

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA
E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA**

**Avaliação de uma Planta de Reciclagem
de Alumínio à luz da Gestão
pela Qualidade Total**

Autor: Maria Angelica de Barcellos de Gusmão

Orientador: Eugênio José Zoqui

06/2000

**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA
E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA**

Avaliação de uma Planta de Reciclagem de Alumínio à luz da Gestão pela Qualidade Total

Autor: Maria Angelica de Barcellos de Gusmão

Orientador: Eugênio José Zoqui

Curso: Mestrado em Qualidade

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Qualidade.

Campinas, 2000

S.P. – Brasil




UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

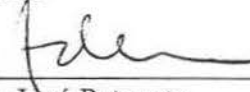
AVALIAÇÃO DE UMA PLANTA DE RECICLAGEM DE ALUMÍNIO À LUZ DA GESTÃO PELA QUALIDADE TOTAL

Este exemplar corresponde à redação final do trabalho de Mestrado Profissional devidamente corrigido e defendido por Maria Angelica Barcellos de Gusmão e aprovado pela banca examinadora.

Campinas, 07 de agosto de 2000



Prof. Dr. Eugênio José Zoqui
Orientador



Prof. Dr. Ademir José Petenate
Co - Orientador

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ademir José Petenate
Prof. Dr. Olívio Novaski
Prof. Dr. Paulo Corrêa Lima

Trabalho final de Mestrado Profissional apresentado ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do Título de MESTRE em QUALIDADE

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP**

Gusmão, Maria Angelica Barcellos de

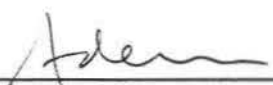
G972a Avaliação de uma planta de reciclagem de alumínio à luz da gestão pela qualidade total /Maria Angelica Barcellos de Gusmão -- Campinas, [S.P. :s.n.], 2000.

Orientador : Eugênio José Zoqui

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica.

1. Reaproveitamento (Sobras, refugos,etc.) 2. Reciclagem – Industria. 3. Gestão pela qualidade total. I. Zoqui, Eugênio José. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica. III. Título.

**Trabalho Final de Mestrado Profissional defendido em 07 de agosto de 2000 e
aprovado pela Banca Examinadora composta pelos Profs. Drs.**



Prof (a). Dr (a). ADEMIR JOSÉ PETENATE



Prof (a). Dr (a). OLÍVIO NOVASKI



Prof (a). Dr (a). PAULO CORRÊA LIMA

Dedicatória:

Dedico este trabalho à, minha família e, em especial aos meus filhos Caroline e Vinícius pela doação do tempo de convívio com a mamãe em fins de semana, feriados e férias dedicados na execução e conclusão deste trabalho.

Agradecimentos

Este trabalho, nunca teria terminado se não fosse a prestimosa colaboração, e apoio de várias pessoas. Gostaria de expressar os meus agradecimentos a todas essas pessoas que diretamente ou indiretamente contribuiriam para que atingisse o objetivo ora alcançado, em especial:

- ao Prof. Dr. Eugênio José Zoqui, pela sua prestimosa orientação quanto aos caminhos a serem seguidos durante todo o desenvolvimento do texto, bem como pela sua amizade e incentivo;
- ao Prof. Dr. Ademir José Petenate pelo tempo dedicado a compartilhar a análise conceitual, seus questionamentos e sugestões fundamentais no sentido de tornar o texto inserido no contexto da Gestão da Qualidade Total e do desenvolvimento sustentável, bem como pelo seu apoio e colaboração na conclusão deste trabalho.
- ao Prof. Dr. Olívio Novaski, pela sugestão apresentada no sentido de tornar o texto mais claro e inserido no contexto da Qualidade Ambiental;
- ao Engenheiro Dr. Sílvio Fasoli, pelas sugestões apresentadas no sentido de tornar o texto mais objetivo, bem como ao Químico Augusto Takara, pela transmissão de sua experiência nas sugestões apresentadas quanto a gestão ambiental;
- a Bibliotecária Berenice Ap. de Carvalho da ABAL, pelo fornecimento de bibliografias e informações, bem como a ALCAN, a LATASA, ao CEMPRE, a RECIPAR pela contribuição no fornecimento de informações e visitas técnicas;
- aos meus amigos pelo incentivo nos momentos mais difíceis.

A pessoa mais importante é sempre a mais próxima; a ação mais importante
é sempre o amor; o momento mais decisivo é sempre o agora.

Eckart

Resumo

Gusmão, Maria Angelica Barcellos de, *Avaliação de uma Planta de Reciclagem de Alumínio à Luz da Gestão Pela Qualidade Total*, Campinas,: Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, 2000, 86p. Dissertação (Mestrado).

Neste trabalho procurou-se analisar criticamente uma planta de reciclagem de alumínio através da análise comparativa com o sistema de gestão pela qualidade total (TQM). Para isto foi necessário mapear todo o processo de reciclagem do alumínio desde a coleta, beneficiamento, queima e fusão até o produto reciclado final passando pelas fases de tratamento dos subprodutos deste processamento. O trabalho aborda todo o processo descrevendo etapa por etapa as fases que a implementação de um sistema de gestão pela qualidade total poderia ajudar a melhorar o

Abstract

Gusmão, Maria Angelica Barcellos de, *Evaluation of a Aluminium Reciclyng Plant Factory by the Total quality Management Principles*, Campinas: Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, 2000, 86p. Dissertação (Mestrado).

This investigation analyses an aluminium recycling plant by the comparative analysis with the total quality management system (TQM) principles. To achieve this objective it was necessary to know the recycling process from the collected material to the preparation processing, fusion and the melting recycled product. It was also necessary to achieve information about the secondary processing products and his impact to the enviroment. The work identified all steps of the recycling process and what kind of TQM program is better for every situation to improve the quality of the product and improve the quality of the process. At the end, the work describes a recycling Brazilian plant to compare to an ideal plant showing the general problem of this process.

Key Words

Recycling, Aluminium, Total Quality Management, Aluminium

Índice

Lista de Figuras	xiii
Lista de Quadros	xv
Lista de Tabelas	xvi
Nomenclatura	xvii
Capítulo 1	
Apresentação	1
Capítulo 2	
Conceitos Básicos	3
2.1. Reciclagem.	7
2.2. Por que Reciclar?	7
2.3. Evolução Histórica	9
2.4. O Alumínio na Indústria de Embalagem	10
2.5. Reciclagem das Latas de Alumínio	14
2.6. Viabilidade Econômica do Processo de Reciclagem	17
Capítulo 3	
Processos de Reciclagem do Alumínio	27
3.1. Aspectos Fundamentais	28
3.2. Mapeamento do Processo	30
3.3. Formação de Escória e Perda na Fusão	34
3.4. Fatores que Contribuem para a Geração de Escória	38
3.4.1. Oxidação do Metal Fundido	38

3.4.2. Taxa de Fusão (<i>Melting Rate</i>)	40
3.4.3. Influência dos Elementos de Liga	42
3.4.4. Influência dos Compostos Orgânicos	45
3.4.5. Influência da Espessura da Sucata	45
3.4.6. Manuseio do Metal Líquido	47
3.4.7. Processo do Fundição	49
3.4.8. Uso de Fundentes	50
3.4.9. Efeito da temperatura de Remoção dos Materiais Orgânicos	51
Capítulo 4	
Proposição da Metodologia de Análise	55
4.1. Ferramentas para Melhoria do Processo	56
4.2. Lista de Itens de Controle / Itens de Verificação	60
4.2.1. Beneficiamento da Matéria – Prima	62
4.2.2. Tratamento para a Decomposição dos Materiais Orgânicos	63
4.2.3. Fusão da Sucata	63
4.2.4. Condição de Chegada do Metal Líquido ao cliente	64
4.3. Estabelecimento de Procedimentos Operacionais Padrões	64
Capítulo 5	
Estudo de Caso: Análise de um Processo de Reciclagem de Latas de Alumínio	67
5.1. Controle de Processo	69
5.2. Diagnóstico da Planta do Centro de Fundição de Sucatas de Alumínio da LATASA	70
5.3. Sistema de Controle	76
Capítulo 6	
Conclusões e Sugestões para Novos Trabalhos	77
6.1. Conclusões	77
6.2. Sugestões para Novos Trabalhos	80
Referências Bibliográficas	81

Lista de Figuras

Figura 2.1) Ciclo Global de vida dos Materiais [Silva, 1992].	8
Figura 2.2) Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio. Fonte: ABAL, The Aluminium Association, Aluminium Can Recycling, Japan Aluminium Federation, Câmara Argentina del Alumínio y Metales Afines (* - média europeia) [Anuário Estatístico da ABAL, 1998].	16
Figura 2.3) Evolução dos preços de alumínio [Anuário Estatístico da ABAL, 1998] LME: London Metal Exchange; metal 99,7% (High Grade) BME: Brasil Metal Exchange; metal 99,7% (High Grade).	18
Figura 2.4) Evolução da tarifa Energética no Brasil [ABAL, 1998]. Grupo A1 corresponde aos consumidores de 230KV ou mais e o Grupo A2 corresponde aos consumidores com tensão de 88KV a 138 KV	19
Figura 2.5) Rendimento energético comparativo obtido com a utilização de material reciclado Calderoni [1998].	24
Figura 3.1) Fluxo de operações do ciclo de reciclagem das latas de alumínio [ABAL, 1999].	30
Figura 3.2) Fluxo detalhado de operações do processo de reciclagem das latas de alumínio. Fonte: [ABAL, 1999 - Schaeffer, 1995].	32
Figura 3.3) Solubilidade do hidrogênio em alumínio líquido, a 1 Atmosfera de pressão, em função da temperatura. [Dively, 1972].	41
Figura 3.4) Efeito da temperatura e do tempo na oxidação da liga AA3004, usada na fabricação do corpo da lata de alumínio [Tenório, 1995].	41
Figura 3.5) Efeito do vapor d'água na eficiência do processo de reciclagem de alumínio. Utilização de gás atmosférico na decomposição de materiais orgânicos [Tremblay, 1997].	42
Figura 3.6) Influência da presença de magnésio e de revestimentos orgânicos na perda de metal durante fusão de sucatas de alumínio [Stevens, 1997].	45
Figura 3.7) Influência da quantidade de magnésio na liga AL sobre a perda de Metal durante a refusão de sucata de alumínio [Stewart, 1977].	46
Figura 3.8) Tempo de aquecimento para diversas espessuras de sucata de alumínio em um forno a 550°C. [Tremblay, 1995].	47
Figura 3.9) Velocidade do fluxo [$v = (2.g.h)^{1/2}$] do metal líquido em relação a altura de queda durante transferências. Fuoco [1997].	48

Figura 3.10) Quantidade de tintas e vernizes removidos do corpo da lata de alumínio em mg. Tenório [1995].	52
Figura 3.11) Relação entre temperatura e tempo de decomposição das tintas e vernizes contidas na lata de alumínio [Tenório, 1995].	53
Figura 3.12) Relação entre temperatura e tempo para a decomposição térmica de vários tipos de revestimentos (tintas e vernizes) das latas de alumínio para bebidas. Stevens [1997].	54
Figura 4.1) Proposta de procedimento de avaliação da estabilidade de um processo de reciclagem de latas de alumínio para bebidas	66
Figura 5.1) Fluxo contínuo do processo de reciclagem das latas de alumínio Fonte: [LATASA/ CATÁLOGO]	70

Lista de Quadros:

Quadro 2.1) Exemplos de materiais classificados como rejeitos:	4
Quadro 2.2. Exemplos de materiais recicláveis e não recicláveis:	5
Quadro 2.3) Exemplificação dos tipos de classificação para a sucata de alumínio:	6

Lista de Tabelas

Tabela 2.1) Participação do consumo de alumínio por setor em 1990:	12
Tabela 2.2) Participação do consumo de alumínio por setor no Brasil:	12
Tabela 2.3) Comparação entre os preços do alumínio primário e a sucata:	20
Tabela 2.4) Índice de redução da poluição obtido através dos processos de reciclagem.	25
Tabela 2.5) Estimativa da economia resultante dos processos de reciclagem no Brasil em 1996.	25
Tabela 3.1) Formação de óxidos nas ligas de alumínio no estado líquido.	39
Tabela 3.2) Perda por fusão comparativa entre fornos elétricos e a combustível.	49
Tabela 3.3) Composição Química Média da Dross	50
Tabela 4.1) Itens de controle /itens de verificação no processo de reciclagem de latas de alumínio.	61
Tabela 4.2) Composição ideal da liga AA3004 para a confecção de latas de alumínio:	64
Tabela 6.1) Preço de sucata de embalagem:	78

Nomenclatura

Letras Latinas

G	Ganho com a reciclagem
V	Valor de venda do material reciclado
C	Custo do processo de reciclagem
E	Custos evitados pelo processo de reciclagem
V ₁	Valor de venda do material reciclado para quem compra
V ₂	Valor de venda do material reciclado para quem vende
W	Economia de energia
M	Economia de matérias primas
H	Economia de água
A	Economia de custos ambientais
D	Ganhos de equipamentos e processos

Letras Gregas

γ	Alumina gama.
α	Alumina alfa

Abreviações

TQM Total Quality Management – Gerenciamento pela Qualidade Total

Siglas

AA	Aluminium Association
ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ALCAN	Alumínio do Canadá Ltda.
BME	Brasil Metals Exchange
LATASA	Reynolds Latas de Alumínio S/A
LME	London Metal Exchange

Capítulo 1

Apresentação

O trabalho tem os seguintes objetivos: analisar criticamente uma planta industrial de reciclagem de alumínio à luz de um sistema de gestão pela qualidade total, ou seja, como a planta de reciclagem em questão poderia ser se estivesse sob um regime de trabalho estruturado segundo os princípios propostos pelo sistema de gestão pela qualidade total ou TQM. Demonstrar qualitativamente que o TQM pode melhorar o processo de reciclagem e, por conseguinte, a qualidade de novas latas de alumínio produzidas a partir da matéria básica reciclada.

O trabalho também permite inferir um possível efeito secundário, mas não menos importante, do TQM no processo de reciclagem: reduzir a quantidade de resíduos liberados para o meio ambiente durante a fusão e tratamento do alumínio sucata. Para isso, serão feitas análises das principais etapas do processo de reciclagem através do mapeamento do processo, o estudo das variáveis metalúrgicas que afetam estas etapas e as possibilidades de controle e melhoria que poderiam afetar a qualidade do metal reciclado (quantidade de impurezas, temperatura, composição química, homogeneidade, quantidade de inclusões, índice de segregação entre outros) através das técnicas de processamento tais como: compactação, limpeza, remoção de tintas e vernizes, fusão contínua, tratamento do metal líquido, fundição do lingote, tratamento térmico de

homogeneização e laminação do lingote para a obtenção do produto final (chapa de alumínio), sempre de acordo com princípios e técnicas do TQM.

O alvo a ser atingido neste trabalho é mostrar quais as melhores técnicas e a metodologia a serem implantadas para a monitoração, controle e otimização do processo de reciclagem de sucatas de latas de alumínio numa liga tipo 3004, com todas as características especificadas pelos fabricantes de chapas de alumínio para a manufatura de novas latas para bebidas.

Capítulo 2

Conceitos Básicos

As definições e conceitos associados aos termos “lixo”, “resíduo”, “sucata”, “rejeito” e “reciclagem” serão primeiramente discutidas, como base para o entendimento das análises desenvolvidas nos itens subseqüentes no decorrer do trabalho. Segundo Calderoni [1998], os termos citados acima diferem conforme as situações em que sejam aplicadas: “lixo” é todo material que ao perder sua utilidade e funcionalidade é descartado e colocado em disposição final em aterros sanitários ou incinerados. É o objeto ou substância que se considera inútil ou cuja existência em dado meio é tida como nociva, e que na linguagem corrente é sinônimo de resíduo.

Ainda segundo o Dicionário Aurélio [1986] a conceituação para lixo pode variar bastante. O termo resíduo é definido como tudo aquilo que resta de uma substância, ou seja, são sobras de processamentos industriais ou domésticos que podem ser reaproveitados ou não num sistema produtivo para a manufatura de novos produtos, logo *resíduo* pode ser tanto um material útil como nocivo para a sociedade, esta classificação dependerá da sua característica química - físico - mecânica. Entretanto se há possibilidade de transformação ou reaproveitamento de um determinado material, o termo resíduo não deve ser definido de forma genérica como lixo.

Os resíduos são separados segundo seu estado (sólido, líquido e gasoso) e sua composição físico-químico e são classificados em três sub categorias, que podem ou não ser recicláveis:

a) Rejeitos (Refugos):

São todos os materiais considerados como fonte de contaminação, ou seja, tem ação nociva ao meio ambiente (durante e/ou após o processo de transformação ou reaproveitamento), pondo em risco a sociedade e acarretando, algumas vezes, na necessidade de rigoroso controle químico do material quando descartado [Silva, 1992]. O rejeito é o verdadeiro lixo e como tal deve ser acondicionado (em sacos e latas de lixo) para seu recolhimento, para a posterior aterramento [Calderoni, 1998]. O Quadro 2.1 exemplifica esta classificação:

Quadro 2.1) Exemplos de materiais classificados como rejeitos:

Cerâmicos	Pratos, vidro pirex e similares, lâmpadas fluorescentes, espelhos e porcelanas.
Poliméricos	Isopor, acrílico, papéis sanitários, guardanapos, copos descartáveis de papel, papéis plastificados ou parafinados, tintas, baquelite.
Metálicos	Papéis metalizados, pilhas, clips, grampos, esponjas de aço.
Compósitos	Trapos e roupas, artigos de couro, cigarros, cinzas, papel carbono, fitas e etiquetas adesivas, fotografias.

b) Materiais orgânicos:

São todos os resíduos sólidos orgânicos não perigosos tipos: restos vegetais e animais que, depois de separados, podem ser colocados em composteira para decomposição e transformação em adubos. Estes possuem sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas e húmus [CEMPRE, Ficha técnica nº 2].

c) Materiais recicláveis

São todos aqueles que podem, após serem separados, ser enviados para as indústrias recicladoras e transformados em matéria-prima para fabricação de novos produtos, podendo ser transformados diversas vezes sem perder suas características no decorrer do processo de reciclagem. Do ponto de vista industrial, um material para ser reciclável deve satisfazer determinados requisitos funcionais, como possibilitar a coleta seletiva, a segregação e a eliminação das impurezas que possam contaminar e dificultar o seu reaproveitamento pelas indústrias recicladoras, devendo ainda possuir bom desempenho e mesmas características quando comparado à matéria-prima original (extraída de recursos naturais). É no lixo domiciliar que se encontra a maior parte de materiais recicláveis, principalmente embalagens. O quadro 2.2 mostra alguns exemplos de materiais que são considerados recicláveis:

Quadro 2.2. Exemplos de materiais recicláveis e não recicláveis:

Classe	Reciclável
Papeis	Papéis em geral, jornais, listas telefônicas, revistas, folhas de caderno e rascunho, formulários de computador, caixas em geral, fotocópias, envelopes, aparas de papel, cartazes, embalagens longa vida.
Metais	Latas de alumínio, lata de folhas de flandres, quaisquer objetos de aço, cobre, alumínio, chumbo, bronze, ferro, zinco, etc.
Vidros	Recipientes em geral, garrafas, cacos de vidro, lâmpadas incandescentes.
Polímeros	Embalagens de produtos alimentícios, embalagens de produto de higiene pessoal, embalagem de limpeza, garrafas plásticas, tubos de encanamentos, baldes, copinhos descartáveis, restos de brinquedos, sacos plásticos em geral.

Dentro desta classificação ainda surge o termo *sucata*. Sucata define-se como objeto ou peça metálica inutilizada pelo uso ou pela oxidação [Aurélio, 1986]. A sucata tem sido um dos principais alvos da reciclagem e receberá atenção especial. Para facilitar a comercialização, o mercado determina “tipos de sucata” que variam conforme sua origem (industrial ou obsolescência), suas características (pureza, rendimento, etc...) e conseqüente aplicação. Segundo Santos [1996], a sucata tem origem basicamente em duas fontes:

- Sucata de obsolescência: materiais ou peças que já foram utilizadas para o seu fim específico e perderam sua utilidade original e,

- Sucata industrial: sobras de processos industriais, cortes de chapas e/ou estampagem, além de subprodutos de reações químicas como é o caso do chumbo na indústria petroquímica e de ourivesaria. Deve-se salientar que grande parte da sucata industrial pode ser reprocessada na própria indústria.

Como este trabalho se refere à indústria de alumínio, buscar-se-á focar para esta indústria em particular. O Quadro 2.3 mostra, para se exemplificar os tipos de sucata, os principais tipos de sucatas de alumínio. Estima-se que 60% da sucata de alumínio consumida, ou melhor, reciclada no Brasil seja destinada à indústria de transporte, na forma de ligas secundárias para fundição de peças [Santos, 1996]. Tem-se, portanto, que toda sucata pode ser reciclada.

Quadro 2.3) Exemplificação dos tipos de classificação para a sucata de alumínio:

Tipo	Materiais
Estamparia A	Retalhos industriais de alumínio (perfis e laminados), cabos e fios sem alma de aço e/ou revestimento, isento de impurezas (rendimento mínimo 95%).
Estamparia B	Retalhos de perfis e laminados usados (inclui chapas off-set) e cabos/fios sem alma com no máximo 5% de impurezas (rendimento global superior a 80%).
Estamparia C	Telhas, forros, fachadas decorativas, chapas usadas de ônibus e baús, painéis e demais utensílios domésticos isentos de cabos (baquelite, madeira, etc...) e de ferro (parafusos, rebites, cantoneiras). (rendimento global superior a 80%).
Pistões	Pistões de automóveis isentos de anéis e ferros
Blocos	Alumínio duro, peças fundidas em geral.
Misto	Painéis com cabo, antenas de TV, tubos spray com ou sem cabeça, persianas e miúdos de alumínio (bocal de lâmpada, tubos de pasta de dente).
Cavacos	Usinados em geral, com impurezas de até 6% - óleo, ferro e elementos estranhos.
Latas	Latas de bebidas em geral, compactadas e enfardadas com no máximo 6% em impurezas (Rendimento geral acima de 75%).

2.1. Reciclagem

A reciclagem é vista pelo público em geral como sinônimo de coleta seletiva. Em outras palavras, é muitas vezes confundida pela população como a separação prévia e segregação do resíduo sólido realizado no lixo domiciliar, que na verdade é a etapa inicial do processo de reciclagem. Existem várias conceituações e definições para o termo **reciclagem**, a saber:

- Reciclagem é um processo através do qual o produto ou material que servido para os propósitos a que se destinava, e que tenha sido separado do lixo, é reintroduzido no processo produtivo e transformado em novo produto, igual ou semelhante ao anterior, assumindo características diversas das iniciais [Duston, 1993].
- Reciclagem é a conversão em outros materiais úteis que, do contrário, seriam destinados à disposição final em lixões e aterros sanitários ou incinerados [Powelson, 1992].
- Reciclar é eliminar de maneira racional os resíduos sólidos ou sucatas e os resíduos gerados no sistema produtivo, que são descartados de maneira indiscriminada pela sociedade, diminuindo a poluição do ar, da água, do solo e conseqüentemente os impactos ambientais. Traz ainda economia de energia e água além de ajudar na preservação de recursos primários existentes na natureza [Calderoni, 1998].
- Reciclagem é o processo de reaproveitamento e/ ou transformação por refusão ou refino químico de quaisquer resíduos ou sucatas em novos produtos que serão recolocados no mercado [Silva, 1992].

2.2. Por que Reciclar?

A reciclagem é muito importante para preservação do meio ambiente beneficiando toda a sociedade. A “sociedade de consumo” dá poder de consumo a população na proporção que cresce seu poder aquisitivo, com isso cresce aceleradamente o sistema produtivo com o intuito de atender a demanda de bens de consumo agravada conforme multiplicação acelerada do crescimento demográfico. A reciclagem tornar-se fator importante neste ambiente e proporciona o desenvolvimento sustentável do planeta.

Segundo Penteado [1997], o desenvolvimento sustentável é aquele que “atende às necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade de as gerações futuras de atenderem as suas próprias necessidades”. Em outras palavras, trata-se de cuidar (não esgotar os recursos naturais) para que as próximas e futuras gerações herdem a terra como um habitat hospitaleiro e não insalubre.

A figura 2.1 mostra o ciclo global de vida dos materiais [Silva, 1992], ilustrando a necessidade do conhecimento do ciclo de vida de um produto assim como a interação da ciência ou engenharia do meio ambiente com a engenharia dos materiais, para reduzir o impacto negativo do crescimento econômico na deterioração ambiental. Segundo o BIRD/Banco Mundial [1992] para que haja “sustentabilidade” o essencial não é produzir menos e sim produzir melhor.

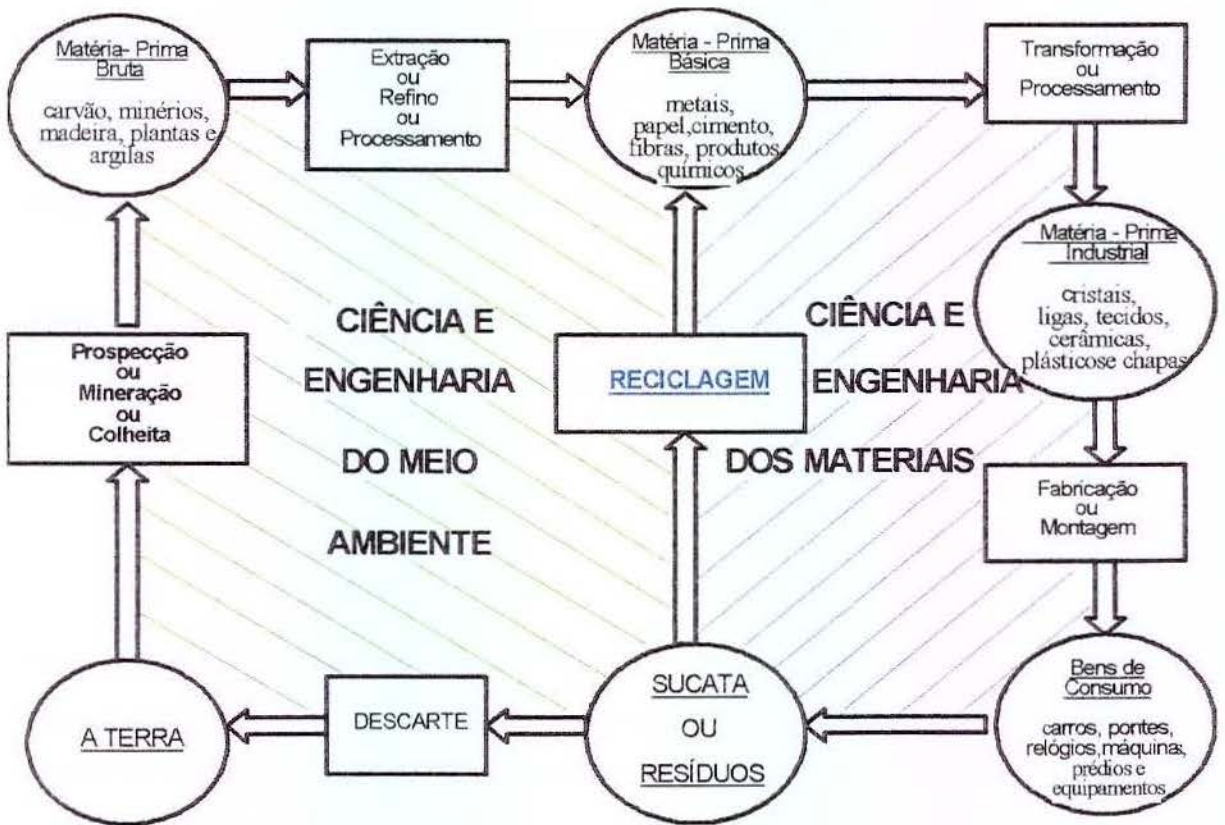


Figura 2.1) Ciclo Global de vida dos Materiais [Silva, 1992].

Os processos de reaproveitamento e/ou reciclagem, que possuem o objetivo de reduzir o desperdício de matérias orgânicas e de resíduos sólidos gerados pela população, vem recebendo grande atenção por parte de governos, indústrias, laboratórios e pesquisadores ligados ao meio ambiente. Por causa disto, tem-se tornado possível a compreensão e aplicação de novas técnicas para a captação e tratamento de efluentes em processos industriais assim como o desenvolvimento de novos processos para eliminação de impurezas de sucatas e materiais recicláveis. Desta maneira tem-se diminuído a quantidade de escória originada em vários processos assim como a emissão de efluentes entre outros, através do fortalecimento e desenvolvimento tecnológico em equipamentos, coleta seletiva e métodos de aprimoramento e beneficiamento na qualidade e otimização de reciclagem.

2.3. Evolução Histórica

Os primeiros relatos de processo em massa de reciclagem são de Milão na Itália, no ano de 1944, por uma simples questão de sobrevivência devido às dificuldades acarretadas no pós-guerra. Inicialmente, existia somente uma etapa no processo de reciclagem: a separação dos materiais passíveis de reaproveitamento que por sua vez eram recolocados no mercado, sem nenhum outro tratamento prévio para eliminação de sujeiras e impurezas tais como corpos estranhos ao material, restos de comida, poeira, terra, pedra, metais pesados, materiais nocivos como enxofre, chumbo entre outros.

A separação prévia de materiais passível de reaproveitamento denominada por coleta seletiva, teve início na metade do século nos Estados Unidos, sendo introduzido posteriormente nos países Escandinavos, no norte da Alemanha e outras partes da Europa. Após esta disseminação, e já no início dos anos 60, países como o Japão assumiram a vanguarda das iniciativas no campo da reciclagem. O Japão, por ser carente de recursos naturais, é destacadamente o país líder em reciclagem, em todo mundo. Reutiliza entre 40 e 50% do seu lixo sólido, e grande parte dos municípios japoneses desenvolve programas de coleta seletiva. [Calderoni, 1998].

Na Europa a recuperação e a reciclagem dos resíduos sólidos alcançaram os maiores índices principalmente nas situações de crise e de guerra, como nos anos de 1973 e 1974, em que a coleta seletiva voltou a constituir -se em objeto de atenção e interesse. A Europa Ocidental recupera hoje cerca de 30% do lixo doméstico.

Na Austrália, a coleta seletiva teve início em 1990, operando hoje com eficiência de 40%, e na China, a seleção do lixo nas residências iniciou oficialmente em 1950 (os materiais recicláveis são levados até pontos de coleta nas imediações, onde são trocados por dinheiro).

No Brasil, a coleta seletiva teve início em 1990, na cidade de Niterói (Rio de Janeiro). Entretanto, atualmente a cidade de Curitiba (Paraná) ocupa o espaço de vanguarda nesta área. Com relação ao tratamento e à disposição do lixo, é considerado modelo pela ONU.

Com a crescente produção de resíduos sólidos (domiciliares e industriais), que só na cidade de São Paulo chega a 12,5 toneladas diários, pequenos empresários estão descobrindo as vantagens sociais, ambientais e, sobretudo, econômicas da reciclagem. Esta é uma das poucas atividades em constante expansão no Brasil no período 1985/2000. A falta de conscientização sobre os benefícios da reciclagem ainda leva o país a desperdiçar R\$ 5 bilhões por ano em matérias-primas, energia, água entre outros [Abrahão, 1998].

2.4. O Alumínio na Indústria de Embalagem

As latas de alumínio para bebidas foram introduzidas nos Estados Unidos em 1963, pela Reynolds Metals Company, ganhando a preferência do consumidor e substituindo rapidamente a lata de aço. Atualmente, mais de 97% das bebidas enlatadas produzidas nos Estados Unidos são envasadas em latas de alumínio, o mesmo acontecendo em países como a Itália, Suécia, Austrália e Japão [LATASA, Catálogo].

As latas de alumínio vêm se tornando uma das mais populares embalagens quando comparadas com outros materiais tais com vidro, aço, e plástico, sendo aplicadas no acondicionamento de refrigerantes, cervejas, sucos, chás e outras bebidas, porque o alumínio é um dos metais mais versáteis utilizado pelo homem. As aplicações têm-se ampliado para vários setores industriais: transportes (laterais e pisos de ônibus, trens e vagões de metrô; motores e frisos de automóveis e caminhões; fuselagem, carpetes e assentos e aviões; foguetes e satélites espaciais), construção civil (esquadrias de janelas e forros, lambris, divisórias, box para banheiros, portas, etc), construção mecânica (eletrodomésticos, móveis, computadores, luminárias, embalagens de etc), eletricidade (cabos e condutores elétricos), mas principalmente embalagens, setor que mais cresce no mercado nestes últimos anos. As propriedades que fazem com que o alumínio tenha um amplo uso são:

- impermeabilidade
- Baixo peso específico ($2,7 \text{ g/cm}^3$);
- Baixo ponto de fusão (660^0 C)
- Facilidade de conformação;
- Alta condutibilidade térmica e elétrica;
- Elevada resistência à corrosão;
- Elevada resistência mecânica;
- Alta reciclabilidade (pode ser reciclado infinitas vezes sem perder suas características).

A indústria de alumínio, como um todo, apresentou índices crescentes de consumo no período de 1950 a 2000, porém a distribuição segundo os vários setores da economia tem sido desigual para nos diversos países pesquisados como pode ser visto na Tabela 2.1. Enquanto que o setor de embalagem responde por cerca de 12,2% do consumo de alumínio no Brasil, representa cerca de 33,5% no Reino Unido e 33,3% na França (dados do ano de 1990). Apesar da participação ter crescido desde então ainda há espaço para uma maior participação do alumínio neste setor. Como pode ser visto na tabela 2.2.

Tabela 2.1) Participação do consumo de alumínio por setor em 1990*:

Setor	País						
	Alemanha	Espanha	França	Itália	Inglaterra	EUA	Brasil
Construção Civil	17,4	31,5	18,6	28,7	22,6	15,5	19,6
Transportes	34,4	30,1	20,4	26,8	5,0	38,0	9,3
Energia	4,9	10,4	9,2	7,2	1,6	14,4	27,0
Bens de Consumo	5,5	4,9	7,7	9,2	4,7	4,4	13,2
Máquinas e Eq.	11,0	4,5	6,8	10,2	5,8	6,6	5,1
Embalagens	8,1	15,9	33,3	11,0	33,5	7,0	12,2
Outros	18,7	2,7	4,0	6,9	26,8	14,0	13,2

*) Fonte: Aluminium Statistical Review 1990, The Aluminium European Association of Aluminium Statistics and European Aluminium Association

A Tabela 2.2 mostra que o consumo de alumínio no Brasil cresceu cerca de 200% no período 1980/1998. A tabela ainda mostra uma crescente participação no setor de embalagem, passando de um volume total de 18.700 ton em 1980 para 190.080 ton em 1998, ou seja, um crescimento de 916% no período. Poucos setores da economia cresceram tanto em tão pouco tempo. Pode-se comparar a indústria de alumínio com a indústria de computadores e softwares para este mesmo período.

Tabela 2.2) Participação do consumo de alumínio por setor no Brasil*:

Setor	Ano				
	1980	1990	1996	1997	1998
Construção Civil	23,5%	19,6%	17,2%	17,0%	17,0%
Transportes	21,4%	9,3%	9,5%	11,8%	15,9%
Energia	19,0%	27,4%	21,5%	20,1%	17,7%
Bens de Consumo	14,4%	13,2%	12,2%	8,9%	7,9%
Máquinas e Eq.	4,0%	5,1%	4,0%	3,8%	4,1%
Embalagens	8,10%	12,2%	24,7%	27,7%	27,0%
Outros	9,6%	13,2%	11,0%	10,7%	10,6%
Consumo Total (1000ton)	234,2	462,3	556,0	646,7	704,0

*) Fonte: Anuário Estatístico da ABAL 1998.

Mais detalhadamente o anuário estatístico da ABAL 1998 ainda mostra que no período de 1994 a 1998 o segmento da economia que mais consumiu alumínio foi o de embalagem, com um volume de consumo em 1998 igual a 189.800 toneladas (crescimento de 149,4%), o que, por sua vez, fez aumentar o consumo da quantidade de bauxita, para o produção alumínio primário, e,

também em decorrência disto, levou a um aumento das tarifas energéticas, e conseqüente aumento do preço do alumínio, como será discutido adiante.

No Brasil, as latas de aço detêm cerca de 25% do mercado de embalagens. Seu domínio está nas latas de óleo de cozinha, conservas, leite e derivados, tintas, produtos químicos, óleos lubrificantes, tampas metálicas e outros produtos, somente 0,1% delas são usadas para latas de bebidas [Cempre, Ficha técnica nº 5, 1997]. A demanda por embalagens mais modernas e convenientes do ponto de vista do consumidor trouxe a Reynolds Metals em 1989, com a instalação da primeira fábrica de latas de alumínio brasileira - LATASA (Latas de Alumínio S.A) formada pela Reynolds International do Brasil (42,5%), pelo Bradesco (42,5%) e pelo banco J.P Morgan (15%). A empresa possuía capacidade para produzir 800 milhões de latas por ano em 1989, mas em 1998, devido às sucessivas ampliações e incorporação de novas técnicas sua capacidade nominal aumentou para aproximadamente 6 bilhões de latas por ano.

O crescimento no setor de embalagem consolida-se devido à facilidade de conformação desse metal, permitindo deformação plástica profunda, com altíssimo índice de produtividade. Podendo alcançar espessuras muito finas, como por exemplo, 0,02mm para folhas e 0,17mm para as latas. O baixo peso específico, a alta condutibilidade térmica e elevada resistência à corrosão, permite a sua utilização em utensílios domésticos. As latas de bebidas, formadas por duas peças básicas: corpo e tampa, apresentam ainda as seguintes vantagens:

- O fundo de uma lata se encaixa na tampa de outra, dando possibilidade de perfeito empilhamento, possibilitando o armazenamento seguro;
- O anel de fechamento é retido na tampa após a abertura, evitando seu descarte, diminuindo a quantidade de resíduo e acidentes de manuseio.
- O interior da lata recebe um spray, que evita o contato direto do alumínio com o líquido;
- A tinta (estampa), o verniz externo e o revestimento de proteção interno, representam em média, 2% do peso total de uma lata pronta vazia.
- Cada lata pesa, em média 16 gramas, o que faz diminuir os custos com transporte;

- Ao contrário de outras embalagens, a lata de alumínio não quebra, não enferruja e também mantém inalterado o sabor da bebida;
- A condutibilidade térmica elevada permite a refrigeração mais rápida, e conseqüente diminuição do consumo de energia.

Além disto outras características de processamento, e novos desenvolvimentos tecnológicos propiciaram o desenvolvimento de sistemas de injeção de nitrogênio líquido em bebidas não carbonatadas, proporcionando resistência mecânica à lata por meio de pressão exercida internamente (efeito do gás carbônico nas bebidas carbonatadas). Um outro desenvolvimento é o controle preciso do nível e da pressão de enchimento além da própria qualidade da lata, que possibilitou um novo tipo de envernizamento capaz de resistir a temperaturas de esterilização de 121^o C [Gatti, 1997].

2.5. Reciclagem das Latas de Alumínio

Em 1968, a Reynolds Metals inaugura nos Estados Unidos o primeiro “Recycling Center” com capacidade para reciclar meia tonelada de latas de alumínio vazias. Neste período, com um quilo de alumínio reciclado era possível fazer 42 novas latas de 350ml. Em 1995, a indústria conseguia produzir 62 latinhas novas com a mesma quantidade de material, tendo aumentado a produtividade em 47%. No mesmo período cerca de 10 milhões de americanos participavam ativamente dos programas de coleta. A empresa opera nos EUA mais de 1500 postos de coleta de latas de alumínio vazias [LATASA, Recy News, 1995].

Em 1991, foi a primeira a lançar, no Brasil, um programa de reciclagem para as latas de alumínio, na tentativa de popularizar a reciclagem da lata, e conscientizar a população a respeito da importância da atividade. Em cinco anos, foram coletadas mais de 22 mil toneladas (1460 toneladas mensais, em média) com a participação de 1,2 milhão de pessoas, contribuindo para o total reciclado de 2,5 bilhões de latas por ano [Cempre, Ficha técnica n° 4, 1997]. Esta atividade envolve mais de 2000 empresas de sucata, de fundição secundária de metais, transportes e

crescentes parcelas da população representando todas as camadas sociais: dos catadores (trabalhadores informais que separam e retiram materiais recicláveis nos lixões e aterros sanitários) até as classes mais altas, além de mais de 100 postos de troca espalhados por supermercados do Rio de Janeiro, São Paulo, interior de São Paulo e Minas Gerais [LATASA, 1995].

Hoje existem 4 empresas fabricantes de latas de alumínio no Brasil: a Reynolds LATASA com 3 plantas para fabricação de latas e 1 planta para refusão das latas usadas; a American National Can (ANC) (maior fabricante e comercializadora de latas e tampas “easy - open” de alumínio conformadas e estiradas e também uma das maiores empresas de reciclagem do mundo), a Crown Cork e a LATAPACK BALL.

Apesar de ser um dos últimos países a implantar a coleta seletiva, atualmente, o Brasil é um dos líderes mundiais em Reciclagem de latas de alumínio, destacando-se de países com tradição de mais de 20 anos no assunto como Alemanha, França, Inglaterra, Itália e Austrália. Está próximo ao Japão, o maior reciclador de latas com um índice de 75% em 1997 (percentagem representada pelo total de latas utilizadas na reciclagem em relação ao total de latas fabricadas no período).

Em 1998 o índice de reciclagem no Brasil alcançou o nível de 65% contra 40% em 89, quando se iniciou a reciclagem na LATASA - Latas de Alumínio S/A, com capacidade de produção de 800 milhões de unidades de latas por ano. Sucessivas ampliações e incorporação de novas técnicas elevaram a produção em 1973 para 1,7 bilhão de unidades de latas por ano. Instalações de outras unidades industriais (American National Can do Brasil LTDA, Crown CORK, e LATAPACK – BALL Embalagens Ltda), elevaram a produção em 1998 para 8,47 bilhões de unidades de latas por ano. Um índice de reciclagem de 65% significa que anualmente, num total de 8,47 bilhões de unidades de latas de alumínio produzidas em 1998, são recuperadas pela indústria 5,5 bilhões de unidades de latas de alumínio vazias e um volume que ultrapassa 82 mil toneladas de sucata. Os dados estatísticos de reciclagem relativos ao Brasil baseiam-se em levantamento que considera basicamente o consumo de sucata de latas das principais empresas recicladoras do metal e a disponibilidade de latas no mercado [ABAL, 1999].

Na realidade a reciclagem de latas tem maior destaque no dia a dia das pessoas porque a lata de bebidas é um produto que se torna sucata muito rápido, se comparado a um outro produto de alumínio, como por exemplo, uma panela ou antena de TV. Com relação aos dados de reciclagem no Brasil é possível inferir que existe uma crescente conscientização da população em relação à necessidade da reciclagem para melhoria do meio ambiente. Isto também pode ser provado através do aumento do número de municípios que aderiram ao programa de reciclagem e de coleta seletiva, num total de 81 cidades localizadas em 17 estados do país conforme pesquisa realizada pela Ciclosoft 1994.

A figura 2.2 mostra a evolução do índice de reciclagem de latas de alumínio, desde 1991 até 1998, considerando o Brasil e os principais países recicladores.

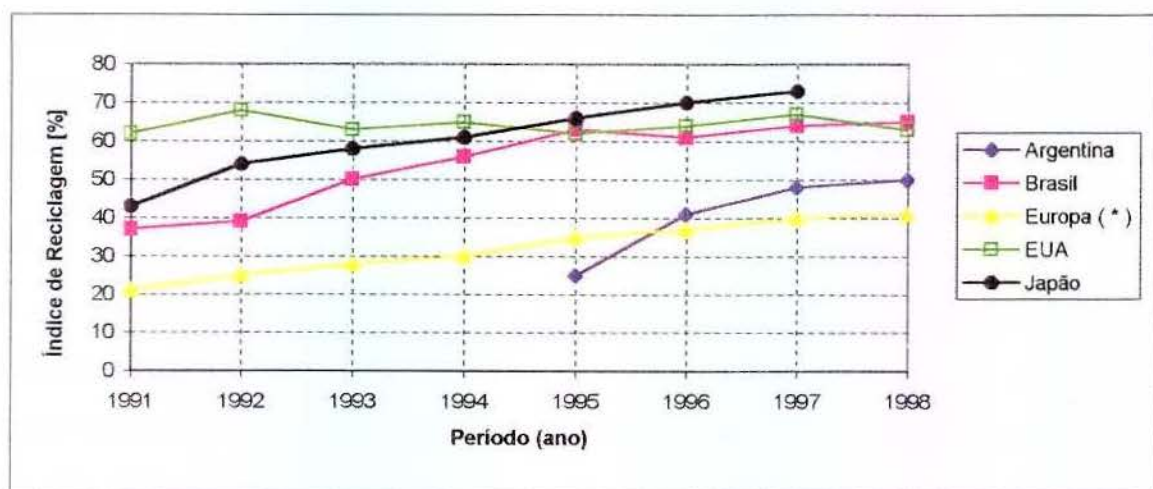


Figura 2.2) Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio. Fonte: ABAL, The Aluminium Association, Aluminium Can Recycling, Japan Aluminium Federation, Câmara Argentina del Alumínio y Metales Afines (* - média européia) [Anuário Estatístico da ABAL, 1998].

A previsão é que até o ano 2000, os brasileiros consumam mais de 9 bilhões de latas por ano, daí a importância da necessidade de investimentos em: programas de divulgação de sistemas de coleta seletiva; programas de investimentos em infra-estrutura para prensagem, manuseio e transporte das latas compactadas ao centro de reciclagem; programas de desenvolvimento de tecnologias mais modernas para fundição das sucatas de latas e programas para a preservação do

meio ambiente [Giosa, 1996]. Grandes empresas como a ALCAN e LATASA possuem seus próprios centros de reciclagem, ambas com capacidade de processar cerca de 40 mil toneladas por ano [ABAL, 1999].

2.6. Viabilidade Econômica do Processo de Reciclagem

Para se garantir a sustentabilidade econômica da reciclagem, deve-se levar em consideração:

- Custo da separação, coleta, transporte, armazenamento e preparação do resíduo antes do processamento;
- Quantidade de material disponível e condições de limpeza;
- Proximidade da fonte geradora com o local onde será reciclado o material;
- Custo do processamento do produto;
- Características e aplicações do produto resultante;
- Demanda do mercado para o material;

Segundo Sabetai [1998], a viabilidade econômica deve ser vista sob o aspecto Macroeconômico a fim de incentivar tanto o poder federal, estadual, municipal quanto à população e setores privados na ampliação do desenvolvimento do processo de reciclagem no país, principalmente nos setores de embalagens.

Com o crescimento acelerado da indústria do alumínio e com a crise mundial (energética e de capital) entre 1960 e 1970, os custos de energia se elevaram muito, encarecendo a produção deste metal a partir da bauxita (minério responsável pela produção do alumínio primário). Cabe ainda salientar que as reservas de bauxita, segundo Cameron [1986], tem duração estimada em cerca de 50 a 100 anos se o consumo continuar alto. A cotação deste metal pela LME - London Metals Exchange (figura 2.3) na bolsa de valores de Londres tem aumentado muito, tornando-se alvo de especulações e variações de preços devido o crescente aumento das tarifas energéticas (figura 2.4), devido ao preço do petróleo e de capital. Desta maneira, torna-se impossível à

estabilidade nos preços do alumínio primário e suas ligas [Monte, 1995], razão da necessidade do desenvolvimento de novas metodologias para processos de fabricação e alternativas para obtenção de matéria-prima básica em substituição da matéria-prima virgem; o alumínio primário.

Com relação à cotação no Brasil, o metal passa de 1227,00US\$/t para 1730,00US\$/t, um aumento de 40% no preço. Apesar de o preço voltar a se estabilizar em fevereiro de 1999 na casa dos 1400US\$/ton, a volatilidade dos mercados internacionais demonstram a necessidade de implementar alternativas à compra do alumínio primário. A reciclagem do alumínio surge como uma das alternativas para a solução deste problema em termos de sua contribuição para redução de consumo de energia e diminuição da extração de minério bruto (bauxita): a cada 1 ton de alumínio reciclados significam 5 ton de minério bruto poupados e a conseqüente queda de preço do produto final (transformados), além da contribuição na preservação do meio ambiente.

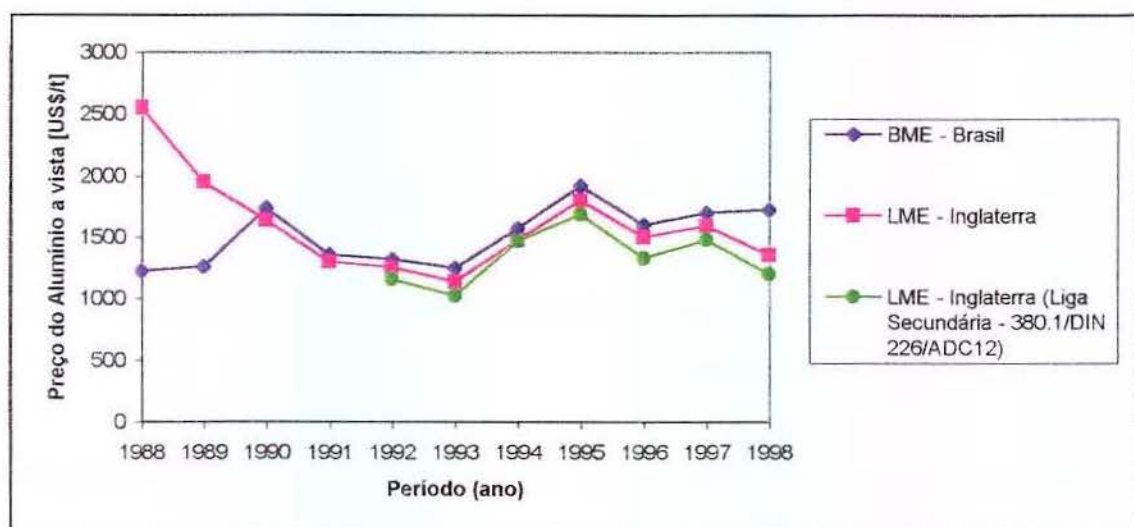


Figura 2.3) Evolução dos preços de alumínio [Anuário Estatístico da ABAL, 1998]
 LME: London Metal Exchange; metal 99,7% (High Grade)
 BME: Brasil Metal Exchange; metal 99,7% (High Grade).

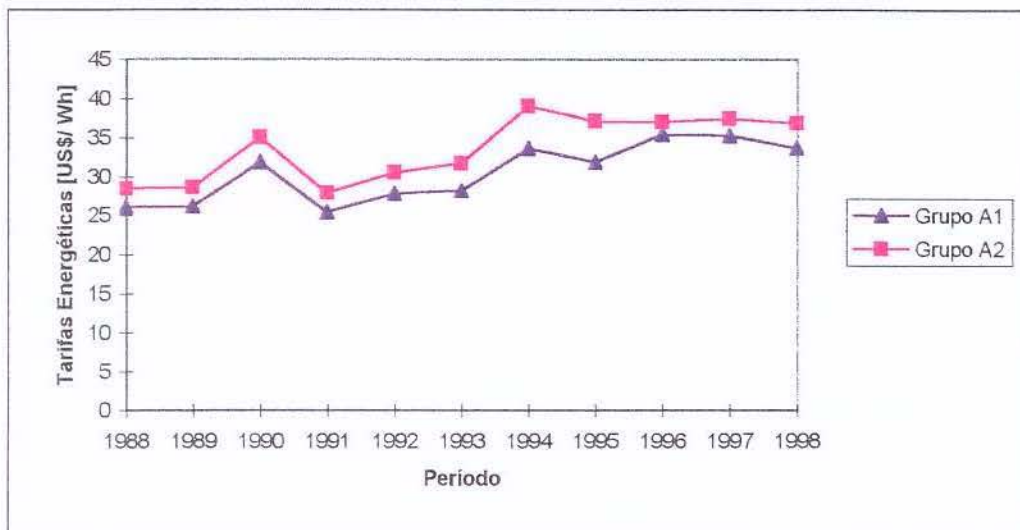


Figura 2.4) Evolução da tarifa Energética no Brasil [ABAL, 1998].

Grupo A1 corresponde aos consumidores de 230KV ou mais e o Grupo A2 corresponde aos consumidores com tensão de 88KV a 138 KV

Para se produzir 1 tonelada de alumínio industrializado gasta-se 17600 KWh de energia elétrica; entretanto, para se produzir esta mesma quantidade a partir da reciclagem das latas de alumínio gasta-se apenas 750 KWh, equivalente a uma economia de 95%. Nestes últimos vinte cinco anos, desde que iniciou a reciclagem, a Reynolds LATASA economizou mais de 21 bilhões de KWh de energia elétrica. O balanço energético totalmente favorável faz das latas de alumínio um excelente produto para a reciclagem [REYNOLDS LATASA, 1995].

Para se ter uma idéia da queda de preço do produto final obtido a partir de matéria-prima reciclada, a Tabela 2.3 mostra a diferença entre os preços do alumínio primário e da sucata de alumínio, no mês de fevereiro de 1999.

Tabela 2.3) Comparação entre os preços do alumínio primário e a sucata:

Produto	Mercado Interno (US\$/ton)	Mercado Externo (US\$/ton)
Alumínio Primário	1394,00	1205,00
Sucata de Alumínio		
Estamparia tipo B	622,00	938,00
Chaparia	529,00	713,00
Latas a Granel	477,00	560,00

Fonte: Gazeta Mercantil, Fevereiro de 1999.

Os preços vistos na Tabela 2.3, referentes à compra da sucata de alumínio no mercado interno em relação à compra no mercado externo, comprova que uma das razões da crescente evolução da reciclagem de alumínio no Brasil é a viabilidade econômica, uma vez que o preço da sucata representa menos da metade do alumínio primário. Talvez este baixo preço de venda de sucata de alumínio comparado aos demais países recicladores, vem do aumento do desemprego e do subemprego neste mesmo período.

Segundo Falcão [1999], mais de 100 mil pessoas vivem no Brasil exclusivamente da coleta de latas de alumínio para reciclagem. Dependendo da região, ganham de um a três salários mínimos por mês. Essa diferença entre os preços de sucata no Brasil e outros países recicladores, acontece a despeito da falta de formalidade no mercado de reciclagem, onde não há parceria entre as indústrias de reciclagem de alumínio e os sucateiros, o que tornaria o setor de coleta seletiva mais profissionalizado e o mercado de sucata mais concentrado. Esta é, infelizmente, a razão do Brasil ter alcançado em 98 o recorde em reciclagem de latas de alumínio. Neste ano, 5,5 bilhões ou 65% do total de latas vendidas foram recicladas. Somente em Pernambuco, a Lanesa (fábricas de latas de alumínio), recupera cerca de 100% da matéria-prima utilizada. Nesta empresa a sucata é recolhida das ruas através de catadores e das entidades cadastradas no projeto escola. São 300 entidades, entre escolas, associações de moradores e de bairros, cadastradas ao programa permanente de reciclagem. São produzidas somente nesta empresa 750 milhões de latas por ano [Falcão, 1999].

Duston [1983] desenvolveu uma metodologia, para análise e verificação da existência ou não de uma diferença positiva entre os ganhos econômicos e os custos econômicos tangíveis do processo de coleta (seletiva ou não) e reciclagem (qualquer tipo de reciclagem). Com base em uma equação simples, compara o montante (G) alcançado com a venda dos materiais recicláveis (V) e o custo envolvido na coleta e separação de tais materiais (C). A equação inicial é a seguinte:

$$G = V - C \quad [1]$$

Onde:

G é o valor ganho com reciclagem;

V é valor de venda dos materiais recicláveis (vidro, latas de alumínio, papel e papelão);

C é o custo do processo de reciclagem. Refere-se aos custos de transporte, de armazenamento, de compactação e enfardamento para papel e metais, de trituração para vidro, de lavagem para vidro, metais e plástico, de beneficiamento (que varia conforme as circunstâncias de cada material selecionado). São também denominados Custos Incorridos. [Eigenheer, 1997].

Como na equação 1, não foram computados os custos evitados em função do processo de reciclagem, que se referem às despesas com aterros sanitários, incineradores, operações de coleta, transporte e transbordo devem-se ampliar o escopo da equação. Duston [1993], desenvolveu uma segunda fórmula que é usada atualmente:

$$G = V - C + E \quad [2]$$

Onde:

E são os custos evitados com o aterro, a incineração, o transporte e o transbordo e, eventualmente os custos envolvidos com a resolução dos problemas de disposição em locais inadequados como rios, terrenos públicos ou particulares, entre outros.

Calderoni [1998] adotou a metodologia de Duston, e desenvolveu uma terceira equação para a verificação da viabilidade econômica da implantação do processo de reciclagem, a qual inclui-se o ganho referente aos benefícios adquiridos na produção a partir da utilização de materiais recicláveis sob o ponto de vista de quem vende (V_1) e de quem compra (V_2). O trabalho incluiu também os custos envolvidos na coleta e separação de tais materiais (C), os custos evitados (E), os ganhos decorrentes da economia de energia elétrica (W) e de matéria-prima, os ganhos advindos da redução dos custos com controle ambiental (A) e consumo de água (H), e ainda a rubrica “outros” considerados como sendo de difícil mensuração (D). Tem - se, portanto, a seguinte equação:

$$G = V_1 - V_2 - C + E + W + M + H + A + D \quad [3]$$

Onde:

G é ganho com o processo de reciclagem;

V_1 é o valor ganho para quem vende os materiais recicláveis (positivo);

V_2 é o valor para quem compra os materiais recicláveis (negativo);

Sob ponto de vista macroeconômico, no entanto, se for adotada uma visão de conjunto do processo de reciclagem, não se pode incluir um valor de venda, porque se alguém da sociedade está vendendo, alguém desta mesma sociedade está comprando pelo mesmo preço, logo o “lucro social” é nulo. Por exemplo, se uma firma A (ou agente de governo) vende e uma firma B (ou agente de governo) compra, a sociedade não lucrou nada em termos líquidos. Todavia, V_1 só seria diferente de $-V_2$ no caso de exportações ou importações, fatores que não ocorrem neste caso. Para o caso deste trabalho em específico, adotando-se o pressuposto que não casos de importação/exportação de sucata de alumínio no e pelo Brasil, a somatória $V_1 - V_2$ será considerada nula. Somente os procedimentos que podem ser evitados devem ser, portanto, considerados, como é caso de C, E, W, M, H, A, D . Pode-se agora detalhar cada item:

W são os ganhos decorrentes da economia no consumo de energia (KWh), partindo do fato que a produção a partir de materiais recicláveis requer menor quantidade de energia do que a produção a partir de matéria-prima virgem.

M são os ganhos decorrentes da economia de matérias-primas. Advém do fato de que elas já estão contidas nos materiais recicláveis, reduzindo assim a exploração de recursos naturais para obtenção da bauxita, barrilha, resinas termoplásticas e importação de matéria-prima como o petróleo. Calderoni [1998];

H representa os ganhos decorrentes da economia dos volumes de água consumidos no processo produtivo a partir de materiais recicláveis, (aplica-se principalmente no setor de papel);

A representa os ganhos decorrentes da redução dos custos com o controle ambiental ligados a poluição do ar e água;

D finalmente, refere-se a outros ganhos econômicos decorrentes da reciclagem, como alongamento da vida útil dos equipamentos, redução de dispêndios com saúde pública, gasto com divisas para o caso matérias-primas importadas (petróleo, insumos para fabricação de vidros e metais), poluição do meio ambiente, danos decorrentes com esgotamento de recursos naturais, desflorestamentos, desgastes do solo, geração de empregos urbanos entre outros. [Eigenheer, 1997 e Vargas, 1991]. Pode-se notar que os ganhos indiretos colocados aqui são extremamente difíceis de serem mensurados.

Como já demonstrado e exemplificado pela Figura 2.4, pode-se agora analisar os ganhos representativos da reciclagem para vários materiais. A Figura 2.5 ilustra comparativamente o ganho energético para a obtenção de novos produtos a partir da matéria-prima reciclada;

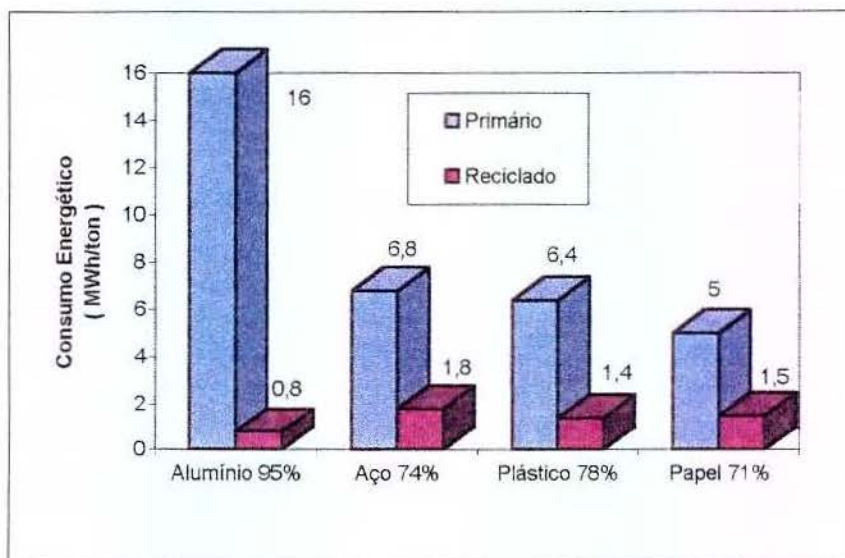


Figura 2.5) Rendimento energético comparativo obtido com a utilização de material reciclado Calderoni [1998].

Analisando-se tais ganhos tem-se:

- Alumínio: ganho de 95%. Para se produzir uma tonelada de alumínio partindo-se da bauxita gasta-se 17,6 MWh, para reciclar a mesma quantidade gasta-se apenas 0,75 MWh.
- Aço: ganho de 74%. Na produção de uma tonelada de matéria-prima virgem (ferro-gusa) gasta-se 6,84 MWh, caindo para 1,78 MWh ao produzir a mesma quantidade a partir da matéria-prima reciclada.
- Plásticos (Termoplásticos): ganho de 78,7%. Na produção de uma tonelada de matéria-prima virgem como Polietileno de baixa densidade (PEBD), Polietileno de alta densidade (PEAD), Poliestireno (PS), Policloreto de Vinilla (PVC), polipropileno (PP), Politileno-trefalato (PET) e outros tipos de termoplásticos (materiais que podem ser reprocessados várias vezes) gastam-se em média 6,74 MWh, caindo para 1,44 MWh ao produzir a mesma quantidade utilizando matéria - prima reciclada;
- Papel: ganho de 71%. Na produção de uma tonelada de matéria-prima virgem (celulose de fibras curtas, celulose de fibras longas e pasta de madeira) gasta-se em média 4,98 MWh e a partir de aparas 1,47 MWh.

- Vidro: ganho de 13%. Na produção de uma tonelada de matéria-prima virgem (barrilha, feldspato e calcário) gasta-se 4,83 MWh, caindo para 4,19 MWh ao produzir a mesma quantidade a partir de matéria-prima reciclada: cacos de vidro.

Com a reciclagem, também se reduz bastante a emissão de gases e efluentes ao meio ambiente oriundos dos processos de obtenção da matéria-prima original. Para o caso da reciclagem do alumínio obtém-se uma economia de 97% para os custos de tratamento da água e de 95% para o tratamento do ar, como mostra a Tabela 2.4 extraída de Calderoni [1998].

Tabela 2.4) Índice de redução da poluição obtido através dos processos de reciclagem*.

Materiais Recicláveis	Redução de Custos	
	Água (%)	Ar (%)
Latas de Alumínio	97	95
Latas de Aço	76	85
Vidro	50	20
Papel	35	74

*) Fonte: Calderoni [1998] e Pwelson [1992].

Calderoni [1998] mostrou através da equação [3] que a economia resultante da reciclagem do lixo em 1996, no Brasil, poderia ser estimada em, ao menos, R\$ 5,8 bilhões. A Tabela 2.5 mostra que deste total, foi obtida economia de R\$ 1,2 bilhões com a reciclagem dos resíduos sólidos: papel, vidro, latas de alumínio, latas de aço e plástico, tendo sido perdidos, pela não reciclagem R\$ 4,6 bilhões. Tem-se da Tabela 2.5 que a matéria-prima é o principal fator para a viabilidade econômica do processo de reciclagem, respondendo por 71% do total e 62% para o valor realmente obtido. O segundo fator é a economia de energia elétrica, contribuindo com 23% do custo total e 29% do custo realmente obtido.

Tabela 2.5) Estimativa da economia resultante dos processos de reciclagem no Brasil em 1996*.

Economia	G	+ V ₁	- V ₂	- C	+ W	+ M	+ H	+ A
Possível	5.835,9	1.273,3	1.273,3	382,0	1.338,9	4.170,7	704,0	4,5
Obtida	1.191,6	363,3	363,3	109,0	340,3	735,6	223,9	0,8
Perdida	4.644,5	744,4	744,4	273,0	998,6	3.435,1	480,1	3,7

*) Em R\$ milhões. Fonte: Calderoni [1998].

A partir desses resultados, conclui-se que a indústria é que mais ganhos auferir com o processo de reciclagem, por isso apresenta grande interesse em preservar e ampliar suas vantagens. Os seguintes aspectos são relevantes:

- A economia de matéria-prima e energia;
- A redução do consumo de água e diminuição de seus custos com o controle ambiental exigido pela legislação e pelos órgãos ambientais como ISO 14000, British Standards (BS-7750-Especification for Environmental Management Systems), EMAS (European Union's Eco- Management and Audit Scheme) e CSA Z750 (Canadian Standards Environmental Management Program);
- Aumento da vida útil de equipamentos. Razão para grandes esforços por parte das indústrias Brasileiras beneficiadas, no crescente desenvolvimento da Reciclagem, mesmo sem a participação ativa do poder público (Federal, Estadual e Municipal) como é o caso das Indústrias de alumínio.

Capítulo 3

Processos de Reciclagem do Alumínio

Para um bom desempenho e otimização do processo de reciclagem de latas de alumínio para a fabricação de chapas e transformação em novas latas, a planta de fundição das indústrias recicladoras deve se utilizar métodos que evitem desperdícios, minimize a taxa da perda na fusão e os custos de produção. Para isso, as seqüências de operações inter-relacionadas ao processo de reaproveitamento e transformação do material coletado (sucatas de latas de alumínio) devem ser avaliadas continuamente de modo a permitir a produção de uma liga de alumínio de boa qualidade e que atenda as necessidades do cliente.

O entendimento do sistema de processamento em termos de reconhecimento da importância de cada *insumo* e a determinação correta de seu controle são primordiais para fornecer os resultados esperados. O objetivo deste trabalho é mapear o processo de reciclagem como um todo para se estabelecer quais são estes *insumos* e como melhor controlá-los. Este enfoque antecipa problemas e previne-os antes que eles realmente ocorram [Ishikawa, 1993].

Segundo Scherkenbach [1994] para que haja um bom desempenho do processo é preciso concentrar-se nos inputs (insumos/suprimentos) de cada processo e não somente nos outputs (resultados) e na maneira como usamos equipamentos e pessoas, operando segundo padrões e procedimentos específicos, que devem ser determinados pelas exigências do cliente [Walker, 1991].

3.1 -Aspectos Fundamentais

O Processo de Reciclagem das latas de alumínio para bebidas será definido como sendo o conjunto de operações (etapas) específicas empregadas para garantir qualidade do processo e a homogeneidade do material reciclável (embalagens: latas de alumínio) durante a transformação (por refusão) em matéria-prima (chapas de alumínio) para produção de novos produtos (latas novas).

Em geral o processo de reciclagem, possui uma série de etapas inter-relacionadas:

- a) Coleta seletiva: separação prévia (manualmente) do lixo domiciliar de materiais passíveis de reaproveitamento. Em outras palavras, é a separação dos materiais orgânicos (restos de comida) de todo material inorgânico, com o intuito de evitar contaminações, e garantir a homogeneidade do material a ser reciclado; condições essenciais para o sucesso do processo de reciclagem. Esta é uma das etapas primordiais para o desenvolvimento e a qualidade do processo de reciclagem.
- b) Triagem: separação mais detalhada da matéria-prima a ser reciclada, mesmo que tenha havido uma prévia separação nos domicílios. Como classificação dos materiais separados na coleta seletiva, acondicionamento em recipientes apropriados e identificação por classes (vidro, papel, papelão, plásticos, latas de aço, latas de alumínio e materiais orgânicos). Esta Etapa pode ser feita pela própria comunidade ou em Centros de Triagem/Reciclagem. Considerada a mais importante, porque é através dela que irá garantir a qualidade do material a ser reciclado, evitando assim as contaminações e impurezas. Muitas vezes essas contaminações, podem ocorrer em consequência da

sabotagem através da adição de materiais (principalmente chumbo e ferro) com o intuito de aumentar o peso e o lucro, na operação de venda de sucata.

- c) Preparação: consiste em etapas intermediárias, onde os materiais após a triagem submetem-se a limpeza, prensagem, e enfardamento. A partir daí, os fardos são preparados para serem transportados às indústrias recicladoras.
- d) Beneficiamento: preparação dos materiais para serem transformados em novos produtos. Consiste na abertura dos fardos, limpeza magnética, trituração, remoção das tintas e vernizes (no caso das latas), entre outros.
- e) Transformação: consiste em etapas para geração (transformação) como a fusão, o tratamento do material líquido, vazamento, solidificação e fabricação de novos produtos.

Estas operações formam o ciclo de reciclagem, que após a venda e consumo dos novos produtos pelos usuários finais, se reinicia continuamente.

O sequenciamento de operações para qualquer processo (de reciclagem ou não), tem como objetivo a padronização do desempenho do processo. A manufatura de produtos uniformes garante a qualidade sob produtividade em massa de produtos de baixo custo, capazes de satisfazer as necessidades e expectativas dos clientes (usuários ou receptores que sofrem o impacto do processo ou produto).

Nesta etapa a utilização de fluxogramas é considerada fundamental para a análise do desempenho do processo. Fluxograma é definido como as seqüências (fluxos) das diversas etapas/operações que constituem um determinado processo. Ele dá suporte à análise dos processos, tornando-se um método eficaz para o planejamento e a solução de problemas; devido sua representação gráfica facilitar a visualização das diversas etapas que compõem um determinado processo, permitindo ainda a identificação de pontos críticos capazes de guiar o aperfeiçoamento para a melhoria contínua do produto final [Oliveira, 1995].

3.2- Mapeamento do Processo

Como foi dito anteriormente, os produtos (resultados) são usados tanto por clientes internos como clientes externos durante o processo, e os insumos são recebidos de fornecedores internos e externos, conforme mostra a figura 3.1.

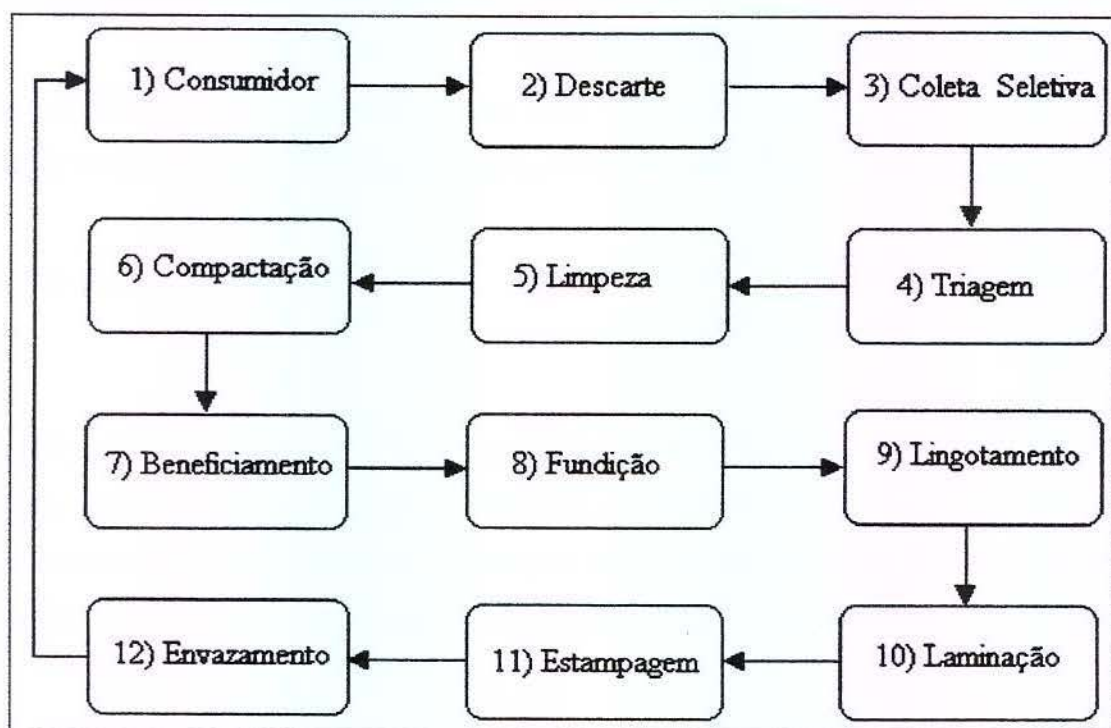


Figura 3.1) Fluxo de operações do ciclo de reciclagem das latas de alumínio [ABAL, 1999].

A figura 3.1 mostra as seqüências gerais do processo de reciclagem de latas de alumínio. O mapeamento é útil para adquirir uma visão geral do processo e identificar as principais etapas. O mapa detalhado documenta o que realmente acontece durante o processo, não o que o desenho, ou as instruções ou planilhas dizem que deve acontecer. Em suma o fluxograma facilita a visualização das diversas etapas de determinado processo, permitindo a identificação daqueles pontos que merecem atenção especial por parte da equipe de melhoria, dando suporte para o planejamento e soluções de problemas (resultados indesejáveis) [Oliveira, 1995].

O fluxo ideal ao longo de um processo deve ser o mais contínuo possível. Quanto mais próximo o processo estiver do fluxo contínuo, mais ele será equilibrado e sincronizado. Para que isso ocorra, as etapas são feitas exatamente no mesmo ritmo, criando equilíbrio do começo ao fim, dos insumos aos produtos do trabalho. A partir daí o processo será capaz de gerar resultados com rapidez e eficácia, atingindo as necessidades dos clientes.

O mapeamento do processo em termos do conceito de etapas com e sem valor agregado proporciona uma ferramenta a mais na análise de fluxo, pois permite identificar as etapas com maior valor agregado. O processo ideal é aquele em que todas as etapas agregam valor ao produto fabricado. A finalidade da análise do processo é identificar essas etapas que agregam valor. Para isso, se faz necessário:

- a) Definir e mapear o processo em estudo passo a passo.
- b) Medir quantitativamente algumas características-chave do processo.
- c) Identificar o fluxo ideal de processo.
- d) Analisar o processo com as ferramentas adequadas para descobrir como se aproximar do fluxo ideal.

Partindo deste princípio, traçar-se-á um fluxograma padrão detalhado para o Processo de Reciclagem de Latas de Alumínio para Bebidas, cuja meta é atender as especificações do cliente. Para que haja sucesso no reaproveitamento e transformação das sucatas de latas de alumínio vazias, faz-se necessário à utilização de uma seqüência de etapas otimizadas que garantam a qualidade do produto final.

A figura 3.2 ilustra um fluxograma padrão detalhado para o processo de reciclagem das latas de alumínio para bebidas. As seqüências de operações têm como fatores essenciais analisar: a viabilidade econômica, a homogeneidade e a qualidade do material e qualidade do processo assim como a preservação do meio ambiente, satisfazendo as exigências de fabricação. Neste trabalho dar-se-á uma maior importância para o processamento de reciclagem propriamente dita, ilustrada na Figura através da área pontilhada.

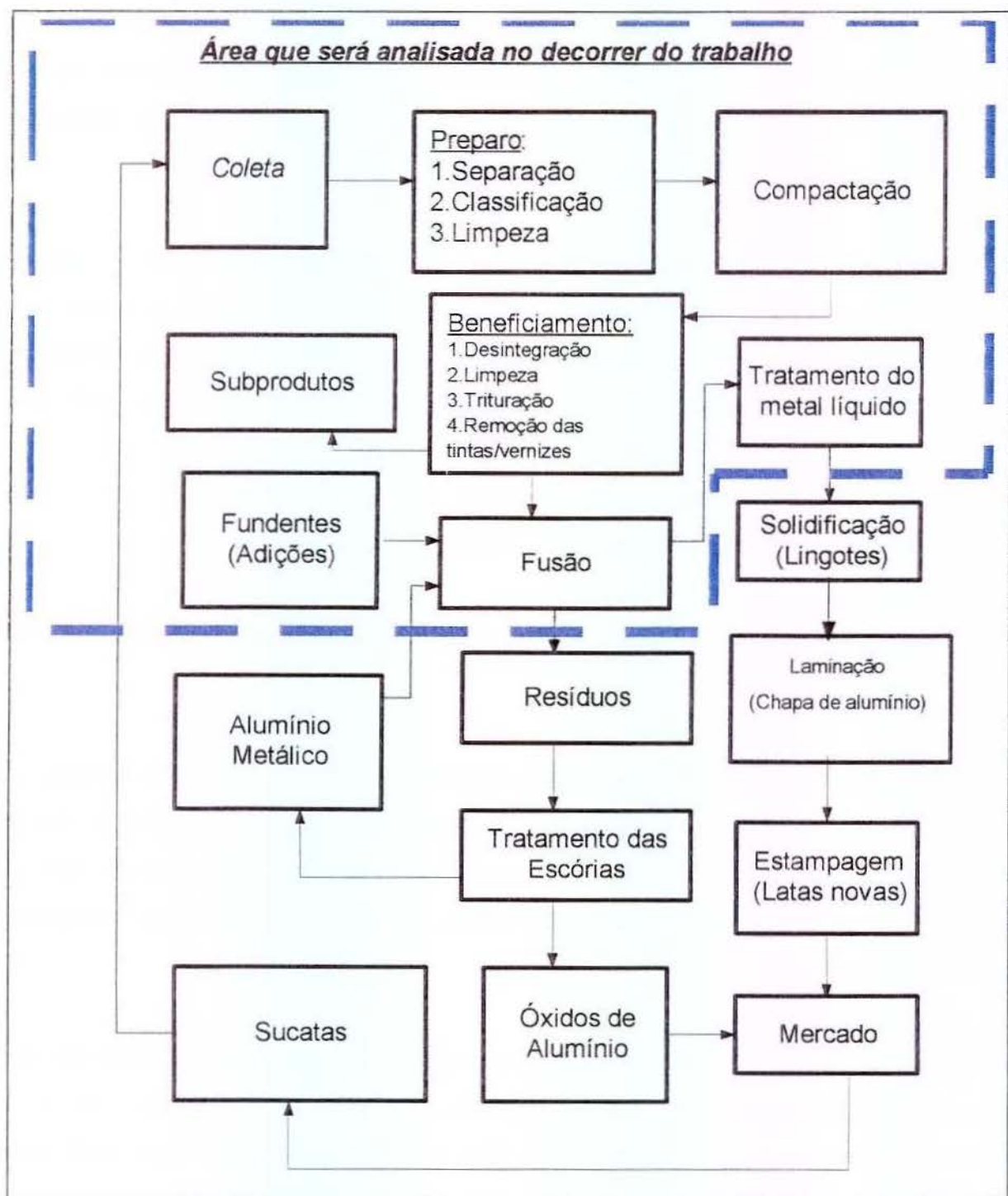


Figura 3.2) Fluxo detalhado de operações do processo de reciclagem das latas de alumínio
 Fonte: [ABAL, 1999 - Schaeffer, 1995].

Este fluxo de processo é utilizado na maioria das indústrias de transformação de alumínio nos seus países de origem: ALCAN, ALCOA, Reynolds Metals entre outras. Porém, no Brasil, as técnicas utilizadas tanto pela maioria dos sucateiros como pelas indústrias recicladoras de latas de alumínio ainda são precárias e obsoletas. A maioria dos sucateiros ainda não possui máquinas e equipamentos capazes de preparar sucata de latas em boas condições, a saber: prensas especiais para compactação das latas, máquinas para limpar as impurezas impregnadas nas latas vazias, equipamentos especiais para o transporte sem contaminação (chuva, poeira,...).

A maioria das fundições recicladoras utiliza fornos rotativos com sal de cobertura do banho metálico, conseguindo assim recuperar apenas cerca de 75% de alumínio. As latas descompactadas, após receberem um precário tratamento de limpeza são carregadas diretamente nos fornos de fusão sem nenhum tratamento prévio para remoção das tintas/vernizes, impurezas estas consideradas prejudiciais tanto ao rendimento metálico quanto na operação final de estampagem, podendo ocasionar sérios problemas de ruptura na conformação das novas latas e, sendo ainda responsável pela emissão de compostos orgânicos voláteis e dioxinas à atmosfera [Filleti, 1995] e [Filleti,1996].

Este trabalho visa determinar quais são esses fatores/parâmetros (causas) que poderão ser monitorados e ajustados com o objetivo de melhorar os resultados (efeitos). O objetivo é criar uma rotina simples de reconhecimento que possa auxiliar o controle num processo de reciclagem de latas de alumínio para bebidas. Inicialmente, definir-se-á alguns conceitos fundamentais neste processo, para se entender, estabelecer e descobrir uma forma de detectar e identificar as causas de maneira eficiente.

A metodologia de análise aqui empregada será a metodologia utilizada pelo TQM e mais conhecida como método de análise e solução de problemas (MASP). Esta é uma ferramenta extremamente simples, porém bastante eficiente no levantamento das causas e efeitos de um processo. Em conjunto com o fluxograma permite reavaliar e reestruturar qualquer processo

produtivo. O entendimento passará por todas as fases do sistema de reciclagem: as políticas básicas, os objetivos, os procedimentos de educação e padronização, dentro e fora da empresa recicladora. Ou seja, busca-se a sistematização de “*um sistema da qualidade*” para a reciclagem do alumínio. O objetivo é combater todas as fontes de perda, através da determinação de todas as causas das perdas de processo, para tanto se inicia pela definição das perdas de processo.

3.3. Formação de Escória e Perda na Fusão

Segundo Siegel [1976], quando ligas sólidas são fundidas, normalmente existem perdas por oxidação sob a forma de *dross* (são os fundentes adicionados ao banho mais o metal que permanece retido nestes fundentes e que fazem parte da escória). O *dross* é peculiar aos metais não ferrosos e ocorre devido à pequena diferença de densidade destes metais com relação às suas escória, ocasionando diminuição no rendimento metálico (eficiência na recuperação do metal, isto é, a relação entre o peso final de metal vazado e solidificado em moldes e o peso de metal carregado para a fusão).

Rooy [1995] define perda de metal na fusão como a diferença entre o peso da carga da matéria-prima e o peso da peça fundida. Esta definição não apresenta exatidão porque neste conceito não é considerada a perda de metal durante a formação de escória e em função das inclusões (óxidos oriundos da presença de materiais e gases estranhos ao metal que nada mais são do que impurezas que contaminam a liga durante o período de fusão). Esta análise também desconsidera a inclusão de elementos de liga, tempo de espera, vazamento, exposição e solidificação do metal. Segundo Carvalho [1996], a maneira mais simples e exata para definir perda na fusão (*Metal Loss*) é a partir da equação:

$$\text{Perda de Fusão (\%)} = 100 * (\text{Massa}_{\text{inicial}} - \text{Massa}_{\text{final}}) / \text{Massa}_{\text{inicial}} \quad [4]$$

Onde:

$\text{Massa}_{\text{inicial}}$ é a massa inicial da carga a ser fundida.

Massa_{Final} é a massa final da peça fundida.

Entretanto, o próprio autor conclui que a definição acima só se aplica para a refusão de sucata limpa e quando a escória gerada é vendida sem submeter-se a nenhum processo de recuperação do metal alumínio retido na escória. No caso da fusão de sucata de alumínio com índice de impurezas acima do especificado (>4%) e a utilização do alumínio recuperado da escória (através do processo de tratamento da escória) A perda na fusão passa a ser definida, a partir da equação:

$$\text{Perda Real (\%)} = 100 * (\text{Massa}_{\text{Inicial}} - (\text{Massa}_{\text{final}} + \text{Dross})) / \text{Massa}_{\text{Inicial}} \quad [5]$$

Onde:

Massa_{Inicial} é a massa inicial total da carga a ser fundida.

Massa_{Final} é a massa final da peça fundida.

Dross refere-se ao fundente (mistura de cloreto de sódio e cloreto de potássio) colocado para controle da oxidação, e que conterà alumínio retido ao final do processo.

Como é muito difícil a obtenção de valores exatos na literatura a respeito dos parâmetros que contribuem para a perda na fusão, estima-se que a taxa da perda de fusão real (equação 5) não deva ultrapassar 1,5% nos processos convencionais. Valores superiores a este representam perda excessiva. [Stewart, 1977].

Durante as operações do processo de refusão de sucata de latas de alumínio são adicionados certos fundentes que possuem características de proteger o banho metálico da extrema oxidação assim como proteger contra a dissolução de gases como nitrogênio e hidrogênio. Estes fundentes são a base daquilo que passará a ser chamado de escória. Possuem densidade inferior ao metal líquido e desta maneira permanecem na superfície do banho metálico.

A escória acaba, durante o processo, incorporando diversos compostos oriundos da: perdas de metal através da geração de óxido, nitretos e carbonatos de metal de elementos de liga presente no metal a ser reciclado, compostos diversos oriundos das inclusões não metálicas, compostos diversos oriundos da queima parcial ou total de vernizes e tintas, entre outros. A escória é formada pelo *dross* e pelo *skim*. [Rooy, 1995].

A escória forma uma camada superficial protetora pouco permeável e de alta resistência, que protege a superfície metálica de novas oxidações resultante da oxidação superficial do alumínio. A alta afinidade entre o alumínio e o oxigênio, quando em contato com a atmosfera formam filmes (camadas) de óxidos na superfície do metal líquido [Chiaverini, 1986]. O desenvolvimento e a espessura desta camada protetora dependerá do tempo e da temperatura de oxidação, composição da carga a ser refundida, turbulência ou agitação durante o vazamento, e das condições ambientais durante o período que o metal fundido fica exposto a atmosfera.

Outro fator importante é o tipo de forno. Os fornos convencionais utilizados nos processos de reciclagem, em geral, são fornos do tipo rotativo com camada protetora de sais. Estes fornos são termicamente e ambientalmente ineficiente na recuperação do metal devido a produção intensa de escória, além de eliminar gases poluentes para o meio ambiente [Drouet, 1994].

A quantidade de geração de escória dependerá do tipo do processo de fundição, e geralmente representa de 1 a 5% do peso total da carga do forno de fusão. A escória ainda contém em média cerca de 50% do alumínio em forma de óxidos [Drouet 1995]. Quantidades de escória entre 15kg a 25kg por tonelada são consideradas normais [Carvalho, 1996].

É importante ressaltar a distinção entre os dois resíduos sólido básicos que formam a escória: o *skim* e o *dross*. Enquanto que o resíduo *skim* é o resíduo sólido formado durante a fusão e a preparação das ligas a serem produzidas devidas basicamente à oxidação do metal [Filleti, 1995], o *dross* ou borra é o resíduo sólido formado basicamente pelos fundentes adicionados mais o metal pouco oxidado. A escória como um todo, logo após a sua retirada do

forno de fusão, submete-se ao tratamento de limpeza para extração do metal retido, visando diminuir a quantidade de resíduos sólidos [Rooy, 1995].

Enquanto que o metal existente no *skim* é bastante difícil de ser recuperado devido à total oxidação (está na condição estável) o metal retido no *dross* é mais fácil de ser recuperado, uma vez que a oxidação não é completa. Segundo Gwinner [1996] dependendo do tipo de processo de refusão das sucatas de latas de alumínio o *dross* pode ser classificado em:

- *Rich ou white dross*: é produzida quando na fusão de alumínio puro e não se utiliza quantidade muito grande de fluxos salinos. Geralmente apresenta-se na cor cinza. A quantidade de metal varia entre 15 a 80%.
- *Black dross*: é produzida quando a carga a ser fundida apresenta contaminações: fluxos salinos e outros metais. Sua coloração é bem escura por isso, o nome *black dross*. A quantidade de metal varia entre 5 a 20%, por causa da maior presença dos fluxos salinos.
- *Salt slag*: mistura de sais, óxidos e metais residuais. Geralmente é produzida no forno tipo tambor rotativo (*rotary barrel furnace*). É termicamente ineficiente na recuperação de metal num processo de reciclagem, além de eliminar gases voláteis para a atmosfera. Sua aparência é similar ao *black dross*, entretanto apresenta densidade menor e cerca de 5 a 10% de metal livre e de 15 a 30% de óxidos metálicos e sais [Rooy, 1995].

Tem-se, portanto, que o fator primordial na determinação da perda na fusão, é a quantidade de escória formada durante o processo, que deve ser controlada antes do forno, isto é, na seleção da carga a ser fundida. Apesar da carga de sucatas carregadas nos fornos ser limpa (isenta de impurezas), sempre ocorre à geração de escória durante o processo de fundição.

Segundo Carvalho [1996], dependendo do tipo e da qualidade da sucata, a escória pode conter quantidades apreciáveis de filmes de óxidos, que são distribuídos da seguinte maneira:

- 0,18% em média de uma carga qualquer a ser fundida consiste de filmes óxidos;
- 0,22% para carga de latas de bebidas que passou pela remoção química de tinta e verniz;
- 0,82% para carga de latas de bebidas que não passou pela remoção química;

Os filmes de óxidos são considerados um dos fatores principais que contribuem para perda na fusão.

3.4. Fatores que Contribuem para a Geração de Escória

Além dos filmes de óxidos contidos previamente na sucata da carga a ser fundida, há outros fatores que contribuem para a geração de escória e conseqüentemente a perda na fusão, tais como:

3.4.1 Oxidação do Metal Fundido.

Durante o processo de fundição são praticamente inevitáveis a formação de óxidos e sua incorporação pelo fluxo de metal líquido, pois, quando o metal quente interage com o meio ambiente resulta em produtos que se dissolve rapidamente no metal e difunde-se ao longo de seu interior, que tem como variável o tempo de incubação do metal líquido. Os principais parâmetros que impactam a taxa de oxidação são: umidade, contaminantes orgânicos, área superficial exposta, rugosidade superficial, composição da liga metálica, temperatura e tempo de exposição, natureza dos refratários do forno, seus produtos de combustão (CO_2 , CO , H_2O , SO_2 , N_2 , O_2), e a turbulência [Campbell, 1991].

Dentre esses parâmetros, Rooy [1995] afirma que a turbulência ocasionada durante o vazamento é a principal responsável pela formação de inclusões de óxidos. Esta oxidação é um dos fatores que diminui as propriedades mecânicas em peças fundidas, reduzindo a confiabilidade neste tipo de processo de fabricação [Fuoco, 1997 - Campbell, 1991]. A redução da ductilidade na produção de chapas de alumínio, utilizadas na fabricação de latas para bebidas apresenta as seguintes conseqüências:

- Redução do alongamento e do limite de resistência;
- Redução da resistência ao impacto;
- Nucleação de eventuais trincas de fadiga em componentes sujeitos a esforços cíclicos;

As inclusões de óxidos mais comuns geradas nas ligas de alumínio são as do tipo:

- Filme de óxidos (alumina γ - Al_2O_3): camada fina e protetora formada a partir da oxidação superficial do banho metálico durante a etapa de fusão. Campbell [1990] esclarece que o desenvolvimento dos filmes de óxido varia em função do tempo que o metal líquido permanece em exposição (contato) com a atmosfera do forno, isto é, tempo de incubação (permanência) do metal líquido dentro do forno que varia proporcionalmente com velocidade de fusão. Este é um dos fatores que acarreta a formação de filme de óxidos. Estes óxidos são extremamente prejudiciais à ductilidade e a estanqueidade da peça fundida, devido à presença de trincas na microestrutura da peça após a solidificação. A formação destes óxidos pode ser melhor compreendida através da análise da Tabela 3.1.

Tabela 3.1) Formação de óxidos nas ligas de alumínio no estado líquido*.

Tempo de exposição	Espessura (μm)	Tipo de óxido formado	Descrição	Origem
0,01 a 1s	1	γ	Pequenos Fragmentos	Enchimento do molde
10s a 1min	10	γ	Filmes longos e flexíveis	Vazamento para panelas
10min a 10Hs	100	γ	Filmes densos e pouco flexíveis	Forno de fusão
10Hs a 10dias	1000	α	Placas rígidas	Forno de Espera

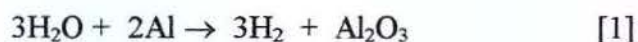
*) Fonte: Metal Casting, 1990.

- Pontos duros (alumina α - Al_2O_3), também chamados de córindum, são inclusões formadas a partir de filmes de óxidos, devido um longo período de incubação, isto é, são óxidos oriundos de um longo tempo de permanência do banho metálico dentro do forno de espera em altas temperaturas, formando-se aglomerados de óxidos. São chamados de óxidos velhos. Estes óxidos constituem pontos duros na microestrutura das peças fundidas, causando redução da usinabilidade e conseqüentemente quebra de ferramentas de corte. Geralmente este tipo de inclusão, é formado nos fornos ou panelas de espera alimentada por banhos contendo grandes quantidades de filmes de óxidos (banhos sem nenhum tratamento de limpeza) [Fuoco, 1997].

3.4.2 Taxa de Fusão (*Melting Rate*)

Segundo Carvalho [1996], a velocidade de fusão ou “*melting-rate*” é um fator essencial para a operação de refusão, e varia em função da espessura da sucata a ser fundida comparando-se materiais finos com espessos. O tempo de fusão para materiais finos como as latas de alumínio é cerca de 2 a 2,5 maior que o tempo necessário para a fusão de placas ou sucatas de grande espessura. Isto se deve a menor condutividade térmica entre os milhares de partes de peças de alumínio, pois o ar existente entre as pequenas partes atua como isolante.

A taxa de fusão deve ser máxima com o intuito de diminuir o tempo de aquecimento para diminuir e/ou impedir que o metal absorva hidrogênio a partir da umidade do ar ou da própria carga. O hidrogênio fica retido na forma de bolhas causando uma intensa porosidade nos lingotes e o oxigênio reage com o alumínio formando Al_2O_3 através da reação:



Segundo Campbell [1997], para que haja um maior controle dos gases emitidos (redução), e com isso evitando-se que o metal líquido absorva-os, principalmente o hidrogênio, a faixa de temperatura de fusão não deve ser alta, preferencialmente entre 700° - 750° C. A solubilidade do Hidrogênio aumenta muito após esta temperatura, como pode ser visto na Figura 3.3.

Outra preocupação é a cinética de oxidação para o alumínio líquido. Quanto maior a temperatura maior a quantidade de alumínio perdido devido à oxidação. Tenório [1995] demonstra o efeito da temperatura (na faixa entre 700° - 800° C) e do tempo na oxidação do alumínio, durante a refusão no corpo das latas de alumínio (liga AA3004). A cinética é dependente da formação do filme de óxido que ocorre quase instantaneamente na superfície do alumínio fundido. Quanto maior a temperatura maior a oxidação, como pode ser visto na Figura 3.4.

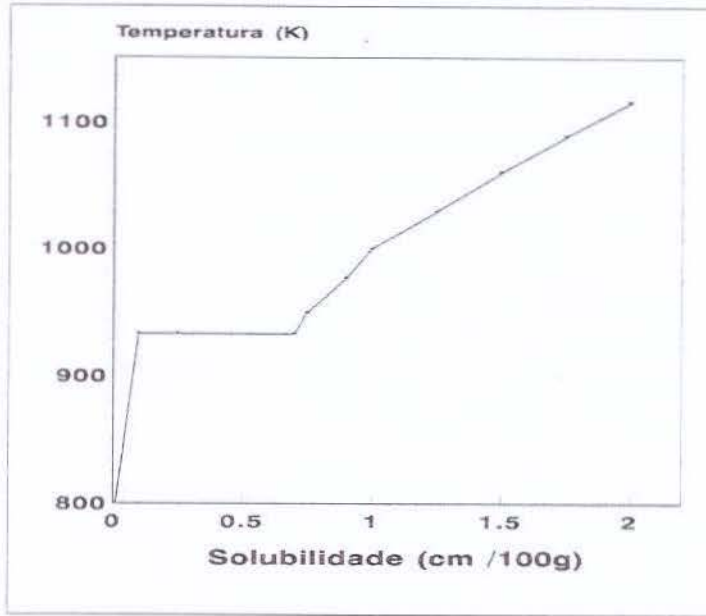


Figura 3.3) Solubilidade do hidrogênio em alumínio líquido, a 1 Atmosfera de pressão, em função da temperatura. [Dively, 1972].

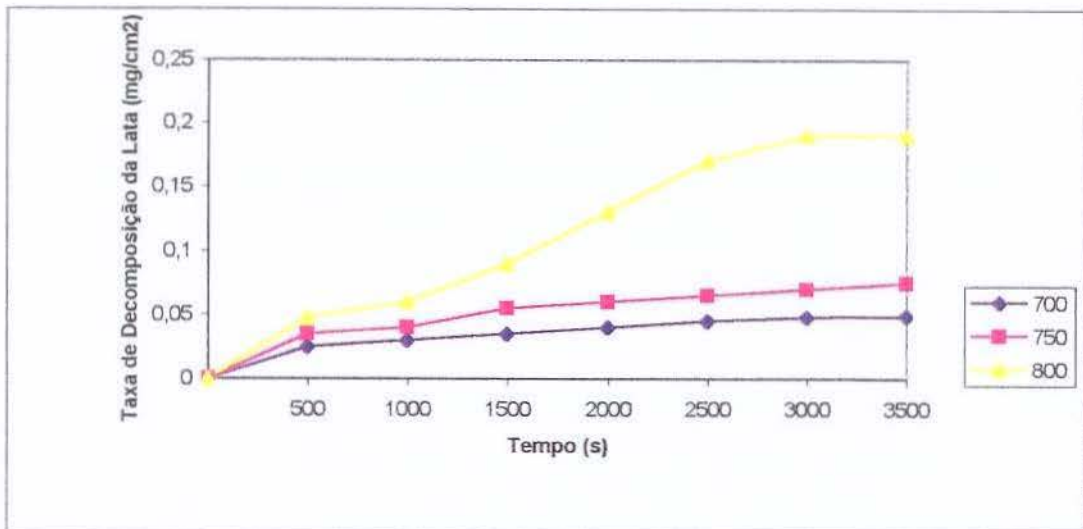


Figura 3.4) Efeito da temperatura e do tempo na oxidação da liga AA3004, Usada na fabricação do corpo da lata de alumínio [Tenório, 1995].

Exemplificando melhor o efeito da água no processo a Figura 3.5 fornece pistas a respeito do teor máximo permissível de vapor d'água no processo. Neste caso o vapor d'água é oriundo da queima do material orgânico na presença de oxigênio atmosférico.

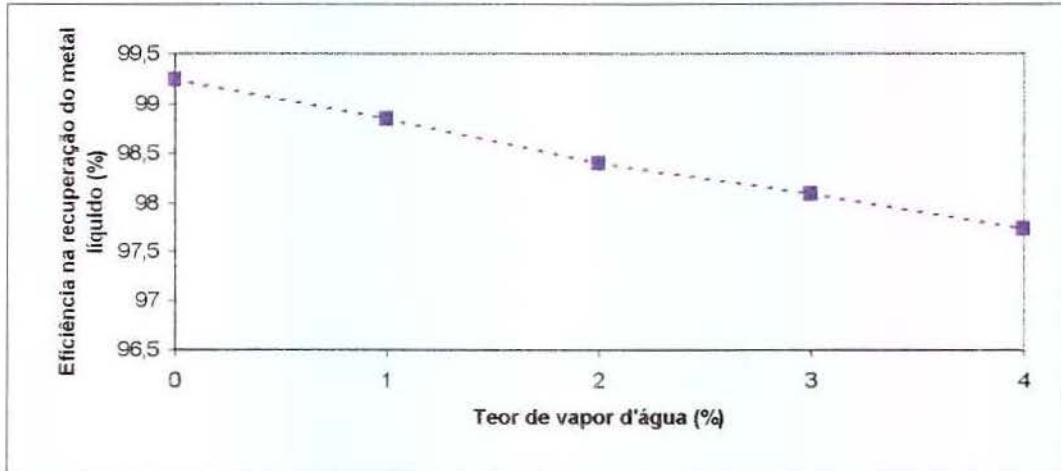


Figura 3.5) Efeito do vapor d'água na eficiência do processo de reciclagem de alumínio. Utilização de gás atmosférico na decomposição de materiais orgânicos [Tremblay, 1997].

3.4.3 Influência dos Elementos de Liga.

Segundo Chiaverini [1986] através do controle da composição química pode-se controlar as propriedades mecânicas finais e seu comportamento, dependendo da história termo-mecânica. Pequenas quantidades de elementos, denominados elementos de liga, são intencionalmente adicionadas a um metal na proporção de 0,01% a 2,0% em peso, a fim de melhorar as propriedades usuais ou obter certas propriedades específicas exigidas pelo cliente. Todavia, quantidades consideráveis de elementos de liga no metal líquido, geralmente auxiliam a formação de óxidos e conseqüentemente podem afetar as características finais. Em geral as ligas de alumínio possuem os seguintes elementos: ferro, cobre, zinco, silício, manganês e em menor proporção níquel, cromo, chumbo, lítio e titânio. [Campbell, 1997].

A presença do manganês ou sua adição tem um efeito neutro na taxa e formação de óxidos. As camadas de escórias geradas são finas, densas e firmemente aderentes. Porém, pequenas

adições como chumbo (>0,009%ppm) e lítio em ppm podem causar um grande aumento na formação de óxidos [Carvalho, 1996].

Teores crescentes de magnésio, elemento que apresenta maior afinidade pelo oxigênio que o próprio alumínio, também contribuem para a aceleração e aumento de oxidação. Ao se adicionar uma quantidade de aproximadamente 0,005 % em peso de magnésio à liga de alumínio implica a formação de uma camada superficial protetora de óxido durante o aquecimento e a fusão do metal conhecida como espinélio (spinel): $MgO \cdot Al_2O_3$ ou $MgAl_2O_4$, que na realidade são consideradas normais ao processo. Entretanto, quantidades superiores a 2% em peso de magnésio, acarretam a aceleração da formação do filme de óxido, levando ao aumento da espessura e conseqüente maior perda na fusão [Campbell, 1997]. A formação de espinélio ocorre quando o metal entra em contato com a atmosfera do forno de fusão durante o processo de combustão, como mostram as reações a seguir [Stewart, 1977]:



O óxido de magnésio em conjunto com o óxido de alumínio formado na reação 2 comporá o espinélio. É fundamental observar que a reação é dependente da existência de água no ambiente. Para evitá-la deve-se evitar qualquer fonte de água no processo.

O hidrogênio proveniente principalmente do vapor d'água contido na atmosfera do forno é absorvido pelo metal líquido (alumínio) a partir da reação 1, o magnésio absorve o hidrogênio liberado pelo processo de combustão mostrado pela reação 2. Com a elevação da e o tempo de exposição, o filme óxido tornasse cada vez mais espesso, ocasionando além da absorção do hidrogênio, a conseqüente inclusão de óxidos nas peças fundidas.

Existe ainda a adição de pequenas quantidades de certos elementos de liga de alto ponto de fusão, como boro, cromo, titânio e sódio chamados de refinadores de grãos, aliado ao fato de serem substâncias insolúveis no metal alumínio líquido atua como catalisador (acelerador) para a

nucleação, promovendo a formação de estrutura fina e homogênea. Esta condição é necessária para a obtenção de boas propriedades mecânicas, compatíveis com as condições de manufatura a que o produto se destina: chapas de alumínio para a fabricação de latas para bebidas [Siegel, 1976].

O titânio em pequenas quantidades (teores < 0,15%) adicionadas à liga de alumínio tem como efeito principal reduzir trincas de contração e aumentar a resistência e o alongamento das peças fundidas, características essenciais para a laminação de lingotes destinados a fabricação de chapas de alumínio para a estampagem [Campos, 1978]. Quantidades até 0,04% em peso de titânio formam lingotes com estrutura muito fina, através da formação do $TiAl_3$ que são partículas que agem como catalisador de nucleação de cristais de alumínio.

Segundo Oosumi [1995] quantidades de titânio acima de 0,04%, formam indesejáveis inclusões de óxidos (TiO_2) durante o processo de solidificação, essas inclusões são nocivas à qualidade da peça fundida. Este é um dos principais motivos para remoção (decomposição) das tintas e vernizes contidas no corpo das latas de alumínio. As tintas utilizadas no corpo das latas para bebidas têm como agente básico para pigmentação, quantidades significativas de TiO_2 , o que significa um aumento em peso de 0,24% no teor de titânio, que adicionados às outras impurezas derivadas das tintas e vernizes ocasionam a oxidação e contaminação do banho durante o período de fusão. Sem considerar a emissão de quantidades significativas de gases poluentes ao meio ambiente.

A eficiência na recuperação do metal a partir das sucatas de latas de alumínio sem tratamento prévio para a remoção das tintas e vernizes varia entre 75% a 80%, contra 95% do processo com o tratamento de remoção. [Oosumi, 1995]. Como visto anteriormente a reação de formação do espinélio, e conseqüentemente da oxidação excessiva é decorrente da presença de água.

3.4.4 Influência dos Compostos Orgânicos.

3.4.4 Influência dos Compostos Orgânicos.

A figura 3.6 ilustra outros resultados de ensaios realizados por Stevens [1997], para medir a redução na perda de metal durante a fusão em sucatas de ligas de alumínio de altas (AA5182) e baixas (AA3004) quantidades de magnésio, com e sem revestimento orgânicos (tintas e vernizes), para o caso de latas de bebidas. O objetivo é traçar o efeito dos compostos orgânicos para ambas as ligas uma vez que a presença destes compostos origina, após a queima, água e gás carbônico.

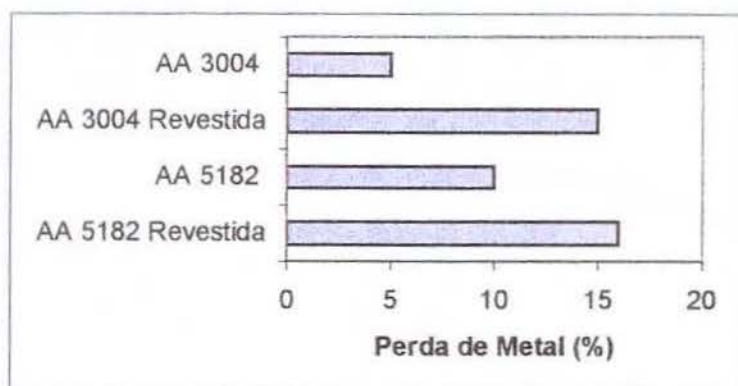


Figura 3.6) Influência da presença de magnésio e de revestimentos orgânicos na perda de metal durante fusão de sucatas de alumínio [Stevens, 1997].

3.4.5 Influência da Espessura da Sucata.

Na figura 3.7 observa-se que a perda na fusão, numa liga alumínio-magnésio AA4004, varia em função da espessura do material a ser fundido. Para uma placa com espessura igual a 19,05mm, a perda de metal na fusão aumenta proporcionalmente entre 0 a 2,5% de magnésio, permanecendo constante para uma quantidade superior a 2,5%. No entanto, para uma chapa com espessura igual a 0,5 mm, a perda de metal na fusão permanece praticamente constante [Stewart, 1977].

Outro fator a ser considerado é o tempo de permanência no forno. Quanto maior o tempo de permanência maior a perda por oxidação e ,portanto, um aquecimento rápido da carga total é imprescindível. Em geral, o tempo de permanência dentro do forno de queima deve estar entre 3 e 15 minutos dependendo do tipo do material, portanto, o tempo de permanência ideal para as latas de alumínio é de 4,5 min. Como exemplo, a Figura 3.8 ilustra a relação entre o tempo de aquecimento e a espessura do material até atingir uma temperatura de 550^oC. Os resultados obtidos foram registrados em dois tipos de fornos para a decomposição de materiais orgânicos.

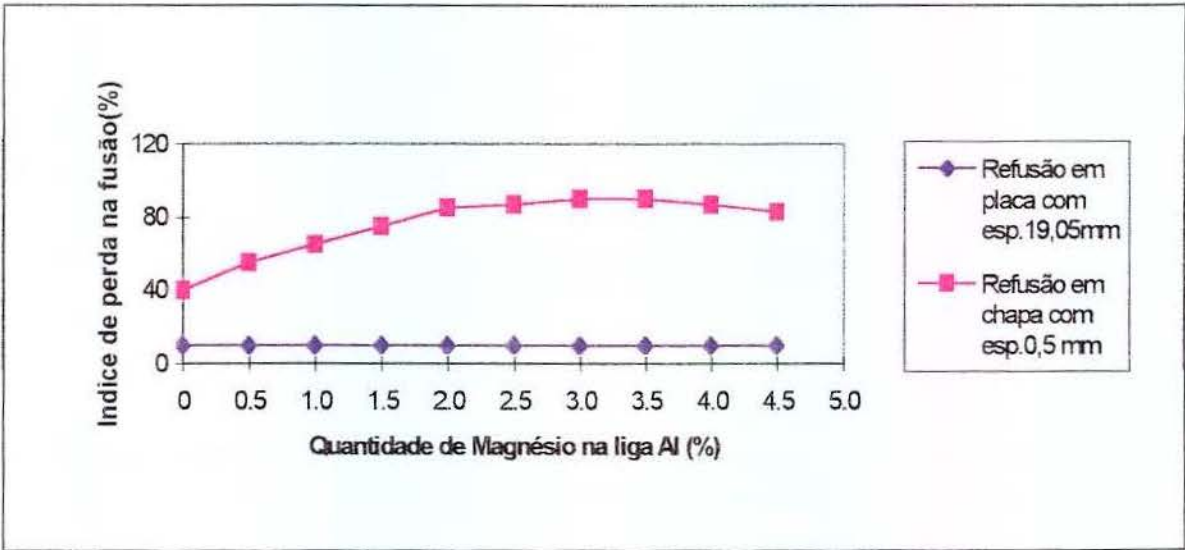


Figura 3.7) Influência da quantidade de magnésio na liga AL sobre a perda de Metal durante a refusão de sucata de alumínio [Stewart, 1977].

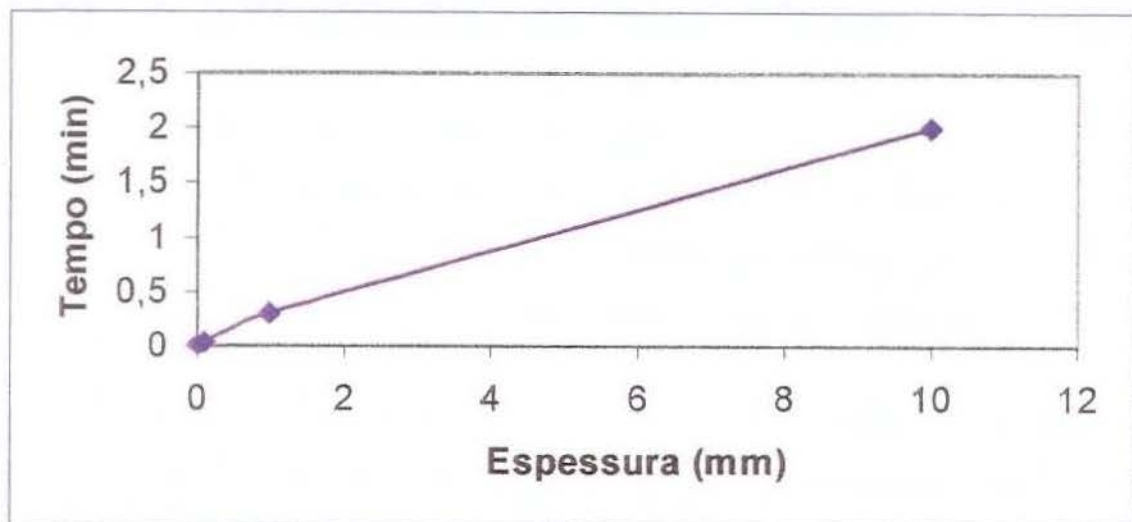


Figura 3.8) Tempo de aquecimento para diversas espessuras de sucata de alumínio em um forno a 550°C. [Tremblay, 1995].

Da Figura 3.8 pode-se notar que quanto maior a espessura do material maior o tempo de aquecimento. Como a espessura da lata, em geral, é de 0,17mm têm-se tempos de aquecimento inferiores a 2 minutos, dependendo do processo de aquecimento usado.

3.4.6 Manuseio do Metal Líquido

Durante a fundição de ligas de alumínio, ocorrem várias etapas de manipulação do metal líquido: vazamento para panela de espera, operações de limpeza da superfície dos banhos, introdução de correções, tratamentos do banho. Estas etapas podem promover a quebra da camada superficial de óxidos, sua incorporação e a oxidação de novas superfícies expostas, incorporando-se ao banho um grande número de pequenos filmes de óxidos, o que dificulta a fluidez do metal líquido. Dentre as operações acima, considera-se como as mais críticas as operações de transferências, principalmente do forno de fusão para os cadinhos (panelas com revestimentos refratários), dos cadinhos para fornos de espera e os vazamentos nos moldes devido geração de elevados níveis de turbulência sobre o metal líquido e rompimento da camada superficial em pequenas partículas [Fuoco, 1997].

UNICAMP

BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Carvalho [1996] afirma que o rompimento durante o manuseio de metal líquido expõe o metal fresco à oxidação, aumentando o nível de inclusões de óxidos e a quantidade de escória. A geração dessas inclusões é função da temperatura e da altura do jato e da composição química do metal líquido, pois um aumento de 100°C na temperatura dobra a espessura do óxido. A adição de 3% de magnésio aumenta a espessura da camada de óxido por um fator de 30 vezes em relação ao metal com baixo teor de magnésio. Pequenas adições de Pb, Ga, Li em partes por milhão (ppm), ao metal líquido, poderão causar um grande aumento na formação de óxidos.

Segundo Fuoco [1997], para que não ocorra redução da tensão superficial (forças agindo perpendicularmente a superfície) e em consequência a incorporação de inclusões de óxidos, a velocidade limite de um fluxo de alumínio deve ser igual a 0,5 m/s. Esta velocidade é atingida a alturas superiores a 12,5 mm e foi calculada por Campbell, através da equação de Bernoulli:

$$V^2 = 2 g h \quad [4]$$

Onde,

V é a velocidade do fluxo

g é a aceleração da gravidade

h é a altura

O autor conclui que normalmente para as condições atuais de fundição das indústrias de reciclagem, esse valor limite é extremamente pequeno, e que é impossível vazar peças por gravidade ou executar qualquer tipo de transferência por gravidade sem a incorporação de inclusões de óxidos, pois, conforme é ilustrado na Figura 3.9 quanto maior a altura de vazamento maior é velocidade do fluxo, ocasionando quebra e incorporação de óxidos ao metal líquido. A alternativa para amenizar a velocidade de vazamento é a transferência do metal líquido através de calhas levemente inclinadas conforme as utilizadas nos aquedutos romanos, ou a transferência do metal líquido por gravidade procedendo-se em seguida a limpeza dos banhos.

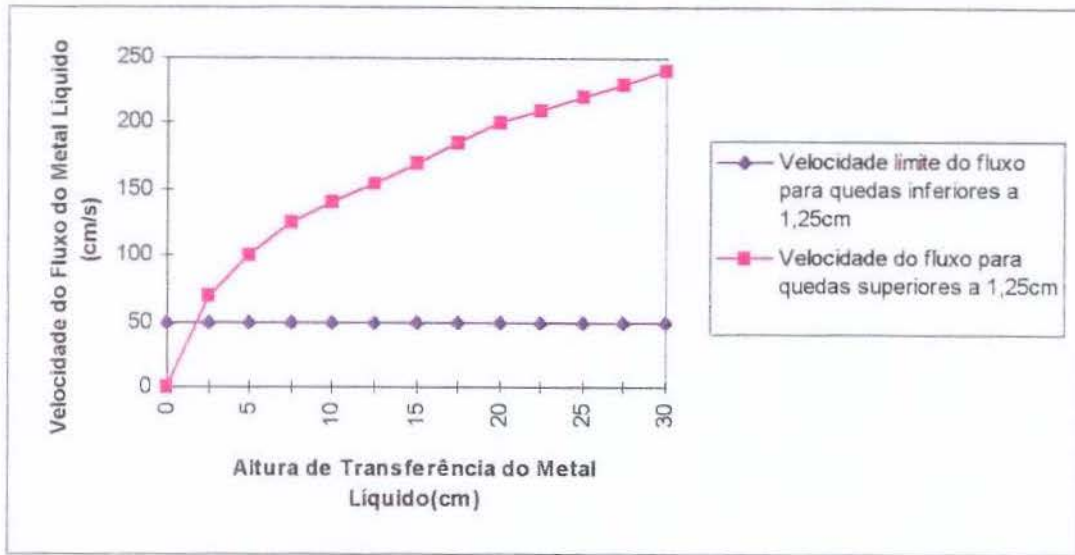


Figura 3.9) Velocidade do fluxo $[v = (2 \cdot gh)^{1/2}]$ do metal líquido em relação a altura de queda durante transferências. Fuoco [1997].

Ainda segundo Fuoco [1997], os parâmetros utilizados para analisar o potencial de geração de inclusões nos vários processos de fundição, que consiste em alimentar o metal líquido, na cavidade de um molde com o formato requerido são: a velocidade do fluxo e a turbulência durante o vazamento.

Entretanto, no processo de fundição por gravidade que é utilizado na planta de reciclagem de alumínio, o parâmetro crítico é a altura do canal de descida, onde o fluxo do metal líquido é acelerado e conseqüentemente será inevitável obter uma velocidade de escoamento inferior a 0,5m/s. O autor sugere como solução para amenizar a aceleração: a redução da altura da queda, através da utilização de coquilhadeiras basculantes e que segundo Campbell [1990], quando bem utilizado permite a produção de peças sem problemas de inclusões de óxidos.

3.4.7 Processo de Fundição

Segundo Stewart [1977] durante a fusão pode haver reações químicas entre os possíveis combustíveis utilizados nos fornos de fusão e o metal fundido que, em contato com a atmosfera do

forno se oxidam, ocorrendo a geração de escória que constitui parte da perda na fusão. Esta perda varia conforme o tipo de combustível utilizado nos fornos para fusão de metais.

Nos fornos reverbatórios e fornos de cadinho que utilizam combustível (óleo mais ar) as perdas são bem maiores que nos fornos elétricos seja do tipo cadinho, reverbatório ou por indução. A Tabela 3.2 ilustra este aspecto.

Tabela 3.2) Perda por fusão comparativa entre fornos elétricos e a combustível*.

Tipo de Forno	Perda de Fusão (%)	Perda Total de Fusão** (%)
Forno a Óleo	1,9	3,6
Forno de Indução	0,5 a 0,8	1,4

*) Massa Inicial constante de 350kg

**) Inclui a perda no vazamento.

Fonte: Siegel, 1976.

Segundo Siegel [1976] os metais geralmente são fundidos em contato com materiais refratários onde os constituintes principais são óxidos, tais como sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), magnesita (MgO), óxido de cromo (Cr_2O_3), que em contato com o banho metálico são corroídos, ocasionando formação de escória, aumentando a chance de perdas, ou seja, não existe a possibilidade de perda zero.

3.4.8 Uso de Fundentes

Nayanan e Sahai [1997] afirmam que durante a refusão de alumínio (ligas de alumínio e latas de bebidas usadas), a superfície do banho metálico deve ser coberta por uma camada protetora (entre o metal e a atmosfera), oriunda da adição de fundentes a base de sais fundidos. Esta camada por final é a *dross* já descrita. Estes fundentes geralmente são misturas equimolares de cloreto de sódio e cloreto de potássio com pequenas adições de fluoretos (até 10%) como NaF , Na_3AlF_6 , ou KF , cujo objetivo é melhorar o processo de refusão. A Tabela 3.3 ilustra os elementos químicos contidos na *dross* formada pela presença desses fluxos salinos após o processo de fundição e que podem diminuir a perda na fusão.

Tabela 3.3) Composição química média da dross

Elemento Químico ou Composto	Teor (%)
Cloreto de Sódio (NaCl)	37,88
Cloreto de Potássio (KCl)	23,26
Alumina (Al ₂ O ₃)	23,01
Criolita (Na ₃ AlF ₆)	4,49
Magnésio	4,21
Nitreto de Alumínio (AlN)	2,94
Alumínio (metálico)	2,12
Carbono	0,58
Carboneto de Alumínio (Al ₄ C ₃)	0,24
Perda de massa por combustão	0,68

Fonte: Nrayanan e Sahai [1997].

Esta tabela mostra quantidades consideráveis de magnésio contida na Dross, uma das substâncias que tem presença marcante na produção do espinélio MgO.Al₂O₃.

3.4.9 Efeito da Temperatura de Remoção dos Materiais Orgânicos

O processo mais comum de remoção das tintas e vernizes, como preparação do metal a ser reciclado, é a queima em ambiente rico em oxigênio. As latas de alumínio após serem trituradas são colocadas em um forno tipo tambor rotativo e são aquecidas na presença de oxigênio para retirar por combustão as tintas e vernizes. Tenório [1995] demonstrou que para este método o efeito da temperatura de queima é bastante superior ao efeito do tempo de queima, como ilustra a Figura 3.10. Os resultados representam o tratamento isotérmico de decomposição de tintas e vernizes em uma área de 5 cm². O aquecimento foi realizado numa balança termogravimétrica a fim de verificar a quantidade de tintas removidas durante o aumento da temperatura.

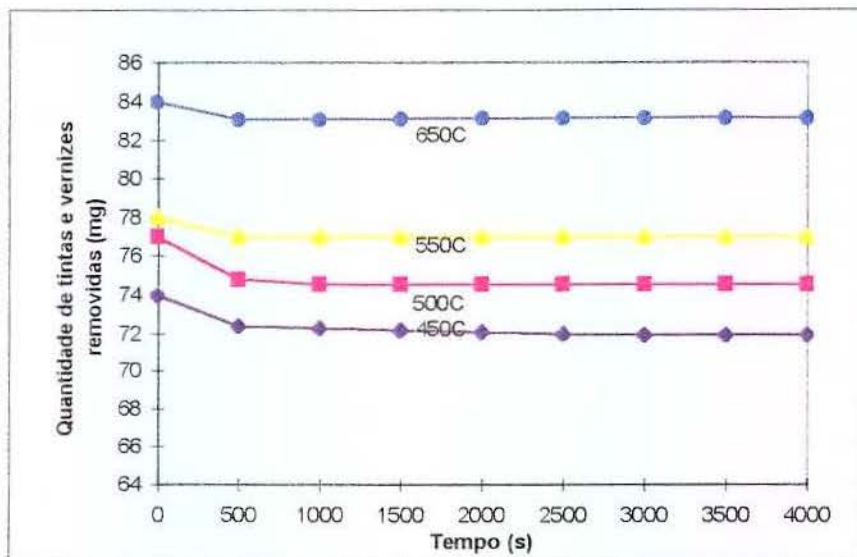


Figura 3.10) Quantidade de tintas e vernizes removidos do corpo da lata de alumínio em mg. Tenório [1995].

Tenório [1995] observou que a oxidação das amostras é diretamente proporcional a temperatura de queima, ficando comprovado a relação entre o rendimento metálico e a queima da tinta das latas, e que o controle das variáveis tempo e temperatura influi de forma decisiva na otimização do rendimento por reduzir as perdas por oxidação, ou seja, quanto maior a temperatura de queima, menor deverá ser o tempo de permanência do material dentro do forno de queima (*Decoater*). Este efeito pode ser melhor observado, na Figura 3.10.

A remoção dos revestimentos orgânicos das sucatas das latas de alumínio inicia –se a 450⁰ C por 80 min, tornando-se mais efetiva a partir de 500⁰ C por aproximadamente 20 min, essa diferença decresce com o aumento da temperatura conforme mostra a figura 3.11, quantidade de fluxo salino na carga , tipos de revestimentos e velocidade de agitação do metal [Tenório, 1999].

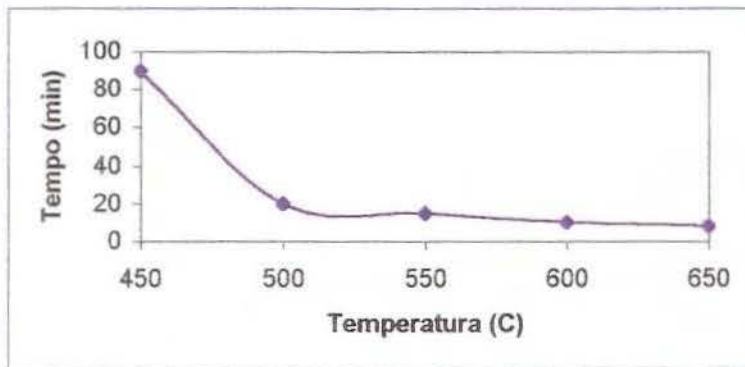


Figura 3.11) Relação entre temperatura e tempo de decomposição das tintas e vernizes contidas na lata de alumínio [Tenório, 1995].

Stevens [1997] demonstra que a relação tempo e temperatura dependerá ainda do tipo de revestimento utilizado nas latas de alumínio. O tempo requerido para a decomposição térmica sempre diminui com o aumento da temperatura, porém com diferentes taxas de decomposição, como pode ser visto na Figura 3.12. Aqui não será colocada a composição e detalhes de tais tipos de revestimento, a informação necessária para análise, porém o tipo mais usado é o Revestimento tipo 1. Nesta figura observa-se que a temperatura de decomposição varia conforme os tipos de materiais orgânicos, porém a temperatura mínima para ativação sempre é por volta de 450°C.

Tem-se, portanto, que um dos principais fatores de formação da *dross* e da conseqüente perda de processo está ligado ao fato de as latas utilizadas para a reciclagem necessitarem de um tratamento prévio de queima e remoção do revestimento. A análise a partir de agora se dará em termos de análise do processo em termos de Técnicas de Gerenciamento de Processo de acordo com os princípios do TQM como um todo não deixando de lado os aspectos metalúrgicos levantados até o momento.

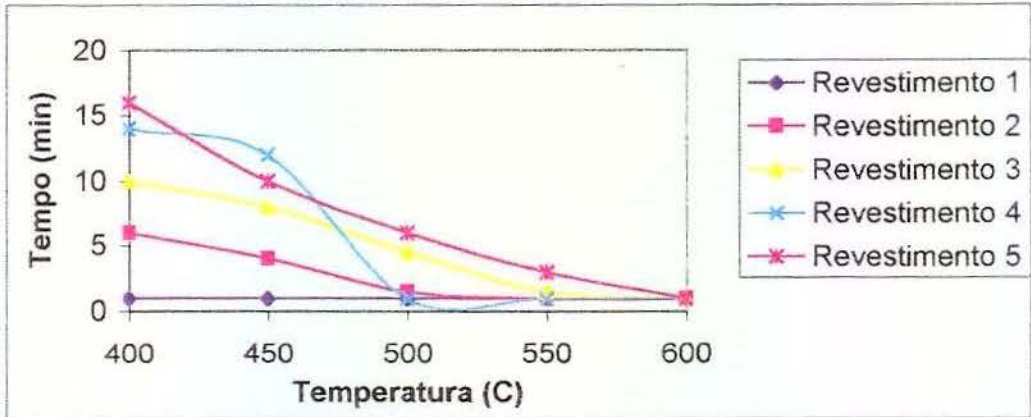


Figura 3.12) Relação entre temperatura e tempo para a decomposição térmica de vários tipos de revestimentos (tintas e vernizes) das latas de alumínio para bebidas). Stevens [1997].

Capítulo 4

Proposição da Metodologia de Análise

O primeiro passo após a determinação do fluxograma de processo e do estudo das variáveis metalúrgicas que o afetam é compartimentar o processo em subprocessos determinando em cada etapa os fatores de causa e efeito, para se determinar os itens de verificação e os itens de controle em cada etapa. Ao se determinar estes itens de causa/efeito pode-se propor um sistema para controlar as causas e, portanto, controlar os efeitos aumentando a repetibilidade, reprodutibilidade do sistema, e, por conseguinte a confiabilidade do mesmo. O objetivo principal a ser atingido é a diminuição das perdas de fusão.

Primeiramente serão levantados todos os fatores de causa que estão sob controle, isto é, verificar em cada estágio do processo, quais os itens que são usados para verificar a estabilidade e quais seus efeitos. Em seguida será idealizada uma metodologia para controle simplificado do processo, através da elaboração de uma lista das causas potenciais. Para isso, se faz necessário à implementação de brainstorming, ferramenta da qualidade que se concentra na causa da variabilidade do ciclo produtivo. Esta ferramenta permite analisar cada etapa a respeito do problema e identificar qualitativamente as causas raízes da variabilidade, ajudando na análise de desempenho do processo, e conseqüentemente no aperfeiçoamento do sistema produtivo [Scherkenbach, 1994].

Metodologias são sistemas e procedimentos que empregamos para definir e controlar o produto e seus componentes, para definir as operações de manufatura e para controlar a execução das referidas operações. Os procedimentos definidos e padronizados contribuem para a obtenção de um produto de qualidade pois, nos permite:

- Planejar o que se vai fazer;
- Fazer o que foi planejado;
- Documentar o que se fez.

4.1. Ferramentas para a Melhoria do Processo

A Engenharia da Qualidade é responsável pelas atividades de controle de qualidade, que são incorporadas a cada passo do desenvolvimento do produto e da manufatura promovendo uma medida de defesa contra a variabilidade. A Engenharia da Qualidade pode ser vista em duas fases distintas [Wetherill, 1994]:

a) Controle de qualidade “*Off-line*”: são atividades que ocorrem nos estágios de delineamento do produto e do processo, as quais são identificadas as perturbações devido à variabilidade natural do processo denominadas causas comuns, proporcionando a modificação do produto ou do processo de produção. O delineamento do processo inclui projeto do sistema, projeto paramétrico e projeto de tolerância.

b) Controle de Qualidade “*On-line*”: são atividades que ocorrem durante o estágio de produção, as quais detectam e eliminam as variações por causas especiais, denominadas causas identificáveis, com isso proporcionam a correção dos efeitos ocasionados; averigua qual a capacidade do processo de produção. Incluem sistemas de controle do processo, uso de fatores de ajuste e inspeção e controle estatístico de processo.

O objetivo da engenharia da qualidade é a redução sistemática da variabilidade que afeta as características do produto, para isso é necessária à implementação de uma seqüência lógica das técnicas estatísticas de monitoramento e controle estatístico do processo (CEP), inspeção por amostragem e projeto de experimentos [Montgomery, 1997].

A inspeção por amostragem, utilizada como critério para aprovação dos lotes de peças produzidas, muitas vezes aceita produtos com uma alta variabilidade do processo, o que muitas vezes implica em produto com baixa qualidade, e também traz riscos de rejeitar lotes bons. As desvantagens inerentes à inspeção por amostragem da existência de riscos de aceitação de lotes ruins e rejeição de lotes bons e menos informação sobre a qualidade dos produtos, gera um conflito de interesses entre o produtor e o consumidor. O produtor quer que todos os lotes bons sejam aceitos e o consumidor quer que todos os lotes ruins sejam rejeitados. A relação produtor-consumidor no fornecimento de produtos e serviços é definida como uma porcentagem máxima defeituosa considerada aceitável, denominada Nível de Qualidade Aceitável (NQA). A probabilidade de aceitação associada este nível deve ficar em torno de 95% [Montgomery 1997].

A importância da aplicação do controle estatístico do processo como a primeira ferramenta estatística a ser implementada no processo de produção é reduzir a variabilidade e estabilizar o processo de produção. A partir daí a implementação de técnicas avançadas como o planejamento de experimentos industrial pode ser utilizado. O objetivo, portanto, é implementar uma primeira ferramenta para o controle do processo, cujos objetivos são [Costa, 1977]:

- a) Assegurar a boa qualidade do material a ser usado na produção;
- b) Controlar a fabricação utilizando técnicas economicamente viáveis;
- c) Reduzir ao máximo o índice de rejeição do produto;
- d) Desenvolver tecnologia no sentido de tornar cada vez mais simples os métodos de controle, a fim de garantir a rapidez da comunicação entre inspeção e a informação a ser dada ao operadores. O tempo gasto entre operações e a informação devem ser mínimo.

O controle estatístico do processo (CEP) é uma ferramenta útil para se entender a estabilidade de um processo, visando eliminar as causas especiais, reduzir a variabilidade e melhorar os níveis de controle. Entretanto, a atividade de colocar um processo sob controle estatístico é apenas um passo preliminar no esforço para a melhoria contínua do mesmo.

Neste trabalho esse procedimento apenas será indicado como de capital implementação, uma vez que não há a possibilidade de estudar a implementação de tal ferramenta em uma planta de

reciclagem. Aqui serão discutidas as principais etapas (operações) da reciclagem de latas de alumínio, pois o objetivo é de dar indicativos de como controlar e determinar quais os valores reais da temperatura e tempo de fusão, da temperatura e tempo de remoção das tintas e vernizes, da avaliação do grau de impurezas da sucata, que por sua vez irão determinar o rendimento do processo.

Após a observância dos fatores de causa que influenciam nas propriedades da peça fundida e nas perdas ocorridas durante as etapas de refusão das latas de alumínio para bebidas, é importante planejar e monitorar o controle desses fatores com o intuito de minimizar as perdas durante a fusão, e com isso aumentar o índice de rendimento na recuperação (de 85% para 95%) e auxiliar a otimização da qualidade do banho metálico, reduzindo também o índice de poluentes ao meio ambiente. A adoção de operações específicas durante o estágio de fusão irão garantir a eficácia do processo de reaproveitamento e transformação das sucatas de latas de alumínio para bebidas. Uma indústria de reciclagem (fundição) deve adotar as operações específicas a seguir [Campos, 1978]:

- Seleção cuidadosa do material da carga;
- Pré-tratamento para minimizar a contaminação do metal líquido;
- Utilização de técnicas cuidadosas de fluxação para remoção dos gases dissolvidos e das inclusões insolúveis (devido a gases, óxidos e escória);
- Filtração antes do vazamento, para redução dos agentes de contaminação a um nível o mais baixo possível e aumentar principalmente a fluidez.
- Desgaseificação do metal líquido. Etapa realizada dentro do próprio forno antes do vazamento para a panela, com o intuito de reduzir a quantidade de hidrogênio dissolvido no metal e com isso impedir a formação de bolhas
- Fundição em atmosfera protetora.

Para Filleti [1996] as plantas do centro de refusão das indústrias recicladoras devem ser adequadamente equipadas com tecnologias sofisticadas para processar e fundir as latas de alumínio usadas, como é o caso dos centros de fundição nos Estados Unidos, e que são capazes de

conseguir um rendimento metálico de 87 a 91%. A perda durante a fusão resulta em diminuição do peso útil de metal. Em geral a distribuição da perda segue o padrão:

- Tintas / verniz interno - 2,5 a 4,0%.
- Sujeira / material diferente de alumínio - 4,0%.
- Perda por oxidação do alumínio metálico - 3,0%.

Desse modo para se atingir um índice superior a 90% na recuperação de sucatas de latas de alumínio vazias, e, para que os processos de fundição não causem maiores impactos ao meio ambiente, é primordial que as indústrias recicladoras estejam tecnologicamente bem equipadas para a adoção de uma série de operações específicas que auxiliam e otimizam a qualidade do banho metálico, através da minimização dos desperdícios e dos custos de produção. O objetivo é tornar o processo de reciclagem de latas de alumínio economicamente viável sem contaminar o meio ambiente.

Filleti [1996] e Rocha [1999] propõem para sistemas que objetivam atingir eficiência igual ou superior a 91% e redução dos efluentes atmosféricos o ciclo produtivo seguinte:

- Abertura dos fardos: a operação se inicia com a alimentação dos fardos (blocos) de latas usadas no desfardador (*debaler*), equipamento cuja função é desmanchar completamente os fardos com qualquer densidade acima de 600kg/ m^3 ;
- Retalhamento (trituração): corte em pequenos fragmentos e tamanhos uniformes, através do picotador moinho de martelos (*Shredder*), liberando assim impurezas contidas dentro das latas;
- Limpeza magnética: uso de separadores pneumáticos (*air knife*), separadores magnéticos, e peneira vibratória para eliminar qualquer material que não seja alumínio (impurezas);
- Decomposição das tintas e vernizes (*decoating*) para otimizar o rendimento metálico: remoção total do revestimento decorativo e protetivo da superfície do alumínio. O processo de decomposição utiliza-se da mudança de estado desses materiais orgânicos com temperatura e quantidade de oxigênio controlados. O forno deve ser equipado com

queimadores para incinerar os gases e filtros / equipamentos para controlar a quantidade de gases tóxicos gerados na combustão das tintas e vernizes;

- Fusão: os fornos para fusão dos fragmentos das latas devem ser termicamente eficientes, utilizar sistema de agitação de metal para propiciar a circulação de metal e provocar submersão dos fragmentos no banho, fundindo o mesmo uniformemente, e permitir exaustão dos gases originados durante o processo de fusão; através das coifas instaladas ao seu redor;
- Transferência do metal líquido em cadinhos com temperatura controlada e demais cuidados para evitar a movimentação excessiva do líquido.
- Tratamento das emissões a quente: uso e filtros para a remoção das partículas geradas no processo de remoção de tintas e vernizes e no processo de fusão

4.2. Lista de Itens de Controle / Itens de Verificação

A qualidade depende do bom controle de Processo. Sabe-se também que os parâmetros verificados para a obtenção das características (efeitos/resultados) são numerosos, conforme colocado nos itens anteriores. Entretanto, cabem aos gerentes limitar quais os parâmetros mais importantes que irão influenciar nas características do produto sob o ponto de vista do cliente e quais os parâmetros que irão otimizar o processo a fim de atingirmos redução de perdas e emissão de poluentes ao meio ambiente.

No processo de reciclagem de latas de alumínio existem várias etapas a serem seguidas, conforme demonstrado no Capítulo 2 e 3, e partindo desta seqüência, identificou-se quais os parâmetros mais importantes para serem verificados e quais as características (efeitos/resultados) que serão controlados no decorrer de cada etapa do processo, conforme ilustra a Tabela 4.1.

Tabela 4.1) Itens de controle/itens de verificação no processo de reciclagem de latas de alumínio.

Etapa / Operação	Item de Controle	Item de Verificação
Recebimento de Matéria-Prima	Índice de Impureza	Umidade; Areia; Ferro Chumbo, Orgânicos
Fragmentação das Latas	Tamanho dos Fragmentos	Alimentação e Velocidade
Decomposição das Tintas e Vernizes	Peso Líquido da Carga	Peso Total da Carga; Velocidade do Tambor; Tempo de Residência; Temperatura de Queima Quantidade de Ar; Umidade do Ar.
Fusão	Composição Química; Eficiência na Recuperação	Temperatura de Fusão; Tempo de Fusão; Quantidade de Fundente; Tempo de Ajuste da Composição Química; Quantidade de Aditivos
Tratamento do Metal Líquido	Grau de Inclusão de Óxidos; Limpeza do Material	Quantidade de Gás; Composição da Escória
Transferência para Panela de Espera	Temperatura	Altura; Velocidade; Limpeza

O objetivo da Tabela 4.1 é demonstrar quais os itens de controle que devem ser monitorados no processo. De agora em diante passaremos a definir estes itens mais detalhadamente assim como as inter-relações existentes.

É necessário, portanto, estabelecer os procedimentos padrões (ou pelo menos indicativos) referentes à uma indústria de transformação de sucatas de latas de alumínio, para a produção de chapas de alumínio tipo AA3004, para que gerentes e operadores envolvidos no sistema produtivo, possam ser capazes de observar e monitorar os resultados obtidos. Esses resultados dependem da eficiência dos métodos implantados. O objetivo é atender aos requisitos colocados na Tabela 4.1 e para tanto sugere-se:

4.2.1. Beneficiamento da Matéria - Prima

Como foi dito anteriormente a decomposição dos materiais orgânicos contidos na sucata de latas de alumínio vazias é uma etapa fundamental para a eficiência na recuperação do metal e da redução da emissão de gases para a atmosfera. Razão do controle de alguns itens na preparação como tamanhos do fragmento, teor de materiais orgânicos e umidade. A fim de garantir o sucesso na remoção desses materiais orgânicos deve-se respeitar os seguintes aspectos:

- A seleção cuidadosa do material evita a incorporação de resíduos orgânicos e de metais pesados.
- A espessura dos fragmentos da sucata de latas de alumínio deve ter um tamanho mínimo, pois a eficiência na transferência de calor depende da relação entre condução e convecção. Tamanhos maiores propiciam a condução que é mais eficiente, porém tamanhos muito grande implicam em problemas de carregamento e descarregamento do forno, atrapalhando o manuseio. Para atender todos os aspectos da operação de remoção do revestimento , é adotada a trituração da lata para a obtenção de pedaços de cerca de 1cm^2 de área.
- A sucata após o corte deve passar por um tratamento de lavagem e secagem antes da queima dos vernizes e tintas. O nível de umidade da carga não deve ultrapassar a 2%, porque quanto maior a quantidade de água (oriundo do vapor d'água contido no gás atmosférico e dos fardos de latas), haverá redução na recuperação do metal líquido e riscos de explosões de vapor e incêndios dentro do sistema de captação dos gases.
- Os teores de materiais orgânicos não devem exceder a 8%. Pois, dependendo da capacidade do forno quanto maior a quantidade de compostos orgânicos, menor a velocidade de decomposição destes compostos, acarretando maior tempo de permanência da sucata dentro de um forno de queima. Para carga com 100% de latas de alumínio o teor de orgânicos é de cerca de 2,5% .
- O tempo de permanência dentro do forno de queima deve estar entre 5 e 10 minutos. No caso de carga com 100% de sucata de latas de alumínio o tempo ideal é de 4,5minutos na queima.

4.2.2 Tratamento para a Decomposição dos Materiais Orgânicos

Existem vários tipos de tratamento para a remoção dos revestimentos orgânicos contidos nas sucatas de alumínio, porém o mais usado e mais comum é queima parcial da sucata em ambiente rico em oxigênio. A temperatura do ar e a concentração de oxigênio são duas variáveis importantes de controle de processo, porque são estes parâmetros que irão garantir a eficiência na decomposição dos materiais orgânicos, logo sugere –se:

- Faixa de temperatura de queima inicial esteja entre 500 e 550°C e ar rico em oxigênio entre 6-10%.
- Tomar os cuidados devidos para não deixar o gás oriundo da queima ser eliminado para a atmosfera antes de tratamento adequado. Os gases oriundos da remoção das tintas e vernizes são captados, incinerados e filtrados a fim de minimizar os impactos ambientais.

4.2.3. Fusão da Carga.

Sugere-se a temperatura de fusão entre 700 e 750°C para evitar a incorporação de hidrogênio no metal líquido. O material deve ser manejado o mínimo possível para evitar a incorporação de óxidos a partir da escória. Fornos elétricos (a plasma ou a arco- elétrico) são os mais indicados para esta operação, pois evitam o contato do alumínio líquido com possíveis fontes de hidrogênio, não utilizam sal, reduzindo as perdas de alumínio e eliminando o problema adicional de recuperar ou de se livrar do sal contaminado. Normalmente, o processo de recuperação para crosta de sal consumido tem demonstrado ser muito dispendioso, enquanto que enviar essa crosta de sal aos aterros é proibido. Sugere –se fornos com sistema de agitação de metal para propiciar a circulação de metal e submersão dos fragmentos de sucatas de alumínio no banho de metal líquido, fundindo o mesmo, queimadores para incineração dos gases e voláteis orgânicos e sistema de exaustão para captação das partículas que deverão ser tratados antes de serem eliminados na atmosfera.

Após a fusão e o acerto da composição química são recolhidas amostras do material para análise. A temperatura deve subir para a faixa de 800°C para a execução da transferência.

4.2.4. Condição de Chegada do Metal Líquido ao Cliente

Sugere-se utilizar fornos capazes de gerar um mínimo de escória, a fim de garantir um rendimento metálico superior a 95%. A liga de alumínio usada é a AA3004 e sua composição química deve conter a seguinte composição química (Tabela 4.2):

Tabela 4.2) Composição ideal da liga AA3004 para a confecção de latas de alumínio:

Alumínio (wt%)	Cobre (wt%)	Magnésio (wt%)	Manganês (wt%)	Silício (wt%)	Ferro (wt%)
Balanço	0,25	1,00	1,0	0,25max	0,50max

Fonte: Alcan, 1998.

As seguintes condições ainda deverão ser respeitadas:

- O metal líquido deverá ter um baixo nível de inclusões. O valor máximo segundo a ALCAN é de $10,0\text{mm}^2/\text{Kg Al}$.
- O metal deve estar numa panela hermeticamente fechada a uma temperatura entre 740° a 850° C.

Sugere-se que ao final das operações de beneficiamento, fusão, tratamento do metal líquido e filtração sejam escolhidas 5 amostras diárias escolhidas aleatoriamente para a inspeção durante um período de tempo de um mês, totalizando uma coleta de 150 subgrupos para leitura da característica do produto, após coletar dados para preencher as folhas de controle deverão ser construídos os gráficos de controle para verificar a estabilidade e capacidade do processo para uma sistemática de redução da variabilidade das características críticas do produto, da minimização dos resíduos industriais e dos rejeitos.

4.3. Estabelecimento de Procedimentos Operacionais Padrões

O estabelecimento de um conjunto de métodos de operação em uma planta de reciclagem de latas de alumínio para bebidas significa padronizar uma série de seqüências (passos) a serem seguidos com o objetivo de manter todo o processo estável e capaz de produzir o metal líquido dentro das exigências do cliente, evitando reincidências de resultados indesejáveis. Por esta razão,

essas etapas devem ser revistas continuamente, visando o aperfeiçoamento do sistema produtivo, fator essencial que constitui a “*Qualidade Total*”.

A princípio, para o sucesso de uma organização na implantação de qualquer procedimento operacional, é necessário que cada etapa (condição) descrita neste manual a ser seguido seja compreendida por todos envolvidos no ciclo de produção (diretos e indiretos), ou seja, é preciso saber o porque de cada etapa, o que se deve atingir com isso, qual é a meta. Por esta razão, *transparência e treinamento* é a primeira etapa do procedimento operacional.

Todos os envolvidos devem a princípio estar familiarizados com o fluxograma mostrado nas Figuras 3.1 e 3.2.

O procedimento para a avaliação de cada operação durante um processo de reciclagem de latas de alumínio, deverá seguir o fluxograma da Figura 4.1.

O procedimento operacional padrão só pode ser implementado é claro na existência de uma planta piloto para teste. Como não existe a possibilidade para tal, este trabalho visa apenas a apresentar um modelo que, de forma geral possa auxiliar a implantação de um programa mais completo em termos de TQM.

Partiu-se do pressuposto que o entendimento da metalurgia do processo seria a melhor solução para a implementação de técnicas e soluções encontradas no TQM. A Figura 4.1 mostra claramente esta preocupação.

A avaliação cuidadosa de cada etapa do processo é o primeiro passo para a implementação bem sucedida de um programa de gerenciamento pela Qualidade Total e Qualidade ambiental.

O próximo capítulo traz uma análise qualitativa e semiquantitativa de uma planta de reciclagem de alumínio para se ter uma idéia da distância ou proximidade do TQM com relação esta parte importante da indústria do alumínio.

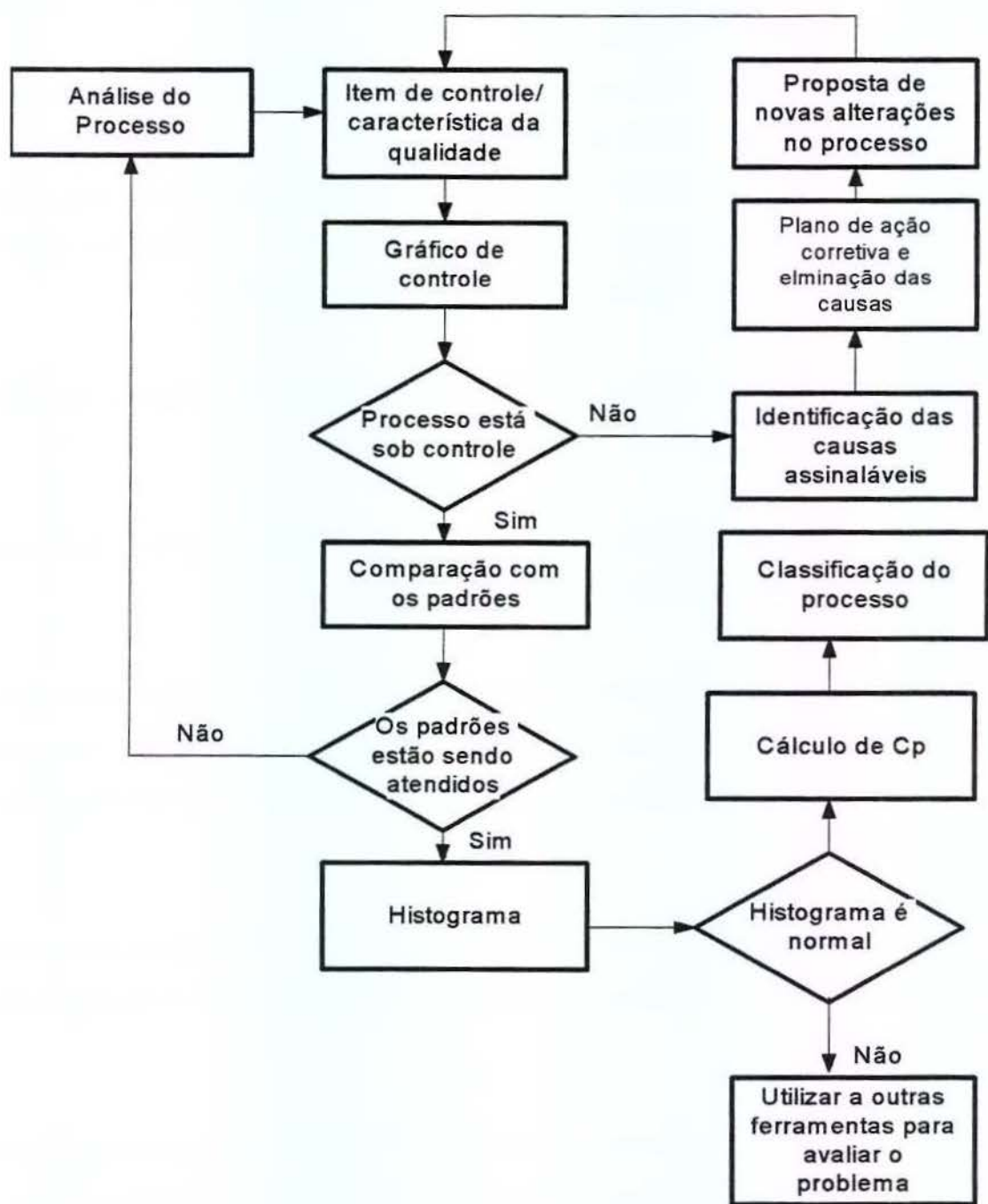


Figura 4.1) Proposta de procedimento de avaliação da estabilidade de um processo de reciclagem de latas de alumínio para bebidas

Capítulo 5

Estudo de caso: Análise de um Processo de Reciclagem de Latas de Alumínio

Este capítulo analisa o fluxo de operações utilizadas num processo de fundição de sucatas de latas de alumínio cujo produto final (metal líquido) servirá de insumo para fabricação de chapas de alumínio utilizadas na manufatura de novas latas. O objetivo desta análise é verificar se a tecnologia e a metodologia de trabalho empregada na planta de reciclagem de sucatas de alumínio possui reflexos positivos no que se refere à qualidade do produto, assim como seus possíveis efeitos em termos de meio ambiente.

Parte-se do pressuposto que todo e qualquer processo tem um impacto ambiental, porém os processos amparados em um programa de Gestão pela Qualidade Total, quando aliado a sistemas de desenvolvimento sustentável podem reduzir os resíduos, rejeitos e efluentes atmosféricos, oriundos dos componentes que entram na composição final do produto ao mesmo tempo em que produzem produtos melhores e mais baratos.

Para Altung [1974] as principais operações de uma planta de fundição devem possuir fluxo contínuo, pois reside na seqüência correta de operações a chave para o controle do processo. Deve-se propor e implementar ferramentas estatísticas capazes de verificar se as etapas do

processo estão relacionadas entre si e garantir a conformidade do produto final, assim como a diminuição de desperdícios e o aumento da eficiência do processo.

Para o presente caso foi escolhida a empresa Reynolds Metal Company (Reynolds Latas de Alumínio S/A-LATASA) como a melhor representante, ou pelo menos a mais significativa, do seguimento das indústrias fabricantes de latas de bebidas. Esta empresa é líder Mundial em tecnologia de Alumínio e foi adotada neste trabalho para análise do fluxo de operações e tecnologias empregadas na planta de fundição de sucatas de latas de alumínio.

Com sede em Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil, esta empresa, entre tantas outras existentes no Brasil, foi escolhida devido a outros dois fatores: o fato de ser a primeira fabricante de latas de alumínio e o fato de ser pioneira no Programa de Reciclagem de latas de alumínio em nosso país.

Pelo fato de não ser funcionária da LATASA nem de outra indústria recicladora, todos os elementos componentes do processo, tais como: insumos, equipamentos, métodos operacionais, tempo, etapas em que se divide o processo, o ser humano que o desempenha, entre outros, serão estudados a luz do levantamento bibliográfico executado, com o intuito de identificar quais os parâmetros (fatores de causa) que mais influenciam no desempenho do processo e na qualidade do banho metálico (metal líquido). Os fatores de causa passam a ser os elementos principais das variações da eficácia, do aumento da produtividade, da redução dos custos de produção e das perdas. Por isso, deverão ser monitorados e controlados continuamente, para adequar-se às especificações exigidas pelo cliente.

A meta deste trabalho, portanto, é verificar conceitualmente a eficiência na recuperação do metal e o controle da poluição do meio ambiente no sistema de produção da planta de fundição de sucatas de latas de alumínio da LATASA.

O maior problema encontrado, no entanto, foi a impossibilidade de acesso ilimitado a planta que faz com que os dados aqui analisados sejam muitas vezes pouco profundos.

5.1. Controle de Processo

O controle do processo antes e durante todas as etapas de fundição permite o conhecimento da natureza dos parâmetros que interferem na qualidade metalúrgica do produto final: as heterogeneidades são decorrentes do processo de fundição e da variação de volume específico do metal:

- Heterogeneidades físicas: rechupes, trincas de contração, porosidades e outros tipos de defeitos.
- Heterogeneidades químicas: segregação de impurezas e/ou de elementos de ligas em escala microscópica ou macroscópica.
- Heterogeneidades estruturais: distribuição, tamanho e orientação dos grãos cristalinos.
- Heterogeneidades de processo: nível de inclusões, quantidade de gases,...

O conhecimento da natureza das causas e efeitos destas heterogeneidades indica quais os parâmetros de controle que podem ser manipulados de forma a otimizar o processo de refusão das sucatas de latas de alumínio e maximizar a qualidade e o desempenho do produto final [Campos, 1978].

Estas etapas irão proporcionar maior uniformidade (homogeneidade) do banho metálico em termos de: composição química; grau de impurezas; inclusões (óxidos, carbonetos e gases dissolvidos); entre outros. A partir das etapas de identificação, ajuste e correção, tratamento dos gases e compostos orgânicos voláteis, segue-se para as etapas de tratamento lingotamento, desmoldagem, limpeza, inspeção, pré-aquecimento, laminação, tratamento térmico e finalmente a estampagem das latas.

5.2. Diagnóstico da Planta do Centro de Fundição de Sucatas de Alumínio da LATASA

Segundo o Centro de Fundição da Reynolds LATASA S/A, esta empresa já emprega métodos operacionais que representam menores perdas de metal e menor emissão de gases na atmosfera, além de apresentar baixos custos de produção. A Figura 5.1 mostra a estrutura e fluxo produtivo da empresa.

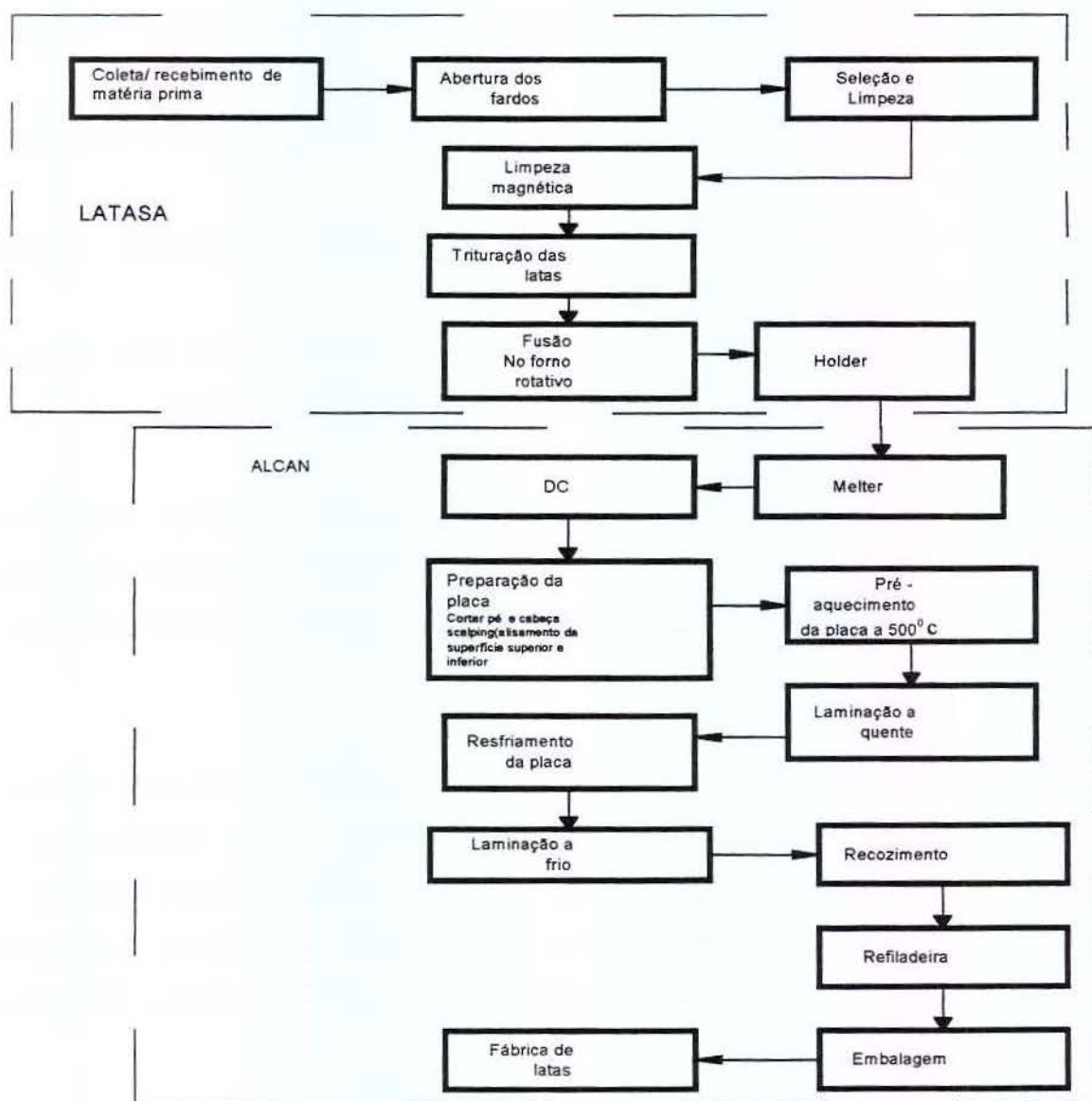


Figura 5.1) Fluxo contínuo do processo de reciclagem das latas de alumínio
Fonte: [LATASA/ CATÁLOGO]

Esta figura ilustra que a planta do centro de reciclagem da Reynolds LATASA opera todo o ciclo de reciclagem, isto é, desde a coleta do material (arrecadado por catadores de latas, por escolas além de alguns projetos institucionais, condomínios, entidades assistenciais, campanhas de arrecadação entre outros), prensagem e transporte (através de empresas especializadas em coleta e transporte) [Leyria, 1997].

Após o recebimento de matéria-prima (fardos de latas de alumínio vazias) a empresa procede à abertura dos fardos seguido de trituração das latas em pequenos fragmentos e limpeza magnética. Este material é carregado diretamente em fornos rotativos (com fluxo salino a base de cloreto de potássio mais cloreto de sódio) sem nenhum tratamento prévio para a decomposição das tintas e vernizes impregnadas nas latas de alumínio.

Ainda no forno de fusão é controlada e corrigida a composição do banho metálico, sendo executada a posterior desgaseificação (a fim de diminuir a quantidade de hidrogênio no banho líquido para evitar a oxidação e a porosidade na peça fundida). O metal é vazado para um cadinho a uma temperatura entre 750 a 770^o C, e transportado diretamente para a ALCAN. Durante este vazamento ainda é executada uma operação de filtragem para eliminação de segregações e para a separação de óxidos (esta operação permite diminuir a quantidade de inclusões de óxidos contido no metal líquido). Finalmente a transferência do metal líquido em panelas (*holder*) com revestimentos refratários hermeticamente fechados. Segundo Filleti [1997] a eficiência na recuperação do metal nestas condições é bastante pobre, ou seja, entre 70 a 76%. A partir desta etapa todo o restante do processo é conduzido em outra empresa a ALCAN.

Durante a análise, verificou-se o uso de fornos de fusão tipo rotativos que utilizam sais de cobertura (mistura de cloreto de sódio e cloreto de potássio para diminuir a oxidação e com isso minimizar a perda na fusão). O uso de tais fornos rotativos é considerado termicamente ineficiente e condenável a nível ambiental por causa da produção do resíduo “*salt cake*” (mistura de sais, óxidos e metais residuais) considerado extremamente danoso ao meio ambiente.

Para Tenório [1999] os fornos rotativos são basicamente fornos cilíndricos aquecidos com queimadores que usam óleos ou gás natural como combustível e ar ou oxigênio como comburentes. As principais vantagens tecnológicas desse equipamento são o seu baixo custo de manutenção, não necessita de mão- de- obra muito qualificada para sua operação, e o baixo investimento. Entretanto utiliza grande quantidade de sal (até 50% da carga) e gera um volume de dross relativamente grande com teor residual de alumínio de 7-10%, causando perdas de alumínio e um resíduo industrial (sal) que necessita posterior tratamento e reaproveitamento do sal ou destinação aterros sanitários controlados. O processo químico para tratamento do sal é muito dispendioso e a disposição do sal contaminado no aterro é perigosa, porque elevadas concentrações de cloreto de sódio, migram para o subsolo, promovendo o fenômeno de troca iônica com elementos associados à fase sólida, cuja hidrólise contribui para o aumento da acidez na fase líquida. Nestas condições muitos elementos podem adquirir mobilidade, inclusive metais pesados que podem migrar para o aquífero freático [Shinzato, 2000].

A quantidade de sais adicionados ao forno dependerá da carga a ser fundida e varia entre 2 e 35%, porém sabe-se que, quanto maior a quantidade de sais maior a perda na fusão. Drouet [1995] pesquisou novas tecnologias para o forno rotativo, como o processo oxy- fuel, que utiliza gás natural ou óleo combustível enriquecido com oxigênio. Tais métodos permitem um aumento da eficiência na recuperação do metal, podendo atingir um índice superior a 90%, aliado ao uso de uma quantidade menor de sais de proteção.

Com base no levantamento bibliográfico e da análise da planta industrial sugere-se:

- Controle do índice de impurezas contidos nos fardos de alumínio ainda é muito alto (9,6%) comparado com o índice de aceitação do cliente (4%).
- Critério de inspeção no recebimento do material e processo desenvolvimento de fornecedor, principalmente na capacidade do mesmo em fornecer o produto segundo as especificações de impurezas e da densidade de compactação exigidas;
- Controle da espessura dos fragmentos das sucatas de latas durante a trituração;

- Tratamento prévio das sucatas de latas (antes de serem carregadas no forno de fusão) para decomposição das tintas e vernizes, com tecnologia de fluxo simultâneo ar quente/cavaco. Este sistema termicamente eficiente, diminui a geração de NOx no processo de combustão no gerador de gás quente, pois os vapores orgânicos gerados que são carregados junto com ar quente do forno, são incinerados a uma concentração baixa de oxigênio, no gerador de gás quente, favorecendo a redução de NOx.
- Investimento em tecnologias mais moderna, como fornos de rotativos basculantes com queimadores oxy- fuel para remoção dos revestimentos orgânicos das sucatas de latas de alumínio, e fornos elétricos (arco elétrico ou de plasma) para fusão que não utilizam sal ao invés da utilização de forno rotativo convencional a base de sal de cobertura;
- Instalação de coifas e filtros ao redor dos fornos para redução dos gases como amônia, metano e acetileno e equipamentos que registrem a quantidade (porcentagem em volume) de gases que são emanados à atmosfera;
- Controle Estatístico do Processo através do gráfico de controle, para a avaliação (medição) do efeito das principais variáveis de entrada controláveis nas respostas de cada etapa, para verificação da estabilidade e capacidade do processo em produzir o metal líquido, conforme as especificações do cliente:
 - Pressão do triturador;
 - Temperatura e tempo de fusão;
 - Temperatura do metal líquido;
 - Umidade;
 - Teor de materiais orgânicos contidos na sucata de alumínio;
 - Quantidade de oxigênio dentro do forno de fusão;
 - Grau de inclusões de óxidos;
 - Composição química;
- Implementação de sensores óticos, para detectar qualquer tipo de objetos (materiais) indesejáveis: chumbo, ferro, pedra, areia que podem contaminar o metal líquido e prejudicar a qualidade das chapas de alumínio que serão utilizadas na manufatura de novas latas,

- Implementação de ferramentas da qualidade e uma metodologia adequada para o controle das etapas de recebimento, compactação, limpeza, remoção das tintas e vernizes, fusão contínua e tratamento do metal líquido, e com isso obter a melhoria contínua e a otimização do processo de reciclagem do alumínio.
- Técnicas de reutilização dos resíduos industriais como moagem, peneiramento para recuperação das partículas de alumínio, lavagem (lixiviação) para dissolver o sal, filtração para separação dos óxidos (solução de sal vaporizada), reutilização do sal no processo e dos óxidos em cerâmica, refratário e indústria cimenteira[Popivici,1997].

O sucesso de um processo de fundição em geral, depende primeiramente da qualidade da matéria-prima que será enviada para a transformação do metal. Segundo Filleti [1996], o processo de transformação do material recebido (sucatas de latas de alumínio usadas) em metal líquido, divide-se em duas áreas de trabalho:

Área fria: local onde inicia-se a etapa de recebimento/pesagem/preparação/abertura dos fardos de sucatas durante o qual eventuais impurezas como materiais metálicos, vidros, terra, areia, plástico (inclusive areia e umidade), são separados e descontados no peso final seguida da etapa de beneficiamento aonde as latas amassadas são trituradas em pequenos fragmentos, sofrem a limpeza magnética. Este procedimento é primordial, porque a presença dessas impurezas reduz o rendimento metálico devido à formação de óxidos e ainda diminui a pureza do metal líquido acarretando a minimização na ductilidade da liga a um ponto, onde a deformação plástica torna-se impossível. O nível de impurezas para aceitação pela ALCAN da matéria prima reciclada é de 4%.

O problema inicial é que a maior parte do material chega com índice de 9,6% em média, devido a maior parte das latas usadas serem coletadas em lixões, aterros sanitários e litorais. Daí a necessidade de conscientização do mercado sobre a importância de não sujar as latas e do destino adequado para as embalagens de alimentos e bebidas, incentivando-os a praticar a coleta seletiva e a evitar a sabotagem (adição proposital de materiais estranhos como chumbo, ferro, pedra, etc,

para aumentar o peso e o lucro nas operações de venda de sucatas), para que a reciclagem não seja prejudicada técnica e economicamente.

Área quente: local que acontece o processo para a remoção de impurezas dos materiais orgânicos como tintas e vernizes utilizadas na decoração e proteção das latas, fusão, ajuste e controle da composição química, tratamento do metal líquido (para remoção de inclusões de óxidos e gases) e controle da temperatura do metal líquido e altura durante a transferência para a panela com revestimento refratário a fim de garantir que a temperatura do metal líquido permaneça constante e chegue à indústria fabricante de chapas de alumínio conforme suas especificações. O objetivo é assegurar uma viscosidade ideal para a transferência no forno de espera e não esfriar o forno que produzirá as chapas de alumínio. Na LATASA, não se realiza a remoção das tintas e vernizes impregnados nas latas. Ou seja, a carga é lançada diretamente no forno de fusão, sem nenhum tratamento prévio.

Com a falta de decomposição dos materiais orgânicos contidos nas latas, aumenta-se a quantidade de gases tóxicos que são expelidos pela fábrica, além de aumentar a quantidade de resíduos que serão perdidos e descartados ao meio ambiente, se não forem reaproveitados, causando contaminação ao mesmo. A partir dessas observações, pergunta-se o que é feito para controlar a geração dos resíduos e gases tóxicos, e conseqüentemente melhorar a qualidade ambiental?

Tem-se, portanto, que o maior problema com relação a perda de metal é referente à falta de tratamento prévio do metal antes da fusão. O fluxograma apresentado pela LATASA não é o fluxograma ideal de processo. O número de possibilidades de melhoria, nestas condições é enorme.

5.3. Sistema de Controle

O sistema de produção do centro de reciclagem de alumínio da LATASA é monitorado por computador, porém não há um sistema de controle estatístico de processo implementado. O controle estatístico de processo consiste a coleta, análise e interpretação de dados. A falta desta ferramenta da qualidade não permite estabilizar, determinar e reduzir a variabilidade (dispersão) das principais características críticas e melhorar continuamente o processo conforme prescreve o TQM. Ainda, a falta de tecnologias mais avançadas dificulta a otimização do processo conforme apresentado no item 5.2.

É vital para um sistema de controle da qualidade, não só a precisão (grau de concordância entre resultados independentes de medição obtidas sob condições prescritas), mas também a exatidão (grau de concordância entre o resultado de medição e um valor verdadeiro) a fim de se saber qual a característica ligada à qualidade que está produzindo maiores perdas para o sistema como um todo, isto é, qual é aquela que tem a função de perda mais sensível. Também é importante levantar o método na qual a organização deve trabalhar. Para isso torna-se necessário, a implantação de métodos estatísticos a fim de indicar quais os parâmetros que estão fora do limites estatísticos de controle e aplicar as ações corretivas adequadas para a otimização do processo e a qualidade do produto [Deming, 1990]. Os métodos estatísticos são desenvolvidos para lidar com a incerteza e a variabilidade, e são fundamentais para se fazer inferência sobre processos a partir de uma amostra de uma população. Na planta analisada, porém, não foi detectada nenhuma ferramenta estatística implementada o que impede a estruturação de controle estatístico de processo.

Capítulo 6

Conclusões e Sugestões para Novos Trabalhos

O objetivo desta dissertação conforme foi definido na apresentação, foi o de analisar criticamente uma planta industrial de reciclagem de alumínio à luz de um sistema de gestão pela qualidade total. O objetivo final é o de demonstrar que um programa de Qualidade Total poderia auxiliar a empresa em questão a melhorar seu processo produtivo e diminuir a emissão de poluentes. Trata-se de um trabalho de levantamento bibliográfico que pode auxiliar a implantação de tais programas começando pela análise de processo.

6.1. Conclusões

O requisito básico para obter um metal líquido de alta qualidade, que atenda e satisfaça as exigências do cliente, é que todas as variáveis que afetam e influenciam o bom resultado, devem estar sob controle. A implementação de tecnologias avançadas e operações específicas que auxiliem a otimização da qualidade do metal líquido e minimize as perdas devem ser incorporadas ao processo de reciclagem.

Os objetivos dos programas de reciclagem são a preservação ambiental e a viabilidade econômica, o que torna os programas auto-sustentáveis ou até lucrativos, através da coleta e comercialização das latas vazias.

As embalagens de alumínio apresentam uma vantagem comparativa na reciclagem em relação às de outros materiais, face ao seu alto valor residual incentivando a coleta. O grande incentivo vem do valor econômico da sucata de alumínio que passou a representar uma fonte de renda para as camadas mais carentes da população. A tabela 5.1 mostra o preço da sucata de alumínio e de outros materiais para embalagens de bebidas [Andrade, 1998].

Tabela 6.1) Preço de sucata de embalagens:

Tipo de Sucata	Preço (US\$/ton)
Lata de Alumínio	566,00 a 1.187,00
Garrafa de PET	144,00 a 205,00
Lata de Aço	29,00 a 61,00
Garrafa de Vidro	11,00 a 61,00
Papéis	86,00 a 216,00

Fonte: BNDES, Março de 1998

Outra vantagem do alumínio refere-se ao fato de poder ser reciclado indefinidamente para o mesmo uso inicial, o que não acontece com os outros materiais, dos quais se obtém um reciclado mais impuro, utilizado em produtos de qualidade inferior. Por exemplo, no caso das garrafas de PET (polietileno tereftalato), o plástico que resulta da reciclagem é de última categoria, não podendo ser empregado sob a forma de produtos novos. A reciclagem mecânica (fabricação de novos produtos plásticos) é difícil, porque os plásticos precisam ser classificados em seus diversos tipos. A dificuldade de coletar, limpar e classificar os plásticos também elevam muito os custos. Segundo Lascelles [1994] custo é estipulado em US\$ 1,96 mil a tonelada ou duas vezes o custo do plástico virgem. Por outro lado, no caso das latas de aço, o custo de coleta é superior da sucata, gerando despesa para o fabricante, razão por que elas devem ser coletadas apenas por sucateiros, pois seu pequeno valor não justifica investimentos em reciclagem, isto se deve ao fato

dos fabricantes de latas de aço trem que arcar com um custo adicional de coleta de latas[Andrade, 1998].

Os resíduos da indústria do alumínio são originário da recuperação do alumínio contido nas drosses e da reciclagem de sucatas em fornos rotativos. Os fornos rotativos são grandes geradores borra preta (black dross).

Com base no levantamento bibliográfico e da análise da planta industrial verificou-se que praticamente todos os itens do sistema de comando e controle de um sistema de Gerenciamento pela Qualidade Total não são seguidos.

A implementação de um programa completo de TQM é imprescindível para tal planta industrial para assegurar a sobrevivência da empresa em longo prazo (25 a 20 anos).

Investimentos em melhores tecnologias são indispensáveis para aumentar a recuperação do metal dos atuais 70/80% para a faixa de 90% ou mais.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) está propondo um projeto piloto para uso de uma nova tecnologia que não utiliza “sal” na recuperação de sucata e borras: o plasma.

O IPEA, tem como proposta a desoneração de qualquer espécie de tributo, em particular, do ICMS nas operações Interestaduais e do PIS/ CONFINS, para sucata e resíduos, e o incentivo para a utilização de material reciclado na fabricação de produtos, com benefício direto ao consumidor final.

O Ministério da Indústria, do Comércio e do Turismo tem como objetivo buscar alternativas de reciclagem dos resíduos e para minimizar a geração dos mesmos, através do Inventário de Resíduos Sólidos da Indústria, ferramenta básica que irá quantificar e qualificar os resíduos

industriais gerados na indústria. Esta atividade já sendo realizada pela Comissão de meio Ambiente da ABAL [ABAL,1998].

É preciso reduzir a geração de resíduos e racionalizar o uso de materiais e energia. Depois, reutilizar os produtos antes de descartá- los, para finalmente reciclá- los fazendo- os voltar sob a forma de novos produtos.

6.2 Sugestões para Novos Trabalhos Acadêmicos

Plano de Inspeção por amostragem para especificações de recebimento de sucatas de alumínio, referentes ao teor de impurezas contidas nos fardos de latas de alumínio.

Planejamento de Experimentos Industriais no processo de reciclagem de alumínio, a fim de detectar qual a principal causa que influencia na otimização do processo (eficiência na recuperação total do metal).

Implementação de um Sistema de Medição, a fim de avaliar o valor dimensional ou a conformidade de uma característica, com o objetivo de garantir a utilização adequada dos meios de medição;

Análise dos custos da má qualidade do produto (Alumínio Reciclado).

Implementação de um sistema de gestão ambiental, aos moldes da ISO 14000 para uma planta de reciclagem de alumínio.

Desenvolvimento de novas tecnologias para redução dos resíduos no processo produtivo.

Referências Bibliográficas

- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio) - Anuário Estatístico ABAL- São Paulo-1996.
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio) - Anuário Estatístico ABAL- São Paulo-1997.
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio) - Anuário Estatístico ABAL, São Paulo-1998.
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio) - *Reciclagem de Alumínio Contribui Com o Meio Ambiente*, Metal- Mecânica, São Paulo, Ano 4, n.24, junho/julho 1999 , p28 – 29.
- ABAL (Associação Brasileira do Alumínio) – *A Reciclagem do Alumínio no Brasil: “Programa Brasileiro de Reciclagem”*, São Paulo, outubro 1998, p1 – 10.
- Abrahão, Thais. “*Pequenos Descobrem Potencial da Reciclagem de Materiais*”,Jornal “O ESTADO DE SÃO PAULO”- São Paulo -Nov.1998.
- Adair, Charlene B. e Murray, Buce .A . *Revolução Total dos Processos : Estratégias para Maximizar o Valor do Cliente*, Ed. Nobel, São Paulo, 1996. 247p.
- Aisse, Miguel Mansur . *Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos* , Publicação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC),1981 . p 38 -41.

- Andrade, Maria Lúcia Amarante, José Ricardo Martins Vieira e Luiz Maurício da Silva Cunha. *Latas para Cervejas e Refrigerantes: " O Desafio Alumínio x Aço"*, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.7, março 1998, p3 – 28.
- Aurélio, Buarque de Holanda Ferreira. Novo Dicionário Aurélio , 2ª edição, Ed. Nova Fronteira - Rio de Janeiro, 1986.
- Brassard, Michael . *QUALIDADE , Ferramentas para uma Melhoria Contínua*, Ed. Qualitymark- Rio de Janeiro.1985 - p84.
- Brito, Octávio Elísio Alves . *Desenvolvimento Industrial Ecologicamente Sustentável - Metalurgia & Materiais - ABM*, Setembro 1992, Vol 48, No 409, p569 - 573.
- Calderoni, Sabetai . *OS Bilhões Perdidos No Lixo - 2 ed-* São Paulo: Humanitas Editora/FFLCH/USP - 1998.
- Calderoni, Sabetai . *O lixo que Vira Ouro - Globo Ciência* .Ed. Globo- Rio de Janeiro, Ano 8 - Nº85 - Agosto 1998 . p28.- 31.
- Cameron, Eugene N. At *The Crossroads: The Mineral Problems of the United States*, New York, Willey- Interscience, 1986.
- Campbell,J. *Casting - Buttrworth Heineman / AFS*, 1991, 287p.
- Campos Filho, Maurício Prates de , Graeme John Davies . *Solidificação e Fundição de Metais e Suas Ligas*. Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1978- 239p
- Carvalho, Luiz Sérgio . *Considerações Sobre Perda de Fusão na Refusão de Sucatas de Alumínio - III Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio - São Paulo,1996 -p 54 - 63.*

CEMPRE - Compromisso Empresarial Para Reciclagem, „Ficha Técnica nº4. *Latas de Alumínio*, 2ª ed., São Paulo.1997.

CEMPRE - Compromisso Empresarial Para Reciclagem, Ficha Técnica nº5, *Latas de Aço*, 3ª ed., São Paulo. 1997.

CEMPRE - Compromisso Empresarial Para Reciclagem, Ficha técnica nº 12, *Composto Urbano*, 1ªed, São Paulo.1998.

CEMPRE INFORMA, São Paulo, agosto de 1997.

Cerqueira, Edgard Pedreira . *“Iniciando os Conceitos da Qualidade Total”*- Equipe GRIFO - Ed. Pioneira, São Paulo- 6ª ed.. 1994.

Chiaverini, Vicenti. *Tecnologia Mecânica- Processos de Fabricação e Tratamento*, Ed.McGraw Hill do Brasil, 2ª ed., V.2,1986, p01 - 54.

Costa,J.J Da Serra. *Controle de Qualidade (Aspectos Organizacionais e Modelo Estatístico)*, Ed.Rio, Rio de Janeiro, 1977, p01 - 87.

Czarnobai, Claudio Fernando e Pignataro, Deoclécio José . *Latas de Alumínio para Bebidas*. Mineração Metalúrgica, nº 490, p.12 - 15.

Deming, Walter Edwards. *“Qualidade: A revolução da Administração”*, Editora Marques Saraiva S.A - Rio de Janeiro, 1990

Dively, R. W. *"Melting and Casting of Nonferrous Alloys"*, Metals Handbook, vol. 5, Part. B, Melting and Casting, 8ºed., Ohio, USA, 1972, pp. 396-397.

- Drouet, Michel G, Jean Meunier, and Claude B. Laflame. *Dross Treatment in a Rotary Arc Furnace with Graphite Electrodes*. Journal The Minerals Metals & Materials Society, May 1994. v46, n^o 5, p26-27
- Drouet, Michel G. "A Rotary Arc Furnace For Aluminium Dross Processing"- *third Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials*- Edited by Queneau and R.D. Peterson, The Materials, Metals & Materials Society, 1995, p803-812
- Duston, Thomas E. *How to Measure The Gains from Recycling, Recycling Solid Waste*, London, Quorum Books, 1993.
- Duston, Thomas E. *recycling Solid Waste - The First Choice for Private and public Sector Management*, London, Quorum Books, 1993.
- Elwing Rooy. *Aluminum Dross- Liability into Opportunity*. Light Metal Age, June, 1995. P.40 - 46.
- Eigenheer, Emilio Maciel . *Coleta Seletiva de Lixo*, Universidade Federal Fluminense -Centro de Informações sobre Resíduos Sólidos Campus Praia Vermelha- Rio de Janeiro. Tel (0XX21) 717-8181, N^o2, 1998. 280 p
- Falcão, Rosa. "Reciclagem Transforma lixo em Dinheiro"- Jornal "Diário de Pernambuco- Maio de 1999
- Filho, A,C Brant. *Desafios da Reciclagem de latas de alumínio* , Alcan Alumínio do Brasil S.A- Coletânea do II Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio, São Paulo, 1995
- Filleti, Ayrton . *Aspectos Ambientais na Fundação de Alumínio* -V Seminário de Tecnologia da Indústria do Alumínio, São Paulo, 1995. p 339 - 353

- Filleti, Ayrton. *Desafios da Reciclagem de latas de Alumínio no Brasil- A experiência da ALCAN Brasil*. VI Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio, São Paulo, 1997. p 553-560.
- Filleti, Ayrton. *Desafios da Reciclagem de latas de Alumínio no Brasil- Panorama e Perspectivas*. III Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio, São Paulo, 1996.p 88-95.
- Fuoco Ricardo, Edison Roberto Corrêa . *Inclusões de óxidos em ligas de Alumínio - Silício, Origem Caracterização e Efeitos*, .IV Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio, São Paulo, 1997. P 517 -546.
- Giosa, José Roberto . *Reciclagem de latas de Alumínio no Brasil - Panorama e Perspectivas - III Seminário Internacional de Alumínio*, São Paulo, 1996. p.97 - 101
- Informativo Interno da Lata de Alumínio S.A - LATASA dirigido a seus funcionários e amigos. *Recorde em 97*, Notícias NALATA, Ano 3 - Nº21- Abril/1998. p4/7.
- IQA- Instituto da Qualidade Automotiva .Manual de Referência: *Fundamentos de Controle Estatístico do Processo (CEP)* .São Paulo, 1.ed, junho 1997, 161p.
- Ishikawa,Kaoru. Controle de Qualidade Total :“À maneira Japonesa”: tradução de Iliana Torres - Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1993
- Juran, J.M. *Controle de Qualidade- Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade*, Volume I- Ed. McGraw-Hill Ltda- São Paulo - 1990
- Juran, J.M. *A Qualidade desde o Projeto - Os Novos Passos Para o Planejamento Da Qualidade Em Produtos E Serviços*. Ed. Pioneira, São Paulo 1992

- Juran, J.M. *Juran na Liderança pela Qualidade - Um Guia Para Executivos* - 3ª ed - Ed. Pioneira, São Paulo - 1993.
- Kane, Victor E., *Defect Prevention : Use of Simple Statistical Tools*, Ed. ASQC Quality Press, USA, 1948.
- Krishnamoorthi, K.S. *Quality Control For Operators & Foremen*, Ed. ASQC Quality Press, USA, 1979.
- Kruger, Paulo Von. *Panorama Mundial do Aproveitamento de Resíduos Na Siderurgia - Metalurgia & Materiais* - fevereiro /1995. p116 -119.
- Kume, Hitoshi. *Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*, Editora Gente - São Paulo, 1993.
- Lascelles, David. *A Busca de Soluções para Reciclar o Plástico*, Gazeta Mercantil, São Paulo, 10/ novembro /1994, p15.
- LATASA, Catálogo . *Lata de Alumínio : A Evolução da Embalagem* - Av. Pres. Wilson, 231- 24º andar - Cep 20030-021 - Rio de Janeiro - RJ
- LATASA, Reynolds . *Fatores Interessantes Sobre Reciclagem de Latas de Alumínio* - RecyNews : Notícias do Programa de Reciclagem da Lata de Alumínio - Tel. (021) 282 -1382.
- LATASA, Reynolds . *Programa de Reciclagem da Lata de Alumínio* - Informações Básicas- Tel. (021) 282 -1382, 1995.
- LATASA, Reynolds . *Programa de Reciclagem da Lata de Alumínio* - Informações Básicas- Tel. (021) 282 -1382, 1997.

- Lemos, Ivania Geraldo. *Gráficos de controle para média de um processo com limites de advertência e tamanhos amostrais variáveis*. Tese de Mestrado em Estatística - Universidade Estadual de Campinas, 1991- 50 p.
- Leyria, Cláudio ,“*LATASA incentiva ação de catadores de lata*”, Jornal Vale Paraibano, São José dos Campos- São Paulo, 19 de outubro 1997.
- Lobos, Julio . *Qualidade! Através das Pessoas* - 10^a ed. , Editora Hamburg [Câmara Brasileira do Livro] - São Paulo - 1991- 184p.
- McAvoy B. , McNeish J. & Stevens W. *The Alcan Decoater Process For UBC Decoating* - Second International Symposium _ Recycling of Metals and Engineered Materials - The Materials, metals & Materials Society - 1990 - p203 - 214.
- Monte, Marisa B.M. *Panorama do Mercado Mundial de alumínio: Perspectivas e Oportunidades para o Metal e Suas Ligas*, Metalurgia & Materiais , Julho 1995 - p 600 - 610.
- Montgomery, Douglas C. *Introduction to Statistical Quality Control*, 3rd ed- Editora John Wiley & Sons, Inc.- United States of America, 1997.
- Montgomery, Douglas C. *Design and Analysis of Experiments*, 4rd ed- Editora John Wiley & Sons, Inc.- United States of America- 1997
- Ogata, Katsuhiko. “*Engenharia de Controle Moderno*”- Ed. LTC, 1993
- Oliveira, Sidney Teylor de. *Ferramentas para o Aprimoramento da Qualidade*,, Editora Pioneira, São Paulo, 1995 - pp10 -11.

- Ohno, Taiichi. *“Produtividade e Qualidade no Piso de Fábrica”*- Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais (IMAM), São Paulo, 1989.
- Oosumi, Kenji . *Influence of Paint on Recycling of Aluminium Used Beverage Cans (UBC)* - Kobelco Technology Review, nº 18, April 1995, p34 – 36.
- Popovici, Marcel. *Reciclagem e Reutilização de Resíduos na Indústria do Alumínio*, II Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, São Paulo, 12 – 18out, 1997.
- Powelson, David & Powelson, Melinda. *The Recycler's Manual for Business, Government and The Environmental Community*, New York, Van Nostrand Reinhold, 1992.
- Publicação Técnica da URBAM S.A . *Coleta Seletiva: Um Sistema Simples e Eficiente com Resultados Reconhecidos Pela Sociedade*, São José dos Campos- São Paulo, nº2 - 1997. pp19 - 20.
- Reddy R.G. *Low Melting Fluxes For Recycling of Al Scrap* ,The Minerals, Metals & Materials Society, -1996, pp389 – 406.
- Rocha, Hamilton Magalhães, Dárcio Allgetti. *Operação do Centro de Reciclagem da Alcan em Pindamonhangaba*, V Seminário Internacional de Reciclagem do Alumínio, São Paulo, setembro 1999, pp88 - 95.
- Rooy,Elwin . *Aluminum Dross - Liability into Opportunity* . Light Metal Age, 1995. p40- 46.
- Santos, Jackson Pereira .*Atuação dos Sucateiros no Brasil*, III Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio. São Paulo, 1996. p.13- 21.
- Santos , José J. Horta. *Automação Industrial* - Ed. Livros Técnicos, Rio de Janeiro, 1979.

Scherkenbach, William W. *O Caminho de Deming Para a Qualidade e Produtividade*, 6ª ed - Ed. Qualitymark - Rio de Janeiro, 1996.

Schraeffler, Lirio e Rainys, André G. *Aspectos sobre deformação a quente de alumínio reciclado*, II Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio - São Paulo, 1995. p 421-429.

Shinzato, Miriam Chieko. *Rejeito da Reciclagem de Alumínio e seu Reaproveitamento* – Palestra Proferida na Associação Brasileira do Alumínio – ABAL, São Paulo, 7/maio/2000.

Silva, José Roberto Gonçalves da . *Reciclagem e Substituição de Materiais* - Metalurgia & Materiais - Associação Brasileira dos Metais (ABM), Julho 1992, Vol 48, No 407. p427 - 431.

Siqueira, Luiz Gustavo Primo . *“Controle Estatístico do Processo”*, Equipe Grifo, Editora Pioneira -São Paulo, 1997.

STEINS ATKINSON STORDY LTD, Catálogo. *Tecnologia de Remoção de Revestimento para Indústria de Alumínio*, Midland House, Ounsdale Road Wombourne, Wolverhampton West Midlands, Tel. 441902324000, Fax. 441902324544, England/UK, 1999.

Stephens, David, Tremblay François, Litalien Marko. *The Alcan Fluidized Bed Decoater: A New Generation of Decoating Technology*- The Minerals, Metals & Materials Society, 1995. p19 - 30.

Stevens W. *The Alcan Decoater Process For UBC Decoating* - The Minerals, Metals & Materials, 1990. p203 - 214.

Stevens, Wesley and Francois Tremblay , *Fundamentals of UBC Decoating/Delaquering For Efficient Melying*, Arvida Research and Development Centre - Alcan International Limited ,

Light Metals, Edited by Reciclar Huglen - the Minerals, Metal & Materials Society, 1997. p709 -712.

Stewart, A .L, J.G.McCubbin and J.Sulzer . *Melting Aluminum and Aluminum Alloys* - Aluminum Company of Canada , Ltd- Light Metal Age, December, 1995, p13 - 15.

Tenório, Jorge A S, Delgado, Fábio e Barros, Alexandre M . *Efeito das Variáveis Metalúrgicas no Processo de Reciclagem de Latas de Alumínio*, II Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio - São Paulo, 1995, p 53 -68.

Tenório, Jorge A S, Denise Croce Romano Espinosa. *Efeito da Composição do Fluxo Salino no Rendimento no Processo de Reciclagem de Alumínio*, Metalurgia&Materiais, REM: Minas, Ouro Preto, 52 (3), Julho/ Setembro, 1999, pp 203-208.

Tremblay, Francois & Marco Litalien . *The ALCAN Fluidized Bed Decoater: A New Generation Of Decoating Technology* , Third International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials, edited by P.B.Queneau and R.D. Peterson- The Minerals, Metals & Materials Society, 1995. p19 - 29.

Viterbo, Enio Junior. *Integrando a ISO 9000 com a Qualidade Total*, CQ - Qualidade, Ed. Aranda, São Paulo, fevereiro de 1996, p50-59.

Yoshida, Sachio. and Mutoh, Nobuyuki. *Study on Detecting Nonmetallic Inclusions in Aluminium Can Stocks Using Lamb Wave Ultrasonic Testing* , Sumitomo Ligth Metal Technical Reports , Vol. 37, No.1, No2 (1996) .pp 57 -62.

Yoshinaga, Ciro. *Qualidade Total: A forma mais prática e econômica de Implementação e condução*, Copyright© 1988 by Ciro Yoshinaga , CDU 658.652.012.7,São Paulo, 1988.

- Walker, Denis .*O Cliente Em Primeiro Lugar - O Atendimento e a Satisfação do Cliente Como Uma Arma Poderosa de Fidelidade e Vendas*, Ed. Makron Books, São Paulo, 1991. p01 - 186.
- Wetherrill,G. Barrie & Brown, Don W. *Statistical Process Control: Theory and Practice* - 1st ed, Published by Chapman & Hall, 2-6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK- 1994.
- Wirtz, A . H .*The Ecological Demand and Practice for Recycling of Aluminium - Resources Conservation and Recycling*, 10 (1994). p 193 - 204.
- Wang S, *Low Melting Fluxes For Recycling of Al Scrap* , Metals & Materials, 1996. p389- 406.