0,3	6,6 ± 0,6	ND	ND	ND	ND	
Ca	78 ± 16	35 ± 9	13 ± 2	46 ± 11	ND	ND	ND	ND	
Mg	16 ± 2,8	12 ± 1,6	11 ± 1,5	11 ± 2,2	ND	ND	ND	ND	
K	11,6 ± 0,7	9,2 ± 0,8	12,0 ± 0,4	15,7 ± 1,1	ND	ND	ND	ND	
Na	16,8 ± 2,1	6,1 ± 0,6	13,5 ± 0,5	18,6 ± 1,2	ND	ND	ND	ND	
Zn	168 ± 18	187 ± 21	224 ± 21	216 ± 22	164	198	223	213	
Mn	37 ± 3,0	24 ± 2,9	28 ± 4,0	15 ± 1,4	37	27	32	17	
Fe	299 ± 6	324 ± 50	299 ± 38	310 ± 46	333	356	304	321	
Cu	3,3 ± 0,3	2,2 ± 0,3	2,8 ± 0,4	2,9 ± 0,2	2,9	1,9	2,5	2,7	
Cr	4,6 ± 1,0	2,3 ± 0,2	2,7 ± 0,2	1,7 ± 0,4	6,0	2,9	3,9	1,8	
Pb	17,6 ± 2,5	30,4 ± 5,8	31,7 ± 6,1	26,2 ± 5,0	19	26	28	24	
Al	4,0 ± 0,4	2,4 ± 0,5	2,4 ± 0,5	4,0 ± 0,3	ND	ND	ND	ND	
	mg								kg ⁻¹
B	150 ± 58	122 ± 45	566 ± 54	516 ± 68	ND	ND	ND	ND	
Ni	565 ± 77	123 ± 33	197 ± 28	165 ± 40	719	209	225	193	
Mo	1149 ± <1	<1	<1	<1	ND	ND	ND	ND	
Cd	488 ± 46	693 ± 107	670 ± 112	382 ± 8	355	540	550	278	
As	45 ± 34	64 ± 14	48 ± 10	48 ± 16	44	146	102	58	
Hg	<1	<1	<1	<1	ND	ND	ND	ND	
Se	<5	<5	<5	<5	ND	ND	ND	ND	

Elemento	Água				CNA				Ácido Cítrico			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
	.....mg											kg ⁻¹
Zn	963	952	9.022	375	73.07	68.40	88.2	94.7	61.52	65.9	88.77	95.0
Cu	5	2	7	4	ND	ND	ND	ND	266	127	361	274
B	51	46	103	165	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Fe	199	129	239	243	ND	ND	ND	ND	23.11	9.35	8.293	15.5
Mn	65	34	284	12	ND	ND	ND	ND	2.039	1.03	1.423	534
Mo	107	<1	<1	<1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	<1	<1	<1	<1	ND	ND	ND	ND	40	24	<1	<1
Cr	35	<1	<1	3	923	182	<1	217	815	135	21	197
Cd	73	117	233	4	191	289	247	181	248	354	457	239
Pb	58	378	834	95	10.05	16.66	18.1	14.4	13.62	19.3	20.66	18.1

Adubos

Foram caracterizadas duas amostras de adubos processados com pó de aciaria, procedentes do Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS), denominadas A(IBM) e B(IBM), e quatro amostras de misturas granuladas processadas com superfosfato simples e pó de aciaria como fonte de Zn, doravante denominadas A (SS), B (SS), C (SS) e D (SS).

As amostras foram homogeneizadas e divididas em duas frações. Uma destinou-se à análise química e a outra, aos experimentos com solo. Quanto ao aspecto físico, as amostras procedentes do IBS constituem-se de partículas angulares, de coloração marrom escura, e as partículas das misturas com superfosfato simples são globulares e esbranquiçadas.

A porção destinada à análise química foi moída e passada totalmente, em peneira de 0,42mm de abertura de malha. As amostras foram submetidas à digestão com HNO_3 concentrado e aquecimento em forno de microondas (USEPA, 1994). As amostras A (IBS) e B (IBS) apresentaram porções de aproximadamente 15% de material não dissolvido pelo método, enquanto as quatro amostras (SS) deixaram um resíduo menor do que 5%.

A solubilidade em água e em CNA dos metais de interesse também foi avaliada utilizando-se a mesma metodologia aplicada aos pós. A determinação dos elementos de interesse, nos extratos obtidos, foi feita através de espectrofotometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES) ou em espectrofotometria de absorção atômica (AAS).

O processamento dos pós de aciaria nos adubos IBS reduziu a concentração de *Zn* em 27% e 40% nas amostras A e B, respectivamente. As concentrações de *Pb*, *Cd* e *Cr* diminuíram em proporções próximas a 30% maior do que do *Zn*. Em torno de 70% do teor total de *Zn* foi solúvel em CNA, mas o *Cd* e *Pb* foram quase totalmente disponibilizados com o extrator.

O *Cd* foi também totalmente solúvel em água. Por outro lado, o *Cr* não se mostrou solúvel em água e, menos de 20% do teor total, foi extraído com CNA. Nos adubos SS, os teores totais de *Zn* e *Cd* foram quase totalmente solúveis em água.

O *Cr* foi menos solúvel em água, mas a solubilidade foi alta em CNA. Aproximadamente, 30% do teor total de *Pb* foram solúveis em CNA e menos de 5%, em água.

Element	Adubos						
o	A (IBS)	B (IBS)	A (SS)	B (SS)	C (SS)	D (SS)	
g						kg
	1						
P	2,1 ± 0,2	1,9 ± 0,2	88 ± 2,3	86 ± 1,0	94 ± 19,6	92 ± 2,3	
S	53 ± 2,6	33 ± 1,0	119 ± 4,4	114 ± 1,2	135 ± 33,5	125 ± 3,9	
Ca	37 ± 2,1	18 ± 1,0	167 ± 9,5	176 ± 1,0	204 ± 41,9	169 ± 3,3	
Mg	8,9 ± 0,6	7,0 ± 0,8	2,1 ± 0,2	2,0 ± 0,0	2,0 ± 0,0	2,1 ± 0,1	
K	3,6 ± 0,1	7,1 ± 0,3	0,6 ± 0,0	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,1	0,6 ± 0,0	
Na	4,7 ± 0,3	8,7 ± 0,3	2,0 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,0	1,9 ± 0,1	
Fe	103 ± 18	179 ± 44	10,2 ± 0,3	10,4 ± 0,7	9,2 ± 2,4	13,7 ± 0,6	
Zn	122 ± 6,4	112 ± 8,7	3,7 ± 0,2	3,3 ± 0,1	3,5 ± 0,2	3,9 ± 0,2	
Mn	13,76	± 11,33 ± 2,04	1,40 ± 0,11	0,70 ± 0,06	0,82 ± 0,16	0,93 ± 0,08	
	1,45						
mg						kg
	1						
Cu	5.926 ± 516	2.261 ± 294	151 ± 5	143 ± 2	145 ± 2	134 ± 1	
B	2.082 ± 63	930 ± 4	57 ± 5	70 ± 6	75 ± 0	64 ± 8,9	
Al	2.554 ± 312	2.935 ± 392	1.875	± 1.131 ± 36	1.107 ± 72	1.879 ± 111	
Ni	165 ± 13	109 ± 29	35 ± 4	30 ± 2,1	28 ± 2,1	21 ± 4,6	
Cr	803 ± 155	746 ± 181	133 ± 8	80 ± 9	87 ± 5	54 ± 7,1	
Cd	200 ± 13	153 ± 10	7,9 ± 0,6	9,6 ± 0,8	7,8 ± 0,1	6,0 ± 0,9	
Pb	8.167 ± 333	8.928 ± 478	376 ± 16	363 ± 93	528 ± 15	383 ± 23	
As	<1	27,3 ± 21,3	<1	<1	<1	<1	
Hg	<1	1,2 ± 1,2	<1	<1	<1	<1	

Adubos	Água				CNA			
	Zn	Pb	Cd	Cr	Zn	Pb	Cd	Cr
	.....g kg ⁻¹	.....mg kg ⁻¹	.....mg kg ⁻¹	.....mg kg ⁻¹	.....g kg ⁻¹	.....g kg ⁻¹	.....mg kg ⁻¹	.....mg kg ⁻¹
A (IBS)	33,4 ± 0,6	142 ± 17	202 ± 6	<1	92,6 ± 2,1	8,0 ± 0,1	201 ± 6	146 ± 10
B (IBS)	13,8 ± 0,1	147 ± 24	144 ± 4	<1	68,9 ± 1,5	7,2 ± 0,3	141 ± 5	104 ± 7
A (SS)	3,0 ± 0,1	8,2 ± 4,1	5,1 ± 1,1	25,7	± 3,6 ± 0,1	0,117 ± 5,8	± 106 ± 5	
				2,1		0,007	1,6	
B (SS)	3,0 ± 0,0	18,1 ± 7,4 ± 1,2		23,0	± 3,2 ± 0,1	0,133 ± 9,2	± 72 ± 14	
		6,4		1,7		0,002	2,3	
C (SS)	3,1 ± 0,2	14,8 ± 6,3 ± 1,1		21,0	± 3,3 ± 0,1	0,123 ± 7,5	± 54 ± 7,8	
		7,2		1,7		0,001	1,6	
D (SS)	3,3 ± 0,1	9,6 ± 3,1	4,7 ± 0,1	21,0	± 3,5 ± 0,1	0,115 ± 4,8 ± 0,4	54 ± 6,8	
				7,2		0,010		

ANEXO 8 - SOLUÇÕES APLICADAS EM USINAS ESPANHOLAS, INERTIZAÇÃO E DISPOSIÇÃO CONTROLADA NAS USINAS DE NERVACERO E DE AZKOITIA, E DE RECUPERAÇÃO DE ZINCO E CHUMBO NA PLANTA DE AZER

Inertização e disposição controlada

A legislação ambiental espanhola vem exercendo forte pressão sobre as usinas siderúrgicas que operam forno elétrico a arco, a partir de estabelecimento de normas e controles mais rígidos, no sentido de buscar solução definitiva para o pó gerado no processo. Em 1999, já foi determinado que todo pó a ser depositado em aterros especiais necessitaria no mínimo ser inertizado previamente.

Com essa sistemática, as usinas se uniram e buscaram, no setor privado, empresários que se interessaram em implementar recursos e desenvolver tecnologias para a solução do problema com o pó. Duas linhas de ação diferentes foram seguidas: uma, buscando a neutralização e deposição em aterros especiais; e outra, com mais elaboração e conseqüentes custos, com a reciclagem do pó a transformá-lo em material utilizável. Hoje, 40% do pó gerado na região basca são beneficiados e 60%, armazenados em aterros especiais.

As siderúrgicas da região, na forma de consórcio, reuniram-se com as duas empresas que trabalham com as tecnologias citadas (Azer e Oñeder) e, a partir da determinação da legislação, estabeleceram:

1 - Preço pago pelo tratamento do pó nos dois sistemas é o mesmo até a definição de nova tecnologia (€56,6/t de pó). Esta determinação temporária se deve às diferenças de custos de implantação das unidades (US\$36.000.000 da Azer contra área + US\$500.000 em equipamentos Oñeder – dados desta última, de 2002;

2 - No ano de 2004, será realizada uma reunião em que todos mostrarão as possíveis novas tecnologias para ser aplicadas, providenciando as mudanças necessárias nas sistemáticas acertadas;

3 - No ano de 2007, todas as empresas deverão estar reciclando 100% do pó gerado, não podendo mais existir os aterros.

Essas premissas de trabalho impelem as siderúrgicas a se prepararem para uma condição muito além dos controles e custos atuais. A empresa Oñeder S.A., com um de seus depósitos em Azkoitia, próximo a Azpeitia, é gestora autorizada

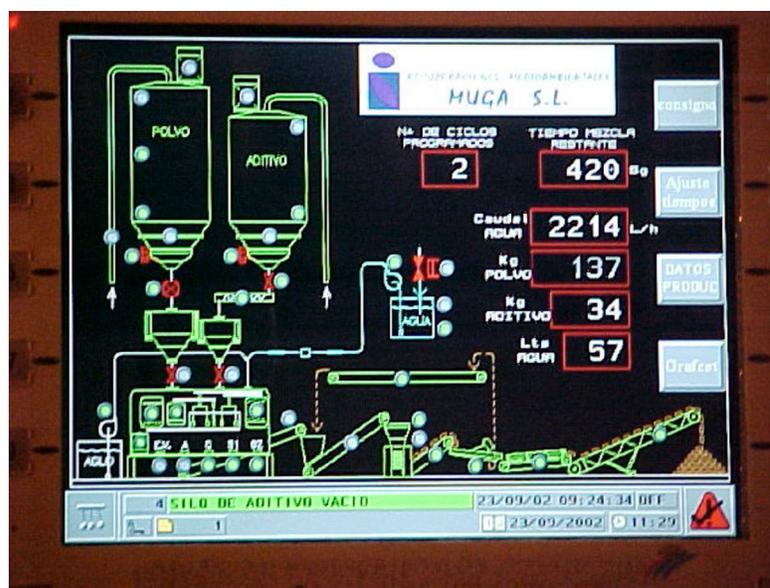
pelos órgãos oficiais de meio ambiente no tratamento e acondicionamento de pó de forno elétrico a arco. Trabalha atualmente em dois sistemas de inertização e recondicionamento de pó. O primeiro sistema se refere a adensamento e beneficiamento de zinco; o restante do material é estocado em áreas especiais (exemplo: Usina de Nervacero). O segundo sistema é a armazenagem em aterros industriais controlados na unidade de Azkoitia

A -1: Usina de Nervacero - Bilbao

Na Usina de Nervacero, o pó gerado no forno (130t) cerca de 10kg/t a 11 kg/t, é levado via transporte pneumático para um silo dentro de um galpão para preparação.

Como pode ser observado no fluxograma a seguir, um outro silo contendo aditivo inertizante e um reservatório de água complementa a preparação do material base. Estes três componentes - pó, aditivos e água - são misturados na seguinte proporção:

- 440kg de pó de forno elétrico;
- 112kg de aditivos;
- 104L de água pura.



Fluxograma do processo



Vista do briquetador

Esta mistura é levada por transportador até um brinquetador (ver figura acima), sendo que os briquetes gerados são sinterizados em um transportador que passa através de um forno.

Os briquetes gerados são 40% retornados ao forno elétrico, cerca de 3,5t (ver figura abaixo) para aumentar a concentração de Zn , e o restante é enviado para o depósito especial.



Fabricação de briquetes

A - 2: Unidade de Inertização de Azkoitia

Numa área de aterro industrial controlado, situada em um vale com antigo plantio de *pinus* e próxima à cidade, foram preparadas diversas áreas de estocagem do pó, após a inertização.

A unidade de inertização (ver figura abaixo) recebe o pó das diversas usinas através de transporte em caminhões lacrados, armazenando-o de acordo com o potencial de hidrólise avaliado.



Vista da unidade de inertização

Cada tipo de pó de forno elétrico é misturado a cal, aditivos (ver figura a seguir) e água, de forma a alcançar o pH da mistura > 11 , o que garante que metais pesados, como chumbo, molibdênio e cromo (como também o zinco), não possam se tornar solúveis, evitando conseqüentemente, a sua lixiviação.



Vista da blendagem do pó de aciaria do forno elétrico

Na área de deposição em Azkoitia, o pó chega através de transporte por caminhões lacrados, e é armazenado em silos por pH avaliado. A massa neutralizada resultante é colocada em leitos especiais, preparados com uma camada de tecido gramatura 500g/mm²; uma segunda camada, com polietileno 2mm de espessura e a última camada também de tecido de 300g/mm².

Visando a reduzir a área de estocagem, que é um dos complicadores europeus, este material é compactado por máquina até atingir a densidade de 2,3g/cm³ a 2,5g/cm³ - o pó original é da ordem de 0,6g/cm³.

A observação feita pela Azkoitia é de não se preparar toda a área disponível para receber a estocagem, mas sim dividir em subáreas, reduzindo o custo de implantação.

A - 3: Recuperação de zinco e chumbo, conforme a Planta de Azer

A Azer está localizada nas proximidades da cidade de Bilbao e é a única planta na Espanha dedicada à reciclagem de pó gerado na operação de forno elétrico, recuperando o zinco e chumbo contido nesse material.

A empresa iniciou sua operação em 1987, tendo reciclado mais de 1.200.000 toneladas de pó, recuperando, para diversas aplicações, mais de 400.000 toneladas de concentrado de zinco e chumbo, chamado por eles de “Óxido Waelz” - O.W.

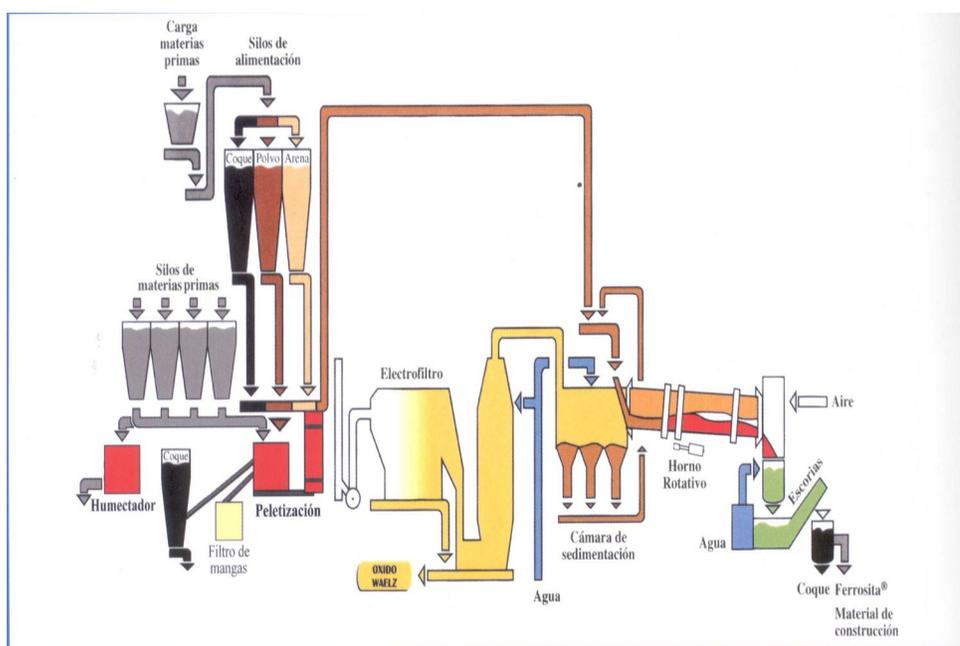
O processo de reciclagem e recuperação se desenvolve em dois processos complementares: um piro-metalúrgico, o “processo Waelz” (ver figura na próxima página) e outro processo hidro-metalúrgico, o processo de dupla lixiviação “Óxido de Waelz”, patenteado pela Azer. Ambos os processos são considerados a melhor tecnologia disponível pela Comissão Europeia (IISI, 2003).

Os diversos pós com concentrações diferentes de *Zn* e *Pb*, estocados em 4 silos de 200m³, gerados por diversas aciarias, são misturados de forma a obter um valor médio de concentração; em seguida, são adicionados a óxido de ferro, cal e areia, para buscar o pH ideal. O coque é utilizado como elemento para sinterização e redução no forno; a basicidade objetivada fica entre 3 e 4.

Esta mistura é denominada “Ferrosita” e possui diversas aplicações, como, por exemplo, ácido natural e material de enchimento na indústria de construção. A “Ferrosita”, depois de pelletizada (5mm a 15mm), é introduzida em um forno rotativo

com 50m de comprimento e 3,5m de diâmetro, com temperatura de cerca de 1.200°C. Durante o processamento, possui duas áreas distintas: uma redutora, que é a parte inferior da massa sólida, e uma superior, que é a oxidante, em que uma corrente, em contrafluxo de ar, arrasta os gases com os óxidos que são gerados dentro do forno para uma câmara de sedimentação, uma torre de acondicionamento e um filtro eletrostático. Os gases, depois de depurados, são lançados em uma chaminé, na qual se medem continuamente os materiais particulados.

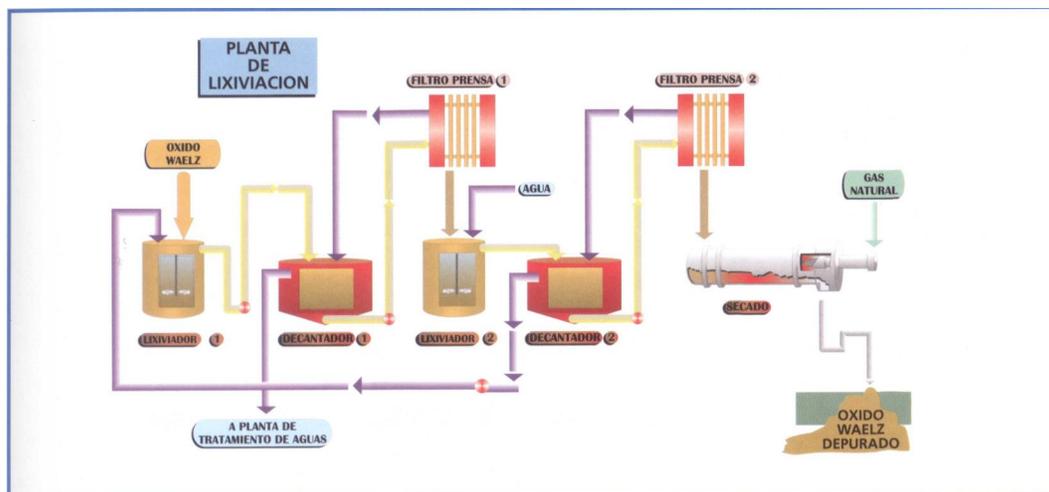
A taxa de entrada de pó de forno é de 16,6 t/h contra 2,5 t/h de coque e com a quantidade de cal variando de 1,25t a 2t, em função da acidez. A escória final possui 45% de ferro, 30% a 35% de cal e 7% a 8 % de silício. Esta escória é normalmente utilizada em pavimentação, sendo seu residual de Zn é menor ou igual a 2ppm. Cada tonelada de pó conduz a 700kg de escória neutra e 300kg de concentrado.



Esquema do processo Waelz

Uma vez captado o "OW", este é submetido a um processo de dupla lavagem, no qual são eliminados os halogênios, predominantemente os clorados e os alcalinos. A água utilizada no processo de lixiviação (ver figura a seguir) é então bombeada para a planta de tratamento de água, em que é submetida a um tratamento físico-químico que proporciona a precipitação e a separação dos metais.

O cloro é retirado por carbonato de sódio, com pH igual a 9 e tempo de lixiviação de 4 horas.



Esquema do processo de lixiviação

O processo do forno Waelz na Azer possui um índice de recuperação de *Zn* e *Pb* de mais de 95%, enquanto a dupla lixiviação é capaz de eliminar aproximadamente 99% do cloro contido, produzindo, assim, o OW puro (concentração de *Cl* de 1,5ppm a 1,6ppm). Este material, coletado pneumaticamente em caminhões, conforme figura na página 124, é altamente utilizado em processos eletrolíticos. É vendido atualmente para Austrália, Japão e EUA.



Silos pneumáticos de armazenamento

Na Azer, está em desenvolvimento um novo projeto de melhoria, introduzindo a instalação de um sistema de captação de particulados e filtro de mangas para ser instalado até o final deste ano.

Na chaminé, além dos particulados, são medidas e registradas sistematicamente as vazões e concentrações de gases emitidos para a atmosfera. Cada chaminé dispõe de seu próprio sistema de limpeza de gases. Nesta planta, consiste de uma torre de resfriamento e um filtro eletrostático. Também possui um *Venturi Scrubber*, que se utiliza para a limpeza dos gases em caso de parada do forno para reparo do filtro. A planta de briquetamento possui um ciclone e um filtro de mangas dedicado.

Semestralmente, um laboratório oficial faz retiradas de amostras nas emissões de cada chaminé, comparando com os dados permitidos para esta planta. Estas análises são enviadas para o governo basco, sendo que, entre outras informações, contém: material particulado, SO_2 , HCl , NO_x , VOC , Pb , Cu , Cr , Mn , Ni , As , Cd , Hg , CO , V , Sb e Ti .

Até o momento, não foi encontrado nenhum desvio dos limites máximos constantes da autorização de funcionamento, conforme pode ser visto na tabela a seguir.

SO_2	300mg/Nm ³
Partículas	50mg/Nm ³
Pb+Cr+Cu+Mn	5mg/Nm ³
Ni+As	1mg/Nm ³
Cd+Hg	0,2mg/Nm ³

ANEXO 9 – TRATAMENTO DE CAREPA PELO PROCESSO CARBOFER®

O Processo Carbofer®

O processo Carbofer® consiste em dois estágios. O primeiro é o preparo de uma mistura de carepa e pó de aciaria que é apropriada para injeção. Uma vez produzido, o composto deve ser armazenado e entregue ao forno com demanda. A Hekett MultiServ desenvolveu um procedimento para o manuseio da carepa e do pó de aciaria e sua combinação com aditivos para produzir um composto que os operadores dos fornos possam usar para substituir o carbono como agente para flotação de escória. A natureza do composto (carepa e pó de aciaria) é tal que suas propriedades de fato variam, mas através de exaustivos testes em fornos, foi possível gerar compostos que deram bons resultados funcionais. O segundo estágio do processo é a injeção do composto no forno. Para lidar com a mistura de Carbofer® ou Carbofer® mix, um sistema pneumático especial de manuseio foi desenvolvido em conjunto com uma fornecedora especializada em sistemas de injeção. Após vários anos de operações de planta piloto, uma extensa série de condições de operação foi testada. A partir dessa experiência prática, um eficiente sistema para o transporte de materiais e injeção foi desenvolvido. A injeção de Carbofer® no banho de escória é agora uma operação simples de rotina para os operadores de forno.

Preparação do Composto Carbofer®

Na planta da Sheerness, a carepa que é recuperada da refrigeração a água e de tanques é coletada e combinada com carbono e pó de aciaria para produzir o composto de Carbofer®. As proporções de cada componente vão depender nas condições de trabalho em



Manuseio de carepa

cada planta, mas a série das compostos testados na Sheerness inclui os seguintes: -

Carepa	20 - 80%
Pó de Aciaria	0 - 60%
Carbono	15 - 25%
Cal	0 - 10%

O principal requisito da planta de preparação de Carbofer[®] é que os materiais de alimentação sejam manuseados, transportados e misturados precisamente para produzir uma mistura de boa fluidez que seja adequada para o transporte e injeção pneumática. O armazenamento do composto é projetado para que se tenha reservas adequadas nos períodos em que a planta que faz a mistura não esteja operando. Com estes tipos de materiais de alimentação e mistura, uma atenção especial deve ser dada tanto aos sistemas de transferência quanto ao de armazenamento.

A formulação da mistura Carbofer[®] pode ser modificada para se adequar a condições específicas. Nesta planta os objetivos são: -

- Reciclar todo a carepa
- Enriquecer o pó de aciaria a níveis adequados para vendas externas
- Suficiente presença de carbono para sustentar uma boa flotação de escória
- Adição de Cal para controle de nível de umidade quando necessário

Análise típica de Carbofer[®] e pó de aciaria enriquecido

Componente	Peso % (Base seca)	
	Composto Carbofer	Pó de Aciaria enriquecido
ZnO	8.4	40.3
PbO	0.9	5.6
Fe ₂ O ₃	36.1	18.5
Cão	11.3	5.9
SiO ₂	2.4	2.5
MgO	1.1	2.2
Al ₂ O ₃	0.7	0.7
Na ₂ O	0.5	3.2
K ₂ O	0.2	1.1
C	23.9	1.4

Amostras de Janeiro de 2000

Análise por XRF e LECO (carbono)



Injeção de Carbofer[®] para flotar escória

Injeção de Carbofer®

O composto de Carbofer® é transferido para o sistema de injeção e entregue ao forno usando ar comprimido limpo e seco numa pressão de 4 a 5 bar. Uma série de arranjos de lanças foi testada, mas o sistema em operação atual usa uma lança refrigerada a água que é introduzida pela porta de escória. O sistema de manipulação da lança (Fuchs) foi automatizado para que o operador de forno possa controlar as operações de injeção automaticamente a partir da sala de controle dos fornos.

Resultados da Operação

A partir dos resultados da injeção de Carbofer® em mais de 3.000 fornos, o fabricante de aço fez as seguintes observações de operações para taxas de injeção de Carbofer® de até 2,27 ton/forno : -

Taxas de Consumo de Energia	- 370,37 kWh/ton de aço líquido
Tempo para contato	- 51 minutos
Rendimento do Forno	- 93.2%
Qualidade do Aço	- nenhum problema
Características da Escória	- flotação excelente, boas propriedades
Desgaste Refratário	- nenhuma alteração.
Conteúdo de Zinco do Pó de EAF	- 28 – 33% (dependendo da mistura)

Embora afetado por uma série de fatores, os resultados das operações e observações sugerem que os níveis de rendimento dos fornos são mais altos

quando é injetado Carbofer®. Para uma taxa de injeção de 1,81 ton de Carbofer® por forno, melhoras gerais no rendimento ficam entre 0,5% e 1,0% (dependendo da composição da mistura de Carbofer®) A taxas de injeção de Carbofer® de até 1,81ton/forno não há efeitos significativos na taxa de consumo de energia.



Vista do Carbofer®