

RECICLAGEM E RECUPERAÇÃO DE METAIS NÃO-FERROSOS: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE¹

Eduardo de Albuquerque Brocchi²
Rodrigo Fernandes Magalhães de Souza³
Hellington Bastos da Silva Santana³
Maria Isabel Ramos Navarro³
Daisiana Frozi Brizola³

Resumo

O crescente interesse por questões relacionadas com desenvolvimento sustentável tem motivado um maior empenho, tanto das indústrias como da comunidade científica, no sentido de se utilizar fontes alternativas nos processos de obtenção de metais não-ferrosos. Nos últimos anos, essa tendência pôde ser verificada a partir da crescente inclusão de metais e ligas descartados, resíduos e sucatas obsoletas em rotas de reciclagem e recuperação (de metais ou de outros compostos) pela indústria metalúrgica. Dentro desse contexto, o presente trabalho tem por objetivo a elaboração de uma concisa revisão bibliográfica acerca do estado da arte da reciclagem e recuperação de metais não-ferrosos. Nesse sentido, foi realizado um levantamento do panorama atual da reciclagem e recuperação de alguns metais, destacando os que possuem significativos percentuais de produção a partir de fontes alternativas. De forma complementar, realizou-se uma revisão dos processos mais utilizados pela indústria metalúrgica com enfoque na produção secundária desses metais assim como uma breve avaliação dos recentes desenvolvimentos tecnológicos e potencialidades desse setor. Observou-se que a produção secundária de metais não-ferrosos, assim como a dos respectivos metais primários, está associada com características geográficas e econômicas, sendo bastante influenciada pelas tendências do mercado. Por fim, a partir das referências utilizadas, foi possível constatar que metais como Pb, Au, Ag, Cr, Ni, Zn e Al estão entre os metais não-ferrosos que possuem uma elevada contribuição da indústria de reciclagem e recuperação sobre consumo metálico total. O Cr e o Ni estão particularmente associados com a reciclagem do aço inoxidável

Palavras-chave: Reciclagem; Recuperação; Resíduos; Metais não ferrosos.

RECYCLING AND RECOVERY OF NON-FERROUS METALS: A REVIEW OF THE STATE OF THE ART

Abstract

With the increasing interest in issues related to sustainable development it has been sought a greater commitment within both industry and scientific community to use alternative sources of raw material in the processes of obtaining non-ferrous metals. Recently, this trend could be verified with the ascending inclusion of rejected metals, alloys, waste and scrap in routes for recycling and recovery (of metals or other compounds) within the metallurgical industry. This paper has the purpose to develop a concise literature review of the recycling and recovery nonferrous metals state of the art. Accordingly, a survey was conducted to verify the current situation of the recycling and recovery processes of some metals, especially those with significant percentage of production from alternative sources of raw materials. Moreover, it was carried out a review of the most used metallurgical processes focused on secondary production of these metals as well as a brief assessment of recent developments and potential alternatives. It was observed that the secondary production of non-ferrous metals as well as their primary metals, is associated with economical and geographical characteristics with a big influence from the market. From the references, it was found that metals such as Pb, Au, Ag, Cr, Ni, Zn and Al are among the non-ferrous metals which have a high contribution to the recycling/recovery industry.

Key words: Recycling; Recovery; Residues; Non-ferrous metals.

¹ Contribuição técnica ao 67^o Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro, PhD, Professor Associado. Departamento de Engenharia de Materiais (PUC-Rio)

³ Estudante de Pós-graduação, Departamento de Engenharia de Materiais (PUC-Rio).

1 INTRODUÇÃO

O crescente interesse por questões relacionadas com sustentabilidade vem sendo responsável pelo uso cada vez mais frequente de fontes alternativas nos processos de obtenção de metais. Nos últimos anos, essa tendência vem se tornando cada vez mais evidente e pode ser verificada quando observada a maior utilização de metais, ligas, resíduos e sucatas em processos metalúrgicos de reciclagem e recuperação (de metais ou de outros compostos). Esse cenário, por sua vez, está fundamentado no desejo de potencialização dos aspectos sociais, econômicos e ambientais tendo por motivação o desenvolvimento sustentável da sociedade no que diz respeito à utilização de suas matérias-primas.

Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivos gerais realizar uma revisão bibliográfica concisa acerca do estado da arte da reciclagem e recuperação de metais não-ferrosos. De forma mais específica, o estudo pretende apresentar um breve panorama da situação desse setor, destacando os metais que possuem elevados índices de produção a partir de fontes alternativas de matéria-prima. Este estudo também descreve alguns processos utilizados na reciclagem e recuperação de metais não ferrosos (ou compostos contendo tais metais), assim como apresenta desenvolvimentos recentes e potencialidades associadas com este setor.

2 PANORAMA DO SETOR

A pesquisa bibliográfica se iniciou com uma revisão acerca do panorama do setor de reciclagem e recuperação de metais não-ferrosos. Verificou-se que muitas das estatísticas relacionadas com o setor metalúrgico se encontram em fontes dispersas, muitas delas específicas para determinados metais, existindo poucas fontes que se utilizam do mesmo padrão de comparação para estudar metais diversos. Além disso, foi observada uma aparente ausência de uma fonte única contendo dados mais diretamente relacionados com a reciclagem e recuperação dos metais não ferrosos no mundo, sendo, portanto, muito empregado, como referência, os dados relativos a um mesmo país. Nesse sentido, a referência mais completada e, por conseguinte, bastante utilizada nesse estudo foi a dos relatórios anuais US Geological Survey, baseada em dados do cenário americano.

O estudo do panorama atual do setor indicou que a indústria de reciclagem e recuperação, assim como a de extração, apresenta características locais relacionadas com a abundância da matéria-prima (reservas naturais) assim como uma relação estreita com a indústria de produção do metal primário (custos de produção e oscilações do mercado).

Verificou-se que as principais fontes de matéria-prima na indústria de reciclagem americana são oriundas de equipamentos eletrônicos (ex.: computadores, baterias e televisões). Outros produtos bastante destacados nesse sentido são resíduos de pinturas e óleo de motor, latas de alumínio e lâmpadas fluorescentes. A Figura 1 ilustra as dez categorias dos materiais mais reciclados.

2009 Top 10 Categories

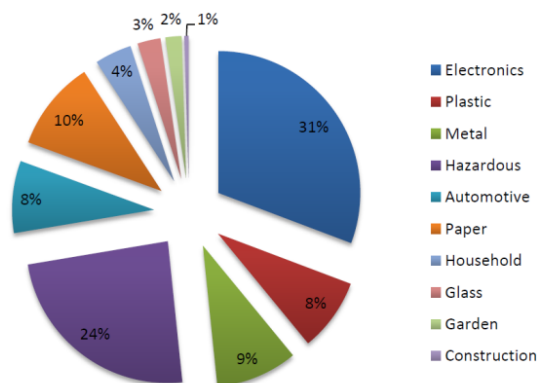


Figura 1 - Origem dos materiais mais reciclados.⁽¹⁾

Observa-se que os materiais eletrônicos representam quase 1/3 das fontes de materiais para reciclagem. É possível notar ainda que os materiais perigosos, devido as suas características, também possuem uma grande representatividade nesse setor. No que diz respeito diretamente aos metais, verifica-se que estes são responsáveis por 9% dos materiais empregados nessa indústria. Essa fatia do setor pode ainda ser estudada no que tange aos principais metais não-ferrosos que a compõe, conforme apresentado na Figura 2.

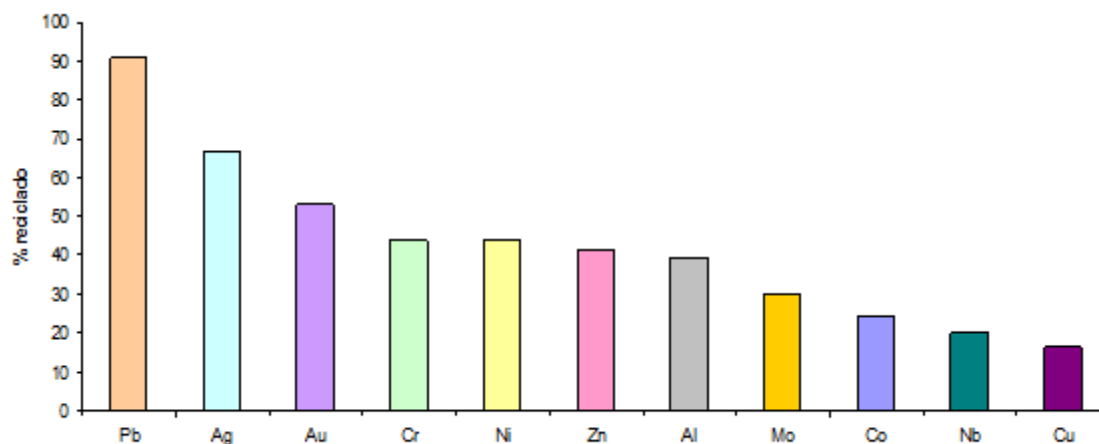


Figura 2 - Percentual dos metais mais reciclados.⁽²⁾

É possível notar que o chumbo ($\approx 90\%$) e os metais preciosos ($> 50\%$) são os principais elementos reciclados na indústria particularmente devido à periculosidade do Pb no meio ambiente e ao valor de mercado de Au e Ag. Além disso, nota-se que o Al não se encontra entre os cinco metais, apesar da expectativa associada com os índices de reciclagem de latas de alumínio. Por sua vez, o Cr e o Ni apresentam bons índices de reciclagem (45% e 44%, respectivamente), os quais estão relacionados, principalmente, com a reciclagem de sucatas de aço inoxidável via processos em aciarias elétricas.

3 ESTUDO ESPECÍFICO PARA ALGUNS METAIS

3.1 Alumínio

Apesar de não ser percentualmente um dos metais não-ferrosos mais reciclados, o Al possui um importante papel nessa indústria, visto que existe a rota de reciclagem mais conhecida mundialmente se dá a partir de latas de alumínio. Além disso, é válido ressaltar que essa rota permite a geração de renda para as famílias envolvidas com a coleta de latas e demais resíduos o que, por sua vez, constitui um aspecto social estimulante a esse processo.

O processo produtivo de Al possui elevado custo associado com a energia elétrica e, dessa forma, existe um estímulo à reciclagem de sucatas e resíduos. Verifica-se uma economia de até 95% de energia elétrica em relação ao processo de produção do metal primário. A principal fonte de matéria-prima se dá a partir de sucatas geradas por produtos de vida útil esgotada assim como de sobras de processo.

As Figuras 3 e 4, apresentam os índices associados à reciclagem do metal assim como em relação às latas de alumínio permitindo realizar uma distinção entre esses dois cenários específicos.

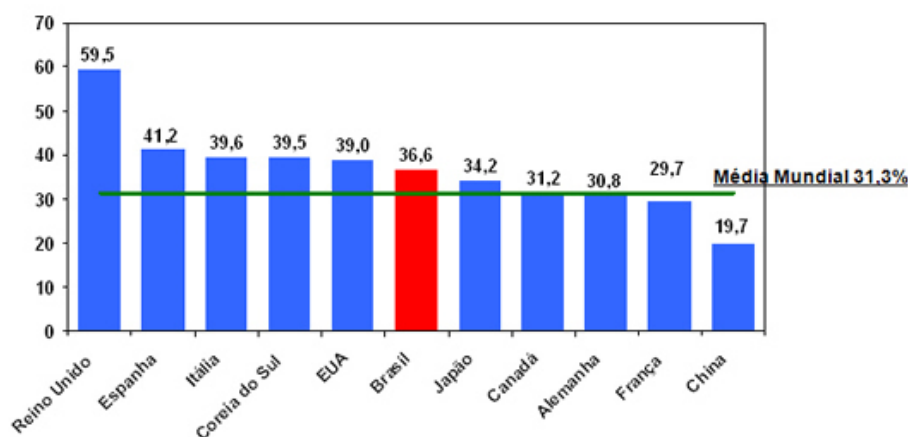


Figura 3 - Índices mundiais de reciclagem de Al.⁽³⁾

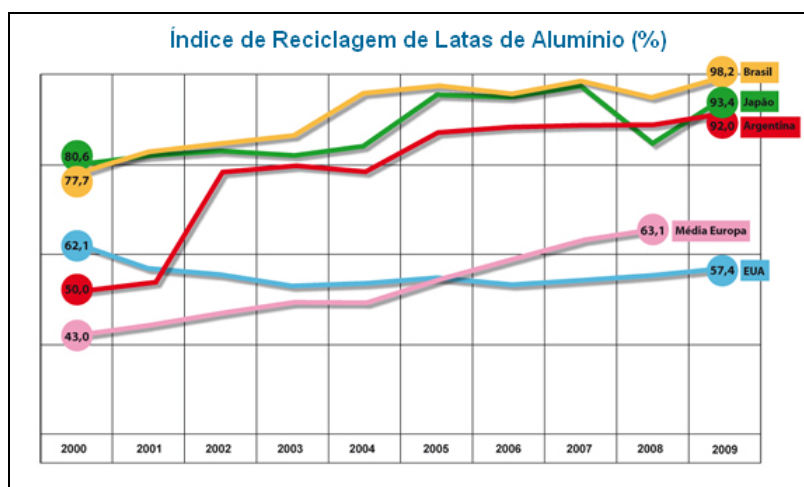


Figura 4 - Índices de reciclagem associados às latas de Al.⁽⁴⁾

Verifica-se que elevados índices de reciclagem de latas de alumínio não necessariamente são responsáveis por elevados índices de reciclagem do metal

propriamente dito. Por exemplo, no Brasil 98,2% das latas são recicladas enquanto apenas 36,6% do metal possui essa característica. Tal fato está associado à presença de outras demandas para Al no mercado (ex: esquadrias) assim como à marcante presença de reservas naturais desse metal.

3.1.1 Processos de reciclagem: fusão de sucatas

O processo tem início na coleta do alumínio a ser reciclado seguido por uma limpeza e arranjo do material em fardos. Esses, por sua vez, são encaminhados para os centros de reciclagem onde são desenfundados e fragmentados. Após a remoção eletromagnética dos metais ferrosos, repetem-se as etapas de fragmentação e separação eletromagnética antes do peneiramento para remoção de resíduos específicos (ex.: areia). A seguir, é realizada uma separação de materiais leves (ex.: papel, plásticos) por jatos de ar seguido por um aquecimento preliminar para remoção de tintas e vernizes. De forma subsequente, é realizada a fusão dos materiais e, caso necessário, adição de elementos de liga (ex.: silício, ferro, magnésio, entre outros) corrigindo a composição química até a especificação desejada. Ao final, realiza-se o lingotamento do alumínio antes das etapas de conformação mecânica.⁽⁵⁾

3.2 Chumbo

Ao longo dos últimos anos, em função de aspectos ambientais e questões de saúde, classificou o Pb como um metal perigoso. Tal fato quando associado à diminuição das reservas naturais desse metal estimulou o aumento dos índices de reciclagem desse metal. Desta forma, devido à crescente valorização dos processos de reciclagem nos últimos anos, verifica-se que o chumbo se apresenta como o metal mais reciclado no mercado americano ($\approx 90\%$). Dentre as fontes alternativas de chumbo, é válido destacar as baterias que são responsáveis por 75% da produção desse metal.

Nesses materiais, o Pb se encontra, normalmente, na forma de metais, óxidos e sulfatos que são separados e direcionados para reciclagem e recuperação em diferentes etapas.

3.2.1 Processo de reciclagem: fusão em forno mantido em torno de 500°C seguido de eliminação de impurezas mais comuns

O processo de reciclagem tem seu início a partir da fusão dos materiais e subsequente separação e eliminação das impurezas mais comuns,^(6,7) conforme apresentado a seguir:

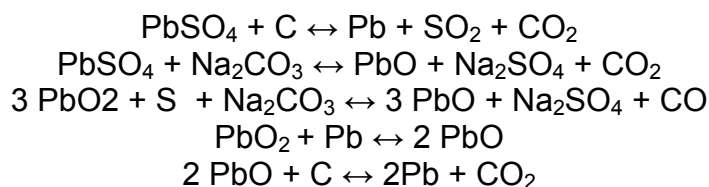
- Eliminação de cobre - como o Cu é apenas ligeiramente solúvel em Pb líquido tendo uma composição eutética localizada em 99,94% é realizada a separação por aquecimento, até um pouco acima do ponto eutético, formando um produto sólido sobrenadante chamado lodo de cobre.
- Eliminação de estanho, arsênio e antimônio - separação realizada a partir da formação de compostos de maior grau de oxidação de As, Sn e Sb quando aquecidos com sais alcalinos. Sabendo que compostos alcalinos são substancialmente livres de chumbo, obtém-se produtos intermediários sem esse metal recuperando até cerca de 95% dos sais utilizados.
- Eliminação de metais preciosos - esses metais, por sua vez, são removidos pelo método de Parkes a partir da adição de Zn metálico puro. Com a adição de zinco no banho de chumbo, obtém-se, com o resfriamento, uma liga de prata, zinco e

chumbo, que contém outros metais preciosos. Desta forma, a partir da liga o Zn pode ser destilado, enquanto prata e chumbo são separados devido à diferença entre as afinidades desses metais pelo oxigênio. Sabe-se ainda que Zn e Pb fundidos são praticamente imiscíveis e que Ag e Au são muito mais solúveis em zinco líquido do que no chumbo líquido, possibilitando assim a separação desses metais preciosos.

- Eliminação de zinco - remoção com base na maior afinidade que o zinco possui em relação ao oxigênio. Operacionalmente, essa etapa se dá a partir do aumento da agitação ou borbullhamento de ar no banho.

3.2.2 Processo de recuperação: redução em fornos visando à conversão dos sulfatos em óxidos

A partir de misturas de carvão em pó ou coque, ferro, carbonato de sódio (Na_2CO_3), cal (CaO) e sílica (SiO_2) realizam-se as seguintes reações para se recuperar chumbo a partir dos sulfatos presentes nas baterias:^(6,7)



Verifica-se que ao final, se dá a formação de escórias ricas em enxôfre que quando separadas do banho permitem a recuperação do chumbo na sua forma metálica, após a redução com o carbono dos óxidos de Pb.

3.3 Zinco

Recentemente, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de aprimorar o desempenho de processos de recuperação a partir de rota eletroquímica, particularmente no que diz respeito às pilhas e baterias. Além disso, estão sendo investigados processos conduzidos em meio aquoso a fim de solubilizar as frações metálicas presentes em alguns resíduos industriais. Essa, por sua vez, possui uma clara motivação voltada para se recuperar Zn em solução para a indústria química.

Todavia, verifica-se um grande interesse industrial no que diz respeito às rotas em altas temperaturas com o intuito de se recuperar zinco de resíduos sólidos provenientes da borra de galvanização assim como poeira de aciaria na forma de óxido.

3.3.1 Processo de recuperação: formação de ZnO em Forno Waëlz

Nesse processo industrial, podem ser empregadas diferentes formas de resíduos portadores de Zn, tais como:

- poeira de aciaria elétrica;
- resíduos de galvanização;
- outros resíduos e precipitados.

Uma das principais características desse processo está relacionada com a flexibilidade do Forno Waëlz,⁽⁸⁾ visto que podem ser empregados diferentes tipos de resíduos na mesma corrida, inclusive com diferentes teores de Zn,⁽⁹⁾ não sendo necessário secar previamente a carga inicial. A única etapa preliminar desse

processo está relacionada com a necessidade de um ajuste granulométrico da carga a fim de estimular um funcionamento uniforme do forno.

O forno utilizado nessa rota de recuperação pode ser definido como um forno rotativo inclinado com fluxo gasoso em contracorrente onde, na parte inferior, é realizado o vazamento da escória ao passo que no topo além da alimentação é feita a recuperação do ZnO condensado. A Figura 5 apresenta de forma esquemática o Forno Waëlz e suas respectivas zonas de reação.

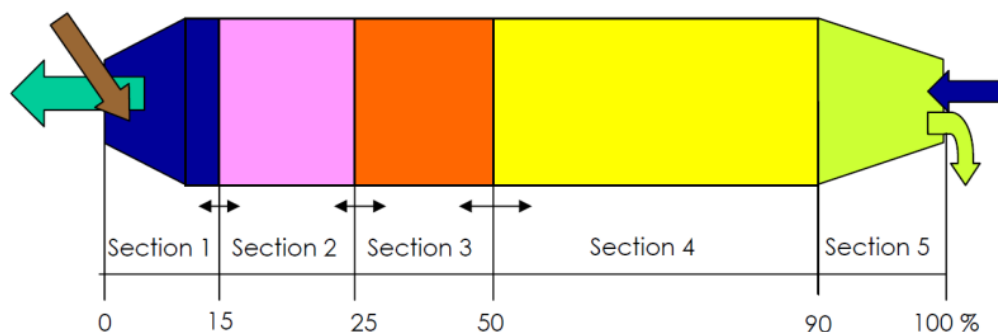


Figura 5 - Visão esquemática do Forno Waëlz e respectivas zonas de reação.⁽⁸⁾

Em cada uma dessas zonas de reação são realizadas diversas reações, algumas na carga sólida descendente e outras na atmosfera reinante na seção do forno. Por exemplo, as zonas 1 e 2 são responsáveis pelas etapas de Secagem, Pré-aquecimento do Forno e Combustão do Carbono. A zona 3, por sua vez, é responsável pelas reações preliminares que viabilizam as reações principais de redução, volatilização e condensação do Zn na zona 4. Por fim, a zona 5 torna-se responsável pela formação e vazamento da escória rica em ferro.

A Figura 6 apresenta as reações mais importantes em função das diferentes zonas de reação assim como em relação ao local onde a reação se dá de fato (carga descendente ou atmosfera reinante).

Uma das motivações para utilização deste processo está associada com o fato que ele pode ser incorporado na rota industrial convencional (ustulação, lixiviação, purificação da solução, eletrólise). Neste caso, o forno utiliza um material portador de zinco gerado em uma das fases intermediárias da lixiviação/purificação, evitando, assim, as etapas subsequentes, e mais comprometidas ambientalmente, de precipitação seletiva. O óxido obtido retorna para a etapa de solubilização do zinco.

| | | | |
|-------------------|--|----------------------------|-----------------------|
| Section 1 15 % | Charge: $\text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow \text{H}_2\text{O} (\text{g})$ $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} (\text{g})$ $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} (\text{g})$ Freeboard: no reaction | Freeboard [°C] 720-1000 | Charge [°C] 20-150 |
| Section 2 10 % | Charge and Freeboard: $\text{C} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}$ $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z + n\text{O}_2 \rightarrow a\text{CO} + b\text{CO}_2 + y/2\text{H}_2\text{O}$ | 900-1100 | 150-500 |
| Section 3 15 % | Charge: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ $\text{CdO} + \text{CO} \rightarrow \text{Cd} (\text{g}) + \text{CO}_2$ $\text{CuO} + \text{CO} \rightarrow \text{Cu} + \text{CO}_2$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{FeO} + \text{CO}_2$ $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2$ $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ Freeboard: $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ | 1100-1300 | 500-900 |
| Section 4 50 % | Charge: $\text{ZnO} + \text{CO} \rightarrow \text{Zn} (\text{g}) + \text{CO}_2$ $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ $\text{ZnS} + \text{Cu} \rightarrow \text{Zn} (\text{g}) + \text{CuS}$ (Side-reaction) $\text{ZnS} + \text{Fe} \rightarrow \text{Zn} (\text{g}) + \text{FeS}$ $\text{FeS} + \text{Pb} \rightarrow \text{Fe} + \text{PbS} (\text{g})$ $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{ZnO} + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{ZnO} + \text{CO}_2$ $\text{ZnO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{Zn} (\text{g}) + \text{SiO}_2 + \text{CO}_2$ Freeboard: $\text{Zn} (\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{ZnO}$ $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ | 1300 (1400) - 1000 | 900-1200 (1300) |
| Section 5 10 % | Charge: $\text{Fe} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO}$ Burner: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ | 1000 - 20 | 1150 - 1000 |

Figura 6 - Reações ocorrendo no interior do Forno Waëlz.⁽⁸⁾

3.4 Cromo e Níquel

O demanda por estes metais é significatva na fabricação de aços inoxidáveis. Eles são reciclados a partir dos próprios metais descartados, de ligas (particularmente as ferrosas), sucatas em geral (inclusive as de aços inoxidáveis) e óxidos.^(10,11) O processo de reciclagem concentra-se, prioritariamente, nos fornos elétricos, que são responsáveis pela produção dos aços inoxidáveis.⁽¹²⁾

3.5 Metais Preciosos

Devido ao elevado valor de mercado, existe um marcante interesse em processos de reciclagem e recuperação de metais preciosos, tanto por parte da indústria metalúrgica como dos centros acadêmicos de pesquisa. Esses metais são raramente encontrados na natureza e são muito utilizados no controle da economia, aplicações de precisão (ex.: catalisadores) e fármacos. Por definição, são considerados metais preciosos: Au, Ag e os Metais do grupo da platina (Pt, Pd, Rh, Os, Ir e Ru).

Os metais preciosos geralmente se encontram associados a outros metais na forma de ligas (ex.: jóias) ou sob a mesma estrutura física (ex: eletrônicos e catalisadores).

Desta forma, normalmente, os processos têm por finalidade recuperar todos os metais preciosos coletivamente.

3.5.1 Processo de recuperação: Processo Umicore

Esse processo é decorrente da fusão e refino dos metais integrados, recuperando metais preciosos, metais especiais (Se, Te e In), metais secundários (Sb, Sn, As e Bi) e metais comuns (Cu, Pb e Ni). Como matéria-prima, podem ser processados por esse método:

- subprodutos metalúrgicos de não ferrosos (ex: mates e sedimentos anódicos);
- sucatas de metais preciosos;
- sucatas de lingotes;
- catalisadores industriais e automotivos; e.
- placas de circuito impresso.

Nesse processo, reduz-se o cobre (aqui utilizado como “coletor” dos metais preciosos) com coque e injeção de ar atmosférico mais materiais combustíveis. Se a origem da matéria-prima for sucata eletrônica o coque utilizado pode ser parcialmente substituído pelos polímeros presentes. São obtidos lingotes de cobre contendo os metais valiosos e uma escória que, depois, é tratada para se recuperar o chumbo. Os lingotes, por sua vez, recebem um tratamento eletroquímico produzindo cobre puro e um concentrado de metais preciosos. Estes metais então podem ser recuperados por rotas hidrometalúrgicas que incluem técnicas como cupelação e cementação. A Figura 7 apresenta o fluxograma desse processo.

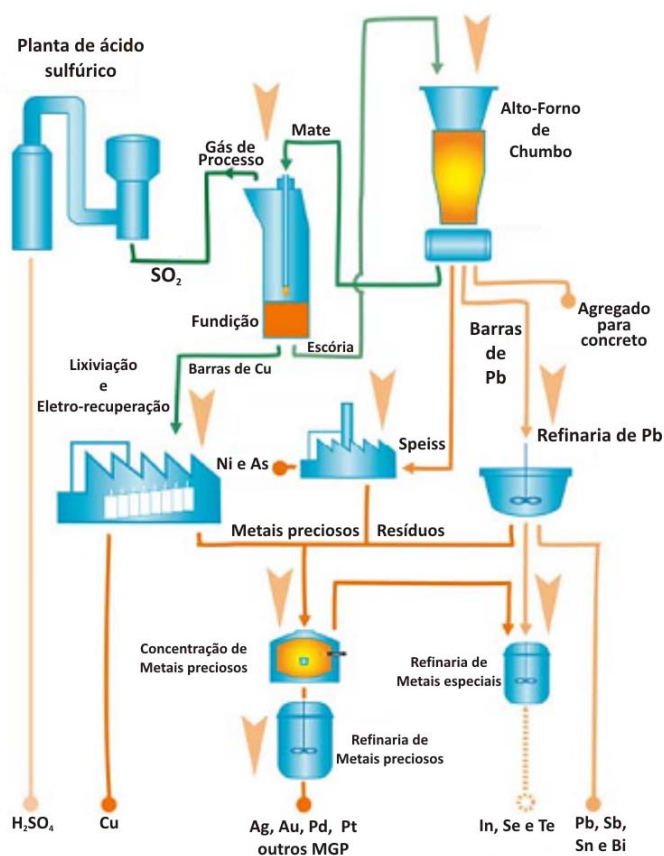


Figura 7 - Fluxograma do Processo Umicore.⁽¹³⁾

3.5.2 Processo de recuperação: Processo Noranda

Nesse processo de recuperação são utilizados como matérias-primas resíduos oriundos de equipamentos eletrônicos e outras formas de sucata, juntamente com concentrados de cobre.

A Figura 8 ilustra o fluxograma do Processo Noranda incluindo a entrada de matérias-primas oriundas de reciclagem.

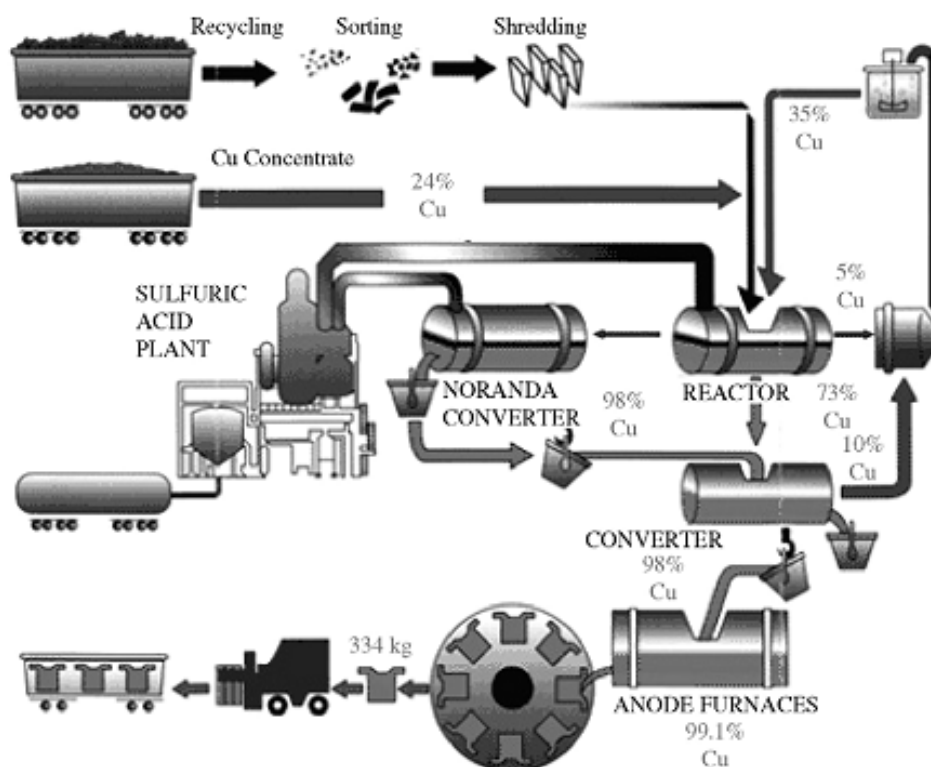


Figura 8 - Fluxograma do Processo Noranda.⁽¹⁴⁾

Nesse processo, os materiais são alimentados em um reator onde o banho metálico a 1.250°C é submetido a uma mistura de ar enriquecido ($\approx 39\%O_2[g]$). Forma-se uma zona de oxidação que converte impurezas como Fe, Pb e Zn em óxidos (formação de escória). Com o resfriamento e cominuição da escória a fim de se recuperar os metais nela presente antes do descarte (estocagem) separa-se esses metais. Por outro lado, a fase mate, que contém os metais preciosos, é transferida para os conversores onde o cobre líquido é refinado em fornos de ânodos gerando Cu com pureza de 99,1%. Os 0,9% restantes referem-se aos metais preciosos, incluindo Au, Ag, Pt e Pd que, por sua vez, são recuperados por eletrólise.

4 CONCLUSÕES

Existe certa dificuldade em se encontrar informações relacionadas com as estatísticas de reciclagem global dos metais não ferrosos em uma única fonte. Assim como em relação à produção dos metais primários, esta indústria está associada com características geográfica e econômica dos países, sendo bastante influenciada pelas variações de mercado. Verificou-se que metais como Pb, Au, Ag, Cr, Ni, Zn e Al estão entre aqueles que possuem uma elevada contribuição da indústria de reciclagem e recuperação sobre consumo, nos EUA, dos respectivos metais.

Observou-se que o alumínio possui índices de reciclagem similares aos dos demais metais não ferrosos ($\approx 31\%$) apesar da elevada contribuição oriunda da reciclagem de latas ($\approx 98\%$ no Brasil). Constatou-se que este metal é essencialmente reciclado por fusão de sucatas

No que diz respeito ao chumbo, foram observados elevados índices de reciclagem ($\approx 90\%$) associados com a pequena oferta de minérios de Pb. As baterias automotivas se constituem na principal fonte de matéria-prima alternativa ($\approx 75\%$). Delas recicla-se o Pb metálico por fusão e refino enquanto os óxidos e sulfatos são utilizados para recuperação de Pb por diferentes métodos (redução ou lixiviação)

O zinco, por sua vez, se encontra dentro da média de reciclagem e recuperação dos metais não ferrosos com maior destaque nesse setor (41%). Industrialmente, ZnO vem sendo recuperado, em Forno Waelz, a partir de diferentes tipos de rejeitos (poeira de aciaria e resíduo de galvanização) e precipitados (etapa de lixiviação).

O cromo e o níquel apresentam bons índices de reciclagem (45% e 44% , respectivamente), os quais estão relacionados, principalmente, com a utilização de sucatas de aço inoxidável em aciarias elétricas.

Por fim, no que tange os metais preciosos, verifica-se que os índices de reciclagem são bastante elevados, particularmente para Ag e Au. Em função do elevado valor de mercado, a reciclagem torna-se muito vantajosa do ponto de vista econômico. Diferentes fontes alternativas de matéria-prima (exs: contatos eletrônicos, lama anódica) e processos do tipo Umicore e Noranda fazem parte deste contexto. Outras iniciativas, principalmente baseadas em sucessivas lixiviações e purificações das soluções obtidas, também são citadas no que diz respeito à utilização da lama anódica.

REFERÊNCIAS

- 1 EARTH911. 2009 Annual Recycling Search Report. Disponível em: <https://webmail.aluno.puc-rio.br/src/webmail.php>. Acesso em: 02 de Outubro de 2011
- 2 UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Minerals Information. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/>. Acesso em: 29 de Setembro de 2011
- 3 ABAL. Relação entre Sucata Recuperada e Consumo Doméstico. Disponível em: http://www.abal.org.br/industria/estatisticas_recicla_total.asp?canal=8. Acesso em: 01 de Outubro de 2011
- 4 ABAL. Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio (%) Disponível em: http://www.abal.org.br/industria/estatisticas_recicla_latas.asp?canal=8. Acesso em: 01 de Outubro de 2011
- 5 Lima, D. R.; Mota, J. A.; A reciclagem da lata de alumínio no Brasil: Limites e Possibilidades para o Desenvolvimento Sustentável. III Congresso Internacional do Alumínio, p.80-86. São Paulo, 2007.
- 6 A. M. Bernardes, D. C. R. Espinosa, and J. A. S. Tenório,; "Recycling of batteries: a review of current processes and technologies" Journal of Power Sources, vol. 130, p. 291-298, 2004.
- 7 D. Espinosa, "An overview on the current processes for the recycling of batteries" Journal of Power Sources, vol. 135, no. 1-2, p. 311-319, 2004
- 8 VALORES GMD. The Waelz Kiln. Disponível em: <http://www.valores.com/pdf/WaelzKilnDescription-EN.pdf>. Acesso em: 25 de Setembro de 2011

- 9 VALORES GMDB. Application of Waelz and Other Processes on Treatment of Steel Mill (EAF) Dust. Disponível em: <http://www.valo-res.com/pdf/PPT-EAFTreat2008.pdf>. Acesso em: 25 de Setembro de 2011
- 10 UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Nickel Report. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/mcs-2011-nicke.pdf>. Acesso em: 30 de Setembro de 2011
- 11 UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Chromium Report. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/chromium/mcs-2011-chrom.pdf>. Acesso em: 30 de Setembro de 2011
- 12 UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Iron & Steel Scrap Report. Disponível em: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_&_steel_scrap/mcs-2011-fescr.pdf. Acesso em: 30 de Setembro de 2011
- 13 Hagelüken, C; "Recycling of Electronic Scrap at Umicore Precious Metals Refining" Acta Metallurgica Slovaca, vol 12, p 111-120, 2006.
- 14 Chui, J; Zhang, L; "Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review" Journal of Hazardous Materials, vol. 158, nº: 2-3, p.228-256, 2008.