



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

MARCELO ANTONIO BOVOLENTA

## **PURIFICAÇÃO DO CHUMBO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE BATERIAS**

Assis

2012

MARCELO ANTONIO BOVOLENTA

## **PURIFICAÇÃO DO CHUMBO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação em Química Industrial.

Orientador: Silvia Maria Batista de Souza

Área de Concentração: Físico Química

Assis

2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

BOVOLENTA, Marcelo Antônio

**Purificação do Chumbo proveniente da reciclagem de baterias/ Marcelo Antônio Bovolenta. Fundação Educacional do Município de Assis- FEMA- Assis, 2012.**

55 p.

Orientador: Silvia Maria Batista de Souza

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis

1.Chumbo. 2.Bateria. 3.Reciclagem.

CDD: 660

Biblioteca da FEMA

# **PURIFICAÇÃO DO CHUMBO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE BATERIAS**

MARCELO ANTONIO BOVOLENTA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Municipal de  
Ensino Superior de Assis, como requisito do  
Curso de Graduação em Química Industrial,  
analisado pela seguinte comissão  
examinadora:

Orientador: Silvia Maria Batista de Souza

Analisador: Elaine Amorim Soares Menegon

Assis

2012

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, a Nossa Senhora Aparecida e todos os santos, que me auxiliaram nas horas mais difíceis.

A minha mãe Célia, meu pai Ladio, minha irmã Ladiane e meu cunhado José Roberto e toda minha família, e aos meus amigos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

## RESUMO

As pilhas e baterias, quando descartadas em lixões ou aterros sanitários, liberam componentes tóxicos que contaminam o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, afetando a flora e a fauna das regiões circunvizinhas e o homem. Por isso há uma grande vantagem na reciclagem desses materiais, já que além de reaproveitamento, tem-se a diminuição na contaminação do meio ambiente.

O trabalho tem por objetivo avaliar um método de purificação do chumbo proveniente da reciclagem das baterias.

A amostra com concentração de 97 % de chumbo 1,49 % de prata e 1,49% de bismuto foi triturada e dissolvida em ácido nítrico 8 M para o processo de eletrólise onde utilizou um eletrodo de inox e uma fonte de corrente elétrica externa. Foram reduzidos 3 g de amostra onde passou por uma absorção atômica que obteve 91 % de chumbo reduzido, e a solução passou a ter 98,06 % de chumbo.

Os resultados experimentais demonstraram que é possível a purificação do chumbo proveniente das baterias chumbo-ácido, porém esta técnica deve ser aperfeiçoada para que se consiga uma melhor purificação.

**Palavras-chave:** Chumbo; Bateria; Reciclagem.

## ABSTRACT

The batteries, when disposed of in landfills or dumps, they release toxic compounds that contaminate the soil, water courses and aquifers, affecting the flora and fauna of the regions round about, and the man. So there's a big advantage in the recycling of these materials, since in addition to reuse, there is a decrease in contamination of the environment.

The work aims to evaluate a method of purification of lead from the recycling of batteries.

The sample with concentration of 97% lead 1.49% silver and 1.49% bismuth was crushed and dissolved in nitric acid 8 M for the process of electrolysis which used a stainless steel electrode and an electrical power source. Were reduced 3 g of sample where underwent a atomic absorption which obtained 91% lead, and the solution had 98.06% lead.

The experimental results showed that are possible to the purification of lead from lead-acid batteries, but this technique must be refined that we can achieve a better purifications.

**Keywords:** lead; battery; recycling

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Reações que ocorrem na bateria.....	15
Figura 2 - Baterias chumbo-ácido.....	16
Figura 3 - Fluxograma do processo pirometalurgico.....	21
Figura 4 - Esquema de uma célula eletrolítica.....	28
Figura 5 - Reação de óxido-redução do Dicromato de Potássio com o Cloreto de Estanho.....	33
Figura 6 - Reação de óxido redução do Ferro conhecida como ferrugem.....	33
Figura 7 - Reação de óxido redução.....	34
Figura 8- Amostra triturada.....	40
Figura 9- Diluição da amostra.....	41
Figura 10- Início da eletrólise.....	42
Figura 11- Potencial padrão de redução.....	43
Figura 12- Reação de Redução.....	43
Figura 13- Oxidação da água com desprendimento de gás oxigênio.....	44
Figura 14- Dissolução da amostra em acido nítrico 8 M.....	44
Figura 15- Deposição do chumbo após dez minutos de eletrólise.....	45
Figura 16- Amostra após eletrólise.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tipos de baterias Primárias e Secundárias.....	14
Tabela 2- Quinta regra.....	32
Tabela 3- Sexta regra.....	32
Tabela 4. Concentrações dos metais.....	39
Tabela 5. Concentrações dos metais após experimento.....	46

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	12
<b>2.</b>	<b>BATERIAS</b>	13
2.1	BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO	14
2.1.1	Tracionárias	17
2.1.2	Estacionárias	17
2.1.3	Automotivas	17
2.2	RECICLAGENS DE BATERIAS	18
2.3	ELETROMETALURGIA	19
2.4	HIDROMETALURGIA	19
2.5	PIROMETALÚRGICO	19
2.6	RECICLAGEM NA INDÚSTRIA PIROMETALURGICA	20
<b>3.</b>	<b>CHUMBO</b>	23
3.1	APLICAÇÕES	23
3.2	CHUMBO ALTA PUREZA	24
<b>4.</b>	<b>PRATA</b>	25
4.1	APLICAÇÕES	25
<b>5.</b>	<b>BISMUTO</b>	27
5.1	APLICAÇÕES	27
<b>6.</b>	<b>ELETRÓLISE</b>	28
<b>7.</b>	<b>ENSINO MÉDIO CONCEITO DE ÓXIDO-REDUÇÃO</b>	30

7.1	NÚMERO DE OXIDAÇÃO.....	31
7.2	DEFINIÇÕES DE REAÇÃO ÓXIDO REDUÇÃO.....	32
7.3	AGENTE OXIDANTE E AGENTE REDUTOR .....	33
7.4	BALANCEAMENTOS DE REAÇÃO ÓXIDO REDUÇÃO .....	34
<b>8.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
8.1	MATERIAIS .....	38
8.2	REAGENTES.....	38
8.3	EQUIPAMENTOS .....	39
8.4	AMOSTRA.....	39
8.5	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	40
8.5.1	Ácido nítrico 8,0 M.....	40
8.5.2	Preparo da amostra.....	40
8.6	EXTRAÇÃO .....	41
8.6.1	Eletrólise .....	41
<b>9.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>43</b>
9.1	ELETRÓLISE.....	43
9.1.1	Cálculos .....	46
<b>10.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A recuperação de resíduos industriais tem por objetivo extrair algumas substâncias que possam ser reaproveitadas no processo produtivo (TOCHHETO, PANATIERI, VIARO, 1999).

As pilhas e baterias, quando descartadas em lixões ou aterros sanitários, liberam componentes tóxicos que contaminam o solo, os cursos d'água e os lençóis freáticos, afetando a flora e a fauna das regiões circunvizinhas e o homem. Por isso há uma grande vantagem na reciclagem desses materiais, já que além de reaproveitamento, tem-se a diminuição na contaminação do meio ambiente (COMPAM, 2012).

Uma das vantagens da reciclagem de metais deriva-se do fato de que normalmente o teor do metal de interesse é maior no rejeito do que no próprio minério concentrado (ARÀUJO, TRINDADE, SOARES, 20011).

O chumbo é um dos metais mais antigos usados pelo homem, porém muitas das primitivas aplicações têm persistido através dos séculos (TEIXEIRA, 2011).

A reciclagem do chumbo gera uma borra metálica que atinge níveis de 25 % da quantidade de chumbo produzida. Embora esta borra contenha teor alto de chumbo, outros metais podem ser encontrados tais como: prata e bismuto. A prata é um material nobre usado em confecções de jóias, moedas, objetos de culto, ferramentas cirúrgicas, e também nas indústrias principalmente para fabricação de películas sensíveis de fotografias e radiografia (FERRACIN, 2001). O bismuto possui pouca condutibilidade elétrica e térmica, sendo usado juntamente com ligas metálicas para soldas, e também empregadas na metalurgia do ferro e do chumbo (MARCONDES, 2011).

Na reciclagem de baterias o chumbo recuperado pode apresentar variações nas concentrações devidas outros metais presente. Este trabalho tem como objetivo avaliar um método de purificação do chumbo proveniente da reciclagem da bateria.

## 2. BATERIAS

A bateria é um conjunto de acumuladores elétricos, que possuem a propriedade de converter energia química em energia elétrica. A função de uma bateria é abastecer o sistema elétrico do veículo de energia e acumulá-la quando o veículo estiver em funcionamento (BOSCHI, 2012).

O princípio de funcionamento de uma bateria consiste na reação eletroquímica, onde a oxidação ocorre no anodo e a redução no cátodo por meio de um eletrólito (BRADY, RUSSEL, ROLUM, 2003).

São classificados dois tipos de baterias: as primárias que são as não recarregáveis e as secundárias as recarregáveis. As primárias são conhecidas popularmente como pilhas, em que as reações acabam danificando uns dos eletrodos tornando-a não recarregável. Nas secundárias, a reação eletroquímica pode ser revertida através de uma corrente elétrica externa que recarrega o sistema (RORIZ, 2012).

A Tabela 1 mostra as principais baterias.

<b>Baterias primárias</b>	<b>Baterias secundárias</b>
Zinco-Carbono	Níquel-Cádmio
Zinco-Cloreto	Íon-Lítio
Alcalina	Níquel-Meta Hidreto
Mercúrio-Zinco	Chumbo-Ácido
Lítio	
Zinco-Ar	
Zinco-Prata	

**Tabela 1- (Tipo de baterias Primárias e Secundárias. RORIZ, 2010, p.8 )**

As baterias têm diversas aplicações uma delas é no setor automobilístico, onde são empregadas como fonte de energia para o veículo. Entre as baterias secundárias mais utilizadas no setor automobilístico tem-se a do tipo secundária Chumbo-Ácido (TEIXEIRA, 2011).

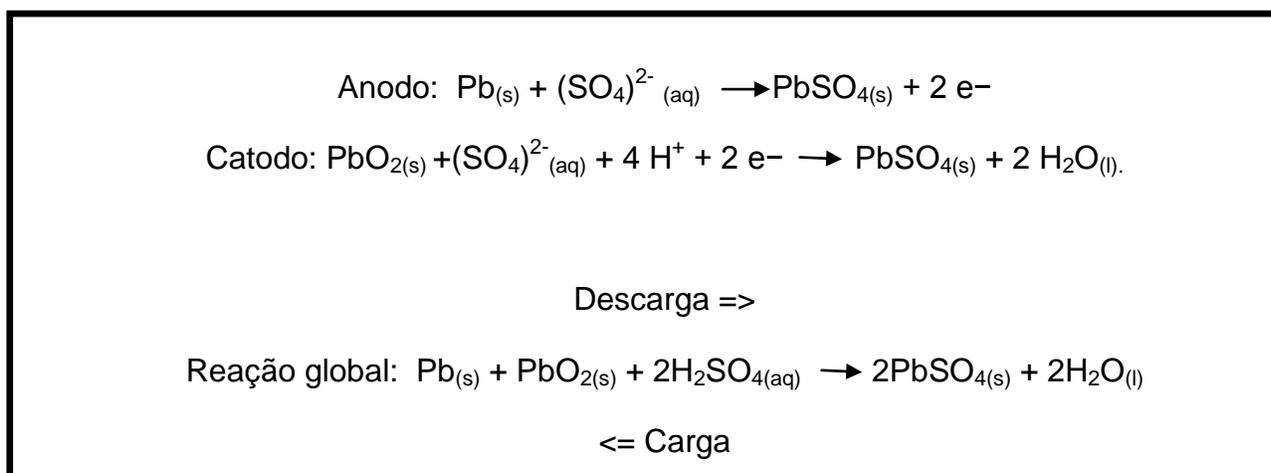
## 2.1 BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO

Em 1859 Gaston Plantê iniciou experimentos que resultou na construção da primeira bateria de chumbo ácido para armazenamento de energia elétrica. Após um ano foi apresentado na "Academia Francesa de Ciências" uma bateria constituída de nove

elementos com duas placas de chumbo enroladas sob a forma de espiral, isoladas por meio de um separador de borracha e imersos em uma solução contendo cerca de 10 % de ácido sulfúrico em cada elemento (ENCICLOPÉDIA BRITANNICA, 2012).

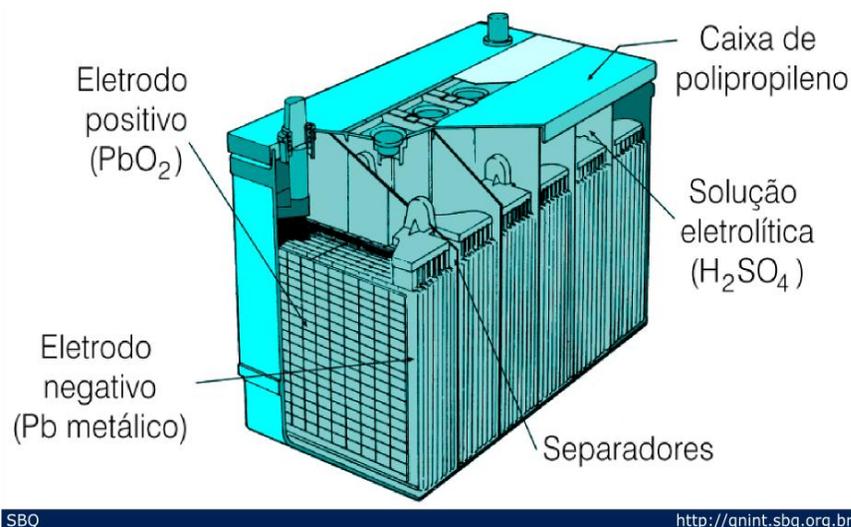
A bateria Chumbo-Ácido possuem placas positivas e negativas: são grades produzidas com uma liga onde é aplicada uma massa de PbO (óxido de chumbo) adicionada de outras substâncias que responderão por determinadas reações. Solução é composta por 35 % de ácido sulfúrico e 65 % de água destilada. Essa solução é indispensável às reações químicas que poderão ocorrer (CEMPRE, 2012).

Na figura 1 estão descritas as reações que ocorrem na bateria:



**Figura 1 – Reações que ocorrem na bateria (PERUZZO et al, 2003 p. 189).**

A Figura 2 mostra uma bateria chumbo-ácido de aplicação automobilística, onde é possível visualizar os componentes plásticos (caixa e calço de polipropileno, os separadores de polietileno) os componentes de chumbo (eletrodos positivos e negativos, as conexões e terminais) e a solução eletrolítica (solução de ácido sulfúrico) (BOCCHI, 2000).



**Figura 2- Bateria chumbo-ácido (www.qnit.s bq.org.br, 2000)**

A caixa de polipropileno, é dividida em 6 compartimentos distintos, onde são colocados os eletrodos. Com os eletrodos conectados em série, a tensão nominal através dos terminais é de 12 volts. Para que isto ocorra, os eletrodos devem estar totalmente imersos na solução (SILVA, 2012).

Solução eletrolítica é uma combinação de 35% ácido sulfúrico e 65% de água destilada.

O separador é utilizado para evitar que as placas positivas e negativas se toquem, sendo que em razão da sua porosidade, é possível a passagem dos íons que se oxida das placas para a solução, durante as reações internas da bateria (SILVA, 2012).

O eletrodo positivo é a grade “empastada” com a massa ativa. A massa de dióxido de chumbo é responsável pela principal função da bateria, que é a conversão de energia. O eletrodo negativo é o componente principal de uma bateria. É composta de uma estrutura metálica que suporta a massa ativa (dióxido de chumbo) e conduz corrente (SILVA, 2012).

A bateria é comercializada com sucesso a mais de um século devido as inúmeras aplicações, a produção e o uso continuam crescendo. As baterias de chumbo-ácido são classificadas em automotivas, tracionárias e estacionárias (LINDEN, 1994).

### **2.1.1 Tracionárias**

O principal objetivo dessa bateria é fornecer energia para carros elétricos. As exigências principais para aplicação de baterias tracionárias são: ciclo de vida máxima, densidade de energia elevada e custo baixo (MOURA, 2012).

### **2.1.2 Estacionárias**

Este modelo de bateria foi desenvolvido para proporcionar alto desempenho elétrico aliado à alta confiabilidade e robustez. Os componentes internos foram dimensionados para suportar as mais diversas condições de uso. A bateria estacionária é direcionada ao uso em centrais telefônicas, estação de rádio entre outros (TUDOR, 2012).

### **2.1.3 Automotivas**

A maioria das baterias de chumbo-ácido é destinada à aplicação na partida elétrica de automóveis. Em razão da diversidade dos automóveis, são produzidas em vários modelos e tamanhos. As baterias automotivas são produzidas em duas configurações, sendo que um tipo utiliza-se grades em liga de chumbo antimônio selênio, as quais devem ser feitas periodicamente as reposições de água desmineralizada para evitar superaquecimento e conseqüentemente sua inutilização (oxidação das placas e ou curto circuito). A outra configuração, denominada de bateria livre de manutenção (free), também conhecida como bateria selada. Essas baterias são fabricadas em grades de liga de chumbo cálcio estanho e fechadas hermeticamente (SOUSA, 2009).

## 2.2 RECICLAGENS DE BATERIAS

As baterias são constituídas por metais e ácidos, desta forma quando chegam ao final de sua vida útil devem ser coletadas e enviadas para unidades de recuperação e reciclagem para não haver contaminação de aterros e de incineradores de lixo urbano e para que o material recuperado possa ser utilizado na produção de novos bens de consumo. Todos os constituintes de uma bateria chumbo-ácido apresentam potencial para reciclagem. Uma bateria não reciclada representa uma importante perda de recursos econômicos, ambientais e energéticos e a imposição de um risco desnecessário ao meio ambiente e seus ocupantes (CEMPRE, 2012).

Há um grande número de baterias que são recicladas, mais de 97%. Baterias chumbo-ácido atuais contêm 60 a 80% de chumbo reciclado e plástico (polipropileno). Os recicladores são credenciados e enviam materiais recuperados para os fabricantes de baterias. Pallets de polipropileno (recuperados) são vendidos no mercado. O chumbo recuperado por fundição é mantido como barras de mais ou menos, 1000 Kg. O ácido sulfúrico é neutralizado com produto industrial semelhante ao carbonato de sódio, para neutralizar a bateria, ou conversão do ácido em sulfato de sódio que é usado em lavanderias e manufatura de vidros e têxteis (COUNCIL, 2012).

Os métodos de recuperação de chumbo convencionais utilizam processos pirometalúrgicos em fornos tipo cuba, revérberos, rotativos ou outros tipos de fornos elétricos que liberam gases  $SO_x$  e particulados de chumbo para a atmosfera, além de gerar borra metálica que atinge níveis de 25 % da quantidade de chumbo produzida. Embora esta borra contenha chumbo, antimônio, arsênio, estanho, prata e outros metais, têm sido realizados grandes esforços para classificar este material como resíduo não lixiviável. Entretanto, este ainda continua sendo considerado resíduo altamente perigoso e deve ser disposta em aterro industrial classe 01, aumentando consideravelmente os custos (FERRACIN, 2001).

Alguns estudos vêm sendo efetuado visto que, em processo piro metalúrgicos, há uma grande preocupação devido aos gases liberados no processo. Assim, rotas como na

eletrometalurgia e hidrometalurgia, são alternativas que estão sendo procuradas(FERRACIN, 2001).

### 2.3 ELETROMETALURGIA

É um processo no qual se utiliza a eletrólise para recuperação do metal. É um dos processos mais recentes na metalurgia. Utiliza a redução eletrolítica de íons em uma solução aquosa. É fácil entender este método quando se tem em mente o princípio básico de uma pilha, onde o principal objetivo é a obtenção dos íons em solução através de eletrodos específicos para a obtenção de cada elemento (ANDRADE JR, 2010).

### 2.4 HIDROMETALURGIA

Utiliza-se a lixiviação processo que consiste no tratamento do minério com soluções aquosas para dissolver e re-precipitar os metais. As operações hidrometalúrgicas compreendem três fases: dissolução do material em água pura ou com determinados reagentes; separação do resíduo e depuração da solução obtida; e precipitação do metal dessa solução por tratamento químico ou eletrolítico (BIOMANIA, 2012).

### 2.5 PIROMETALÚRGICO

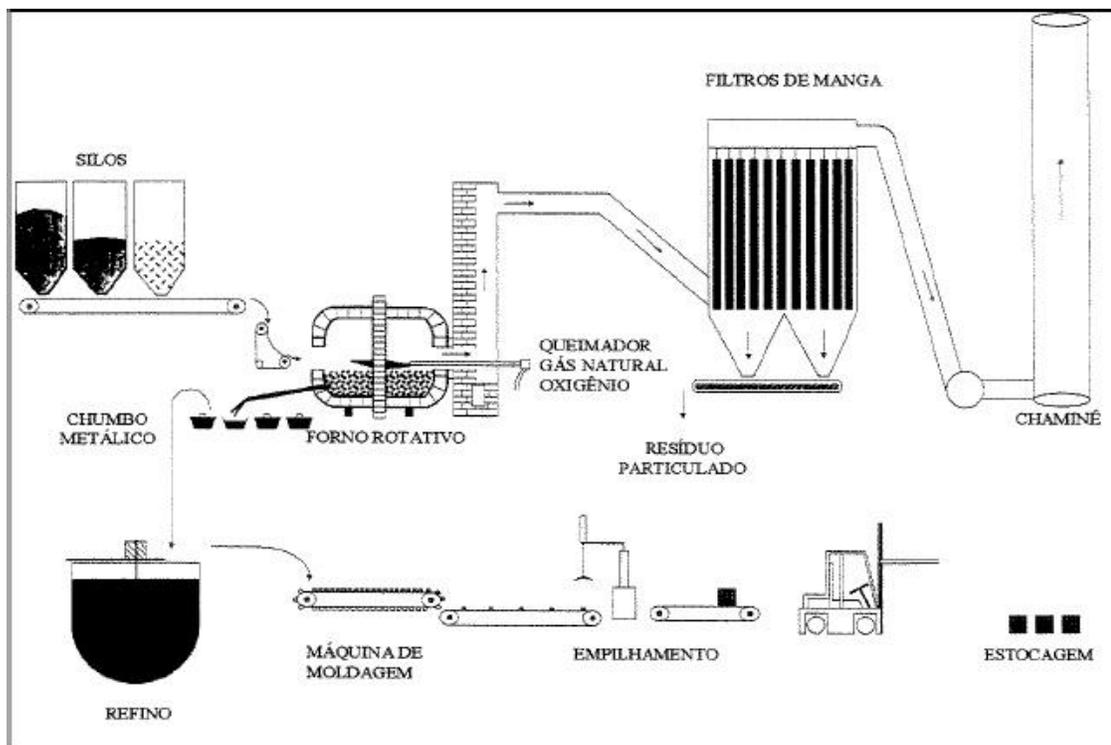
Pirometalurgia é o processo extrativo em que as reações se processam a altas temperaturas com auxílio de um agente redutor. O calor é fornecido normalmente por combustíveis, como coque, petróleo e gás, ou por energia elétrica. Na maioria dos casos, o fogo tem uma função química e física, pois libera certos componentes do minério. Geralmente aplicada a grandes quantidades de minério e em fornos de altas

temperaturas, a pirometalurgia opera a redução dos óxidos pelo carbono. Às vezes é precedida de uma ustulação (aquecimento do ar) para transformar os sulfetos em óxidos, como ocorre no caso do chumbo, do zinco, do cobre e do níquel (MACHADO 2002).

O Brasil não é produtor de chumbo primário, dependendo 100 % de importações para suprir sua demanda. As baterias chumbo-ácido são classificadas como resíduo perigoso e tiveram seu comércio internacional afetado. Teve-se um impacto significativo na economia ligada a este metal, uma vez que o preço do metal primário é superior ao preço da sucata. Este fato, associado com a promulgação de legislação específica, favoreceu a crescente demanda de reciclagem deste material no país (CEMPRE, 2012).

## 2.6 RECICLAGEM NA INDÚSTRIA PIROMETALURGICA

A Figura 3 é um fluxograma do processo pirometalurgico, o processo mais utilizado na reciclagens de baterias, por ser um processo simples. Contudo, vem sendo questionado devido seu alto teor de poluição .



**Figura 3- Fluxograma do processo pirometalúrgico (MACHADO, 2002, p. 51).**

A coleta é feita por meio de frotas de veículos especialmente preparados para o transporte deste material e destinadas a indústria de reciclagem, onde são armazenadas em uma área construída em concreto antiácido (ECOMETAIS,2012).

O processo de moagem consiste na redução de tamanho para promover a liberação de materiais presentes em minérios, resíduos e sucatas através de ação mecânica e então ocorre a separação de cada componente:

Óxido de Chumbo: reciclado e transformado em chumbo metálico. O polipropileno: triturado, lavado para a reciclagem e reutilização. O polietileno: triturado, lavado e utilizado como combustível em fornos. A solução eletrolítica é neutralizada e tratada, transformada em água industrial limpa. O processo de fusão do chumbo na forma de sulfatos e em oxido o chumbo alimenta o forno que em um processo piro metalúrgico é convertido em chumbo secundário (ECOMETAIS,2012).

Os gases provenientes do processo de fusão são expelidos em alta velocidade para um sistema de exaustão e filtragem pelo filtro de manga de alta tecnologia, garantindo que o ar filtrado e suas emissões através da chaminé tenham um rigoroso controle seguindo as normas e legislações em vigor. No processo de refino o chumbo secundário em estado líquido é transferido para as panelas, onde por processo térmico de aquecimento o chumbo inicia o processo de refinação. Durante o processo de refino do chumbo puro e as diversas ligas, há um sistema de limpeza dos elementos indesejáveis. Durante o processo do produto, há um acompanhamento por análises químicas. O chumbo aprovado pelo laboratório, equipado com instrumentos de emissores atômicos, passa do estado líquido para o estado sólido em processo de ligoteamento (ECOMETAIS,2012).

### 3. CHUMBO

O chumbo, símbolo Pb, é um metal cinzento, azulado brilhante, não elástico, mole, dúctil, maleável, trabalhável a frio, razoável condutor de calor e eletricidade baixo ponto de fusão (327°C), massa atômica 207,2 u, e ponto de ebulição a 1.457°C, emitindo, antes desta temperatura, vapores tóxicos (BENEDITO, 2011).

#### 3.1 APLICAÇÕES

O chumbo é um dos metais mais antigos usados pelo homem e muitas das primitivas aplicações têm persistido através dos séculos. Era conhecido pelos antigos egípcios, que utilizaram a mais de 8 mil anos. Os jardins suspensos da Babilônia eram assoalhados com folhas de chumbo soldadas e as pedras das pontes eram ligadas por ganchos de ferro soldados com chumbo. Embora a presença do chumbo na crosta terrestre seja de apenas 0,002%, ocorrem jazidas em várias partes da terra, que são exploradas com teor de 3% (TEIXEIRA, 2011).

O chumbo raramente é encontrado no seu estado natural, mas sim, em combinações com outros elementos, o mais importante minérios são galena PbS, cerussita PbCO<sub>3</sub>, anglesita PbSO<sub>4</sub>, piromorfita, Pb<sub>5</sub>Cl (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, Vanadinita PbCl (VO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>, crocoíta PbCrO<sub>4</sub> e a wulfenita PbMoO<sub>4</sub>. A galena (PbS), é um sulfeto de chumbo (Pb = 86,6% e S = 13,4%) e geralmente ocorre associada com a prata, sendo o seu mineral-minério mais importante. O zinco, o cobre, o ouro e o antimônio são outros metais que, por vezes, aparecem associados ao chumbo. O chumbo é o sexto metal de maior utilidade industrial. Atualmente seu uso principal é na construção de baterias para automóveis, que consomem em torno de 70% em todo mundo (BENEDITO, 2011).

O chumbo metálico é usado em solda em forma de liga (Sn-Pb), em ligas de baixo ponto de fusão (Sn-Pb-Bi) que são usadas em extintores automáticos de incêndios e

em fusíveis de eletricidade, proteção contra radiações (raios X e raios gama) (TEIXEIRA, 2011).

### 3.2 CHUMBO ALTA PUREZA

O chumbo tem um mercado muito crescente, porém esse mercado pode ser mais valorizado de acordo com a pureza do minério.

A diferença de valores é de aproximadamente 50% maior no caso do chumbo 99,99%, visando novos mercados para o chumbo, além do atual segmento de produção de baterias, o atual valor do chumbo puro 97% no mercado interno está em, torno de R\$ 5.000,00 a tonelada (ECOMETAIS, 2012).

## 4. PRATA

O elemento químico prata, muito conhecido por ser utilizado em confecções de jóias e utensílios sofisticados, é um metal de transição externa de alto potencial redutivo, ou seja, é muito difícil de oxidar. A prata é um metal sólido, apresenta coloração esbranquiçada e brilhante nas condições ambientes, e pela denominação latina de *Argentum* possui símbolo químico Ag. É altamente dúctil (facilmente toma a forma de tubos) e maleável (pode ser disposto em finíssimas folhas metálicas). Sua massa atômica ponderada vale aproximadamente 107,87 u, com número atômico igual a 47 (elétrons e prótons), estado de oxidações comuns são  $Ag^{+1}$  e  $Ag^{+2}$ , ponto de fusão  $961^{\circ}C$ , ponto de ebulição  $2212^{\circ}C$ , sendo considerada entre os metais como bom condutor de eletricidade, fica atrás do cobre devido o custo (SARDELLA, 2002).

### 4.1 APLICAÇÕES

As maiores aplicações da prata no cotidiano estão ligadas a foto sensibilidade, uma vez que compostos de prata, ao serem expostos à radiação solar, sofrem dissociação liberando os íons  $Ag^{1+}$  ou  $Ag^{2+}$ . Exemplos muito comuns são as lentes dos óculos monocromáticos que escurecem na presença da luz do sol, ou os papéis fotográficos (sob forma de Brometo de Prata). Além disso, há o emprego da prata em adornos (jóias: anéis, gargantilhas, pulseiras), talheres, ferramentas cirúrgicas (como alguns bisturis) e dobrões ou moedas (THEODORE, EUGENE, BRUCE, 2005).

Na natureza a prata é encontrada em formações rochosas quase sempre impura, sendo que praticamente toda sua impureza é derivada do próprio cobre e do chumbo. As reservas mundiais de prata são estimadas em 560.000 toneladas, e destas, cerca de 2% pertencem ao Brasil, que é o 36º maior produtor de prata. O Brasil extrai cerca de 6

toneladas por ano, enquanto que o resto do mundo produz cerca de 2.500 toneladas durante o mesmo período de tempo. Calcula-se que, todo o minério de prata deva durar cerca de 28 anos no planeta se o ritmo de consumo não diminuir; para o Brasil, a estimativa é de que o metal se esgote em quase 2 mil anos, sendo esta umas das justificativas de se recuperar a prata. A prata pura é tóxica, porém, em forma de sais, não apresenta grandes problemas à saúde. (THEODORE, EUGENE, BRUCE, 2005).

## 5. BISMUTO

O bismuto é um elemento químico pouco abundante e caro, pertencente à família 5 A ,e símbolo químico Bi. Encontra se em estado livre em varias regiões do mundo como América e Ásia, sendo o Brasil pouco presente na área de produção e extração do bismuto (MARCONDES, 2011).

É um metal quebradiço, de coloração prata esbranquiçada (embora sua superfície possa apresentar uma coloração levemente rósea) de baixo ponto de fusão (271 °C), massa molar 208,98 g.mol<sup>-1</sup>, número atômico 83, reage com o oxigênio somente a temperaturas elevadas. Quando combinado, exhibe principalmente os estados de oxidação +3 e +5, sendo o primeiro o mais comum (GUERRA,ALVES, SILVA, 2011).

Pode ser extraído no subproduto do processamento de minerais como o ouro, cobre e estanho. O bismuto pode reagir com outros elementos formando sulfetos como a bismutinita, bismutita e a bismita, possui pouca condutibilidade elétrica e térmica (GUERRA,ALVES, SILVA, 2011).

### 5.1 APLICAÇÕES

Sendo usado juntamente com ligas metálicas para soldas, e também empregadas na metalurgia do ferro e do chumbo (MARCONDES, 2011).

Sem a presença de chumbo o bismuto é utilizado na medicina e em cosméticos, como catalisadores para produção de fibras acrílicas e na produção de ferros maleáveis.

## 6. ELETRÓLISE

A eletrólise é um processo que separa os elementos químicos de um composto através do uso da eletricidade. Para efetuar uma eletrólise é preciso primeiro decompor (ionizar ou dissociar) o composto em íons e, posteriormente, com a passagem de uma corrente contínua através destes íons, obter-se os elementos químicos. O processo da eletrólise é uma reação de oxi-redução oposta àquela que ocorre numa célula galvânica, sendo, portanto, um fenômeno físico-químico não espontâneo (MUNDOEDUCAÇÃO, 2012). A eletrólise, Figura 4, acontece em uma cuba eletrolítica, onde dois eletrodos ficam imersos num sal fundido ou numa solução. A reação é provocada por uma bateria externa, ou qualquer outra fonte de corrente contínua. Esta fonte atua como uma bomba de elétrons, impelindo os elétrons para um eletrodo e retirando os do outro. O eletrodo que perde elétrons é positivo e o que recebe é o negativo. O chumbo fica depositado no eletrodo negativo (cátodo) (PORTAL DE QUIMICA, 2012).

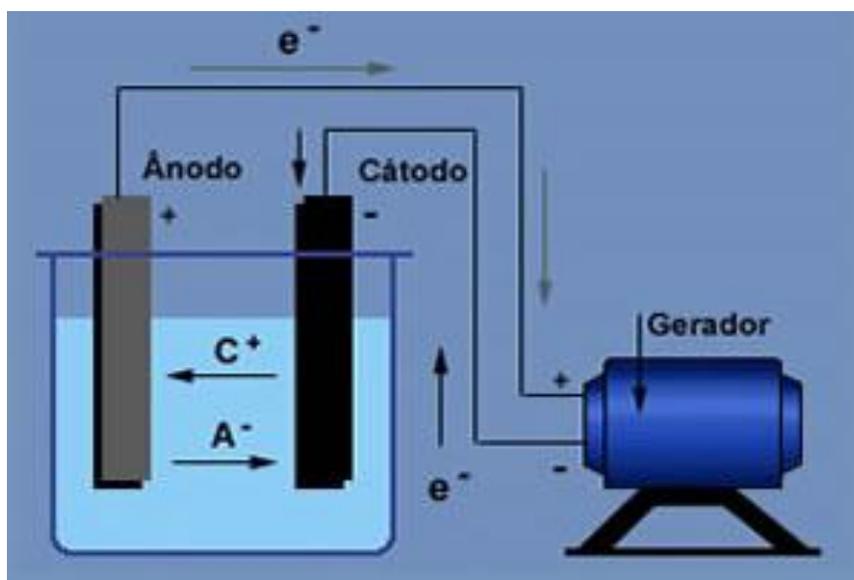


Figura 4- Esquema de uma célula eletrolítica (BRASIL ESCOLA,2011, p 18)

Há dois tipos de eletrolise a ígnea e a aquosa. A eletrólise ígnea ocorre em temperaturas elevadas, pois, para que os íons estejam livres no sistema, a substância iônica é fundida, ou seja, passa para o estado líquido e, normalmente, o ponto de fusão desses compostos é muito elevado. É por isso que esse processo é denominado ígneo, pois em latim a palavra ígneos significa ardente, inflamado (FOGAÇA, 2012).

Na eletrólise aquosa há a dissociação de um composto iônico em solução aquosa. Como o solvente é a água, além do eletrólito têm-se também íons hidrônio, é necessário considerar a reação de auto-ionização da água, onde produz íon  $H^+$  e íon  $OH^-$ . O composto iônico é dissolvido em água, ocorrendo à formação de íons livres, que produzirão a corrente elétrica (SANTOS, SOUZA, 2009).

## 7. ENSINO MÉDIO CONCEITO DE ÓXIDO-REDUÇÃO

O tema reações de bateria é de extrema importância no ensino médio. Trata-se de um equipamento que está relacionado no dia a dia do aluno, mostrando que a química está presente em um equipamento muito conhecido e de maneira educativa, além de interdisciplinaridade com a ecologia, despertando a conscientização sobre o descarte, visto que a bateria contém vários produtos tóxicos.

Há uma variedade de reações químicas que envolvem oxidação-redução no nosso cotidiano. As pilhas e baterias movimentam as calculadoras, carros, brinquedos, lâmpadas, rádios, televisões e muitas outras coisas. Para combater a corrosão, é feito o polimento da prata, pinta-se as grades de ferro e é feita a galvanização dos pregos. Circuitos de computadores são cobertos por finas camadas de ouro ou prata aplicadas por eletrodeposição. A revelação fotográfica utiliza reações químicas que envolvem transferência de elétrons. As plantas transformam energia em compostos através de uma série de reações chamadas de cadeia de transporte de elétrons. Os testes de glicose na urina, ou de álcool no ar expirado, são feitos com base em intensas mudanças de cor, através de reações que também envolvem a transferência de elétrons (MENDONÇA et al, 2012).

As reações que ocorrem com a transferência de elétrons recebem o nome de reação redox ou oxidação-redução. As reações redox são reações que transferem elétrons entre substâncias fazendo com que o número de oxidação (nox) de uma substância aumente enquanto o nox de outra substância diminui. Esse processo não deve ser confundido com as ligações iônicas (em que há transferência de elétrons de uma substância a outra) e sim como um processo de oxidação de uma substância e a redução de outra.

É possível dizer então que em uma reação a substância que perde elétrons e sofre oxidação é designado agente redutor enquanto a substância que ganha elétrons e sofre

redução é designada agente oxidante (ALVES, 2012).

A oxidação e a redução ocorrem ao mesmo tempo, pois na transferência de elétrons entre espécies químicas uma perde e a outra ganha. O número de elétrons perdidos por uma espécie deve ser igual ao número de elétrons ganhos por outra espécie (PERUZZO, CANTO, 2003).

## 7.1 NÚMERO DE OXIDAÇÃO

O número de oxidação de um dado átomo refere-se ao número de cargas que esse átomo teria se considerasse que os elétrons não se encontram partilhados, mas sim inteiramente localizados num dado átomo (MAÇANITA, 2012).

Para a determinação do número de oxidação devem seguir-se algumas regras básicas:

1. O número de oxidação de um elemento no estado livre (quando não está combinado) é igual a zero;
2. Quando se encontra combinado o número de oxidação do hidrogénio é sempre +1 (salvo nos hidretos metálicos em que toma o valor -1).exemplos: NaH, CaH<sub>2</sub>.
3. No caso do oxigénio o número de oxidação é -2, exemplos: H<sub>2</sub>O, HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, etc. à exceção dos peróxidos em que é igual a -1 exemplos : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, BaO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, CaO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Quando ligado ao flúor, dado que este é mais eletronegativo que o oxigénio, será o flúor que apresenta número de oxidação -1.
4. Certos elementos têm o número de oxidação igual à sua própria carga, exemplo: metais alcalino do grupo 1A, apresentam carga +1, NaCl, NaOH, KCl, etc. Alcalinos terroso grupo 2A. CaCl<sub>2</sub>, CaO, BaSO<sub>4</sub> etc. O alumínio do grupo 3 A apresenta Nox +3 exemplos: AlCl<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> etc.
5. A soma dos números de oxidação de todos os átomos que constituem uma molécula tem de ser igual a zero. Exemplos:

<b>Carga total</b>	+ 2 - 2 = 0	+ 1 + 5 - 6 = 0	+6 - 6 = 0	+2 + 12 - 14 = 0
<b>Substancia</b>	H <sub>2</sub> O	H N O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
<b>Carga individual</b>	+ 1 - 2	+ 1 + 5 - 2	+ 3 - 2	+ 1 + 6 - 2

**Tabela 2- Quinta regra (PERUZZO et al, 2003 p. 175).**

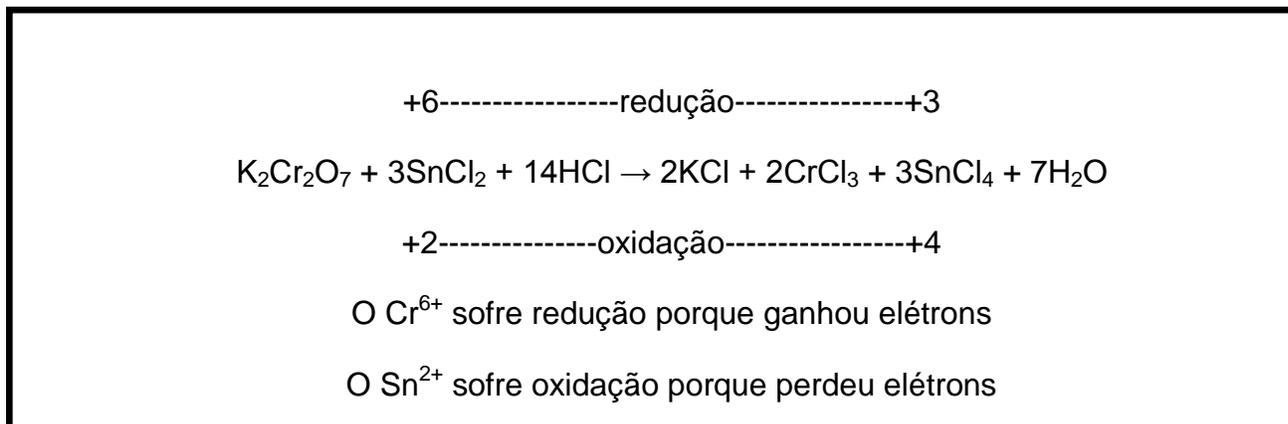
6. A soma dos números de oxidação de todos os átomos de um íon poliatômico é sempre igual à carga do íon. Exemplo:

<b>Carga total</b>	+ 6 - 8 = - 2	+ 7 - 8 = -1	- 2 + 1 = - 1	+ 12 - 14 = - 2
<b>Substancia</b>	S O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mn O <sub>4</sub> <sup>-</sup>	O H <sup>-</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>
<b>Carga individual</b>	+ 6 - 2	+ 7 - 2	- 2 + 1	+ 6 - 2

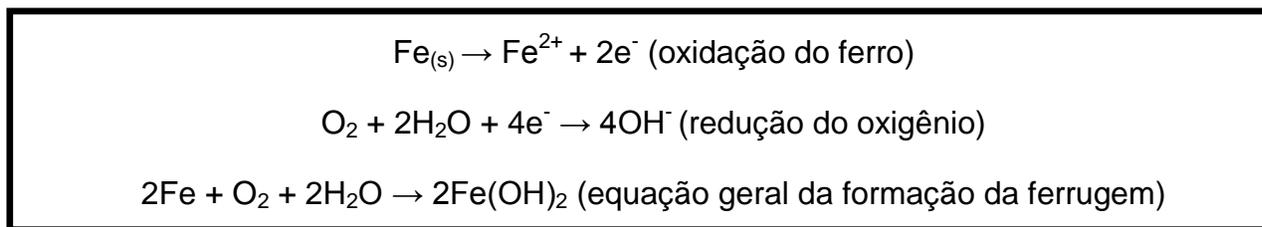
**Tabela 3- Sexta regra ( PERUZZO et al, 2003 p. 175).**

## 7.2 DEFINIÇÕES DE REAÇÃO ÓXIDO REDUÇÃO

Uma reação é de óxido redução quando um ou mais elementos sofrem variações nos seus números de oxidação, reações nos quais ocorre transferência de elétrons. As figuras 5 e 6 são exemplos deste tipo de reação.



**Figura 5- Reação de óxido redução do Dicromato de potássio com Cloreto de estanho (PERUZZO et al, 2003 p. 176).**



**Figura 6- Reação de óxido redução do ferro, conhecida como ferrugem ( PERUZZO et al, 2003 p. 186).**

### 7.3 AGENTE OXIDANTE E AGENTE REDUTOR

O agente oxidante é quem sofre redução e provoca oxidação. O agente redutor é quem sofre oxidação e provoca redução. Para exemplificar deve-se observar a reação química abaixo (Figura 7) em que há a corrosão do alumínio (Al) em solução aquosa de ácido clorídrico (HCl). Os átomos de alumínio transferem elétrons para os cátions  $\text{H}^+(\text{aq})$  e produzem o cátion  $\text{Al}^{3+}(\text{aq})$  ( FOGAÇA, 2010).

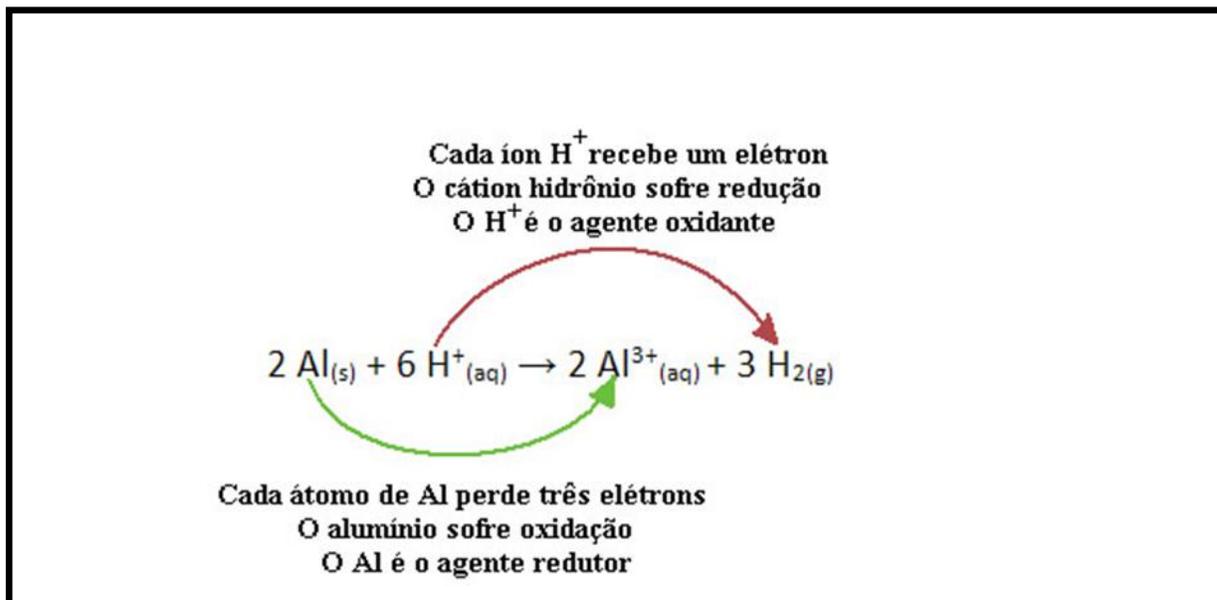
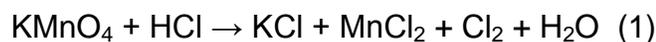


Figura 7- Reação óxido redução (FOGAÇA, 2010, p 15).

#### 7.4 BALANCEAMENTOS DE REAÇÃO ÓXIDO REDUÇÃO

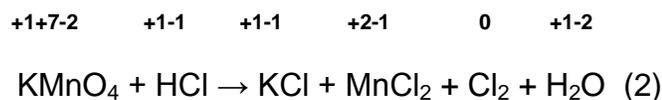
O balanceamento de uma equação de oxirredução se baseia na igualdade do número de elétrons cedidos com o número de elétrons recebidos (PERUZZO, CANTO, 2003).

Reação entre uma solução aquosa de permanganato de potássio e ácido clorídrico equação (1):



1º passo: Determinar os números de oxidação:

Esse passo é importante porque normalmente não conseguimos visualizar rapidamente quais são as espécies que sofrem oxidação e redução conforme equação (2).



2º passo: Determinação da variação da oxidação e da redução:

Observe que o manganês (Mn) sofre redução e o cloro (Cl) sofre oxidação.

$$\text{MnCl}_2 = \Delta\text{Nox} = 5$$

$$\text{Cl}_2 = \Delta\text{Nox} = 2$$

No caso do cloro, podemos notar que o HCl originou 3 compostos (KCl,  $\text{MnCl}_2$ , e  $\text{Cl}_2$ ), mas o que nos interessa é o  $\text{Cl}_2$ , pois é o seu Nox que sofreu variação. Cada cloro que forma  $\text{Cl}_2$  perde 1 elétron; como são necessários 2 cloros para formar cada  $\text{Cl}_2$ , são perdidos então dois elétrons (FOGAÇA, 2012).

3º passo: Inversão dos valores de  $\Delta$ :

Nesse passo, os valores de  $\Delta$  são trocados entre as espécies citadas, tornando-se os coeficientes delas:

$$\text{MnCl}_2 = \Delta\text{Nox} = 5 \rightarrow 5 \text{ será o coeficiente de } \text{Cl}_2$$

$$\text{Cl}_2 = \Delta\text{Nox} = 2 \rightarrow 2 \text{ será o coeficiente de } \text{MnCl}_2$$

Demonstrado na equação 3:



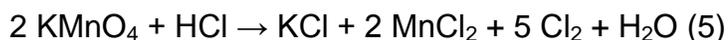
Nesse momento já é possível conhecer dois coeficientes da equação.

Observação: normalmente, na maioria das reações, essa inversão de valores é efetuada no 1º membro. Mas, como regra geral, isso deve ser feito no membro que tiver maior número de átomos que sofrem oxirredução. Se esse critério não puder ser observado, invertamos os valores no membro que tiver maior número de espécies químicas. Foi isso o que foi realizado aqui, pois o 2º membro possui mais substâncias (FOGAÇA, 2012).

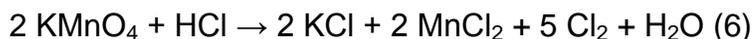
4º passo: Balanceamento por tentativa equação 4:



Visto que no segundo membro há dois átomos de manganês, conforme mostrado pelo coeficiente, no primeiro também deverá haver. Portanto, temos a equação (5):



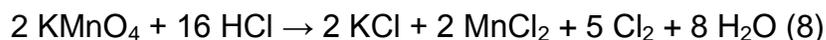
Com isso, a quantidade de potássio (K) no 1º membro ficou de 2, que será o mesmo coeficiente para esse átomo no segundo membro equação 6:



A quantidade de cloros (Cl) no 2º membro é de 16 no total, por isso o coeficiente do HCl do 1º membro na equação 7 será:

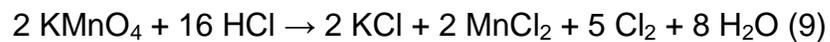


O número de hidrogênios do 1º membro é 16, por isso o coeficiente da água (H<sub>2</sub>O) do 2º membro será igual a 8, pois a multiplicação do índice do hidrogênio (2) por 8 é igual a 16, na equação 8 :



Para conferir se a equação está corretamente balanceada podemos ver dois critérios:

1º) Verificar se a quantidade de cada átomo nos dois membros está igual, equação 9 :



$$\text{K} = 2 \quad \text{K} = 2$$

$$\text{Mn} = 2 \quad \text{Mn} = 2$$

$$\text{Cl} = 16 \quad \text{Cl} = 16$$

$$\text{H} = 16 \quad \text{H} = 16$$

$$\text{O} = 8 \quad \text{O} = 8$$

2º) Ver se o número total de elétrons perdidos é igual ao número total de elétrons recebidos:

Perdidos

Recebidos

$5\text{Cl}_2 = 10$  elétrons

$\text{KMnO}_4 = 10$  elétrons

## 8. METODOLOGIA

### 8.1 MATERIAIS

Balão volumétrico 1 L

Bequer de vidro 500 mL

Bico de bulsen

Tripé de ferro

Tela de amianto

Espátula

Proveta 200 mL

Funil analítico de vidro

Suporte universal

Anel

Pera de segurança

Pisseta

Pipeta graduada 10 mL

### 8.2 REAGENTES

Acido nítrico 8 M Dinâmica (Química contemporânea Ltda.)

### 8.3 EQUIPAMENTOS

Mufra (QUIMIS)

Fonte de energia (POLITERM HY 3003 D)

Balança analítica (BG 1000 GEHAKA)

Espectrofotômetro de absorção atômica (Varian AA -1275)

### 8.4 AMOSTRA

A amostra, uma liga intermetálica de (Pb+Ag+Bi), foi adquirida de uma empresa que recicla chumbo provenientes de baterias Ecometais com as seguintes concentrações:

<b>Metais</b>	<b>% do elemento na liga</b>
Chumbo (Pb)	97,00
Prata (Ag)	1,49
Bismuto (Bi)	1,49
Traços	0,02

**Tabela 4. Concentrações dos metais (ECOMETAIS,2011)**

## 8.5 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 8.5.1 Ácido nítrico 8,0 M

Mediu 234 mL de ácido nítrico 65% em uma pipeta volumétrica transferiu-se o mesmo para um balão volumétrico de 1 litro e completou com água destilada até o menisco.

### 8.5.2 Preparo da amostra

A amostra (Figura 8) foi triturada em um torno mecânico em uma oficina metalúrgica, a fim de deixá-la em forma de grãos.



**Figura 8- Amostra triturada**

Pesou-se 30g da amostra em um bequer de vidro (Figura 9), adicionou 100mL de ácido nítrico 8 M, sob aquecimento, acelerando a reação e tornando-a iônica e solúvel.



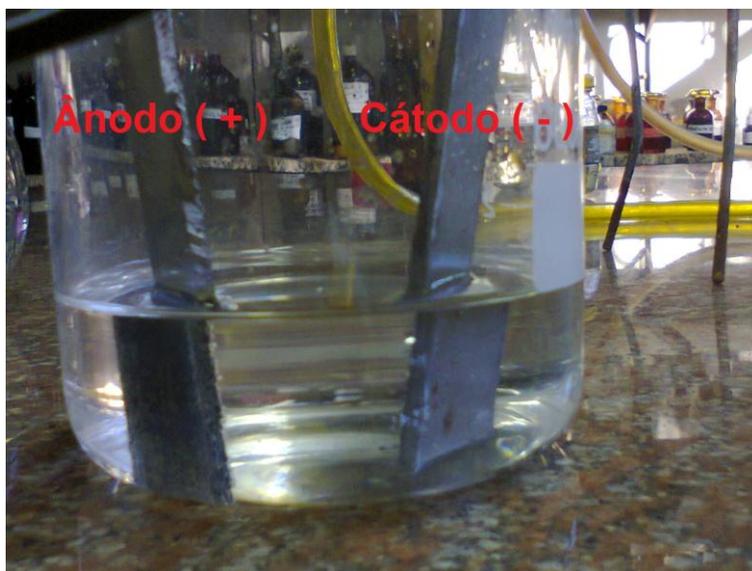
**Figura 9- Diluição da amostra**

## 8.6 EXTRAÇÃO

Foi utilizado um método de extração, por eletrólise.

### 8.6.1 Eletrólise

A solução foi colocada em um Béquer e adicionaram-se dois eletrodos de inox (cátodo e ânodo) conforme a Figura 10. Passou-se corrente elétrica através de uma fonte de energia (bateria de baixa amperagem). A fonte de energia foi regulada para 4,0 volts.



**Figura 10- Início da eletrólise**

O material reduzido (Pb) foi coletado, retirando o eletrodo com a corrente elétrica ligada para que o material ficasse grudado, foi raspado com uma espátula em um cadinho, em seguida lavada com água para se retirar a solução ácida, foi levado a estufa para secagem ( 100° C), foi pesado e quantificado em absorção atômica

Pesou-se a amostra depois de seca resultando em 3 g de amostra e então foi analisada em absorção atômica para quantificar os metais, foi utilizado um espectrômetro de absorção atômica Varian, modelo AA -1275. Como fontes de radiação foram utilizadas lâmpadas de catodo oco:chumbo ( $\lambda = 217 \text{ nm}$ ,  $i = 5 \text{ mA}$ , fenda = 1 nm). Foi utilizada chama oxidante ar-acetileno. A calibração do equipamento foi feita com solução de chumbo ( $20,0 \mu\text{g mL}^{-1}$ ).

## 9. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 9.1 ELETRÓLISE

A prata e o bismuto apresentam um potencial de redução maior do que o chumbo conforme observado na Figura 11, com isso verifica-se que a prata e o bismuto reduzem primeiro.

Semi - reação	$E^0$ (V)
$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	+ 0,80
$\text{Bi}^{3+} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Bi}$	+ 0,20
$\text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Pb}$	- 0,13

**Figura 11 – Potencial padrão de redução (ATKINS, 2001, p. A18).**

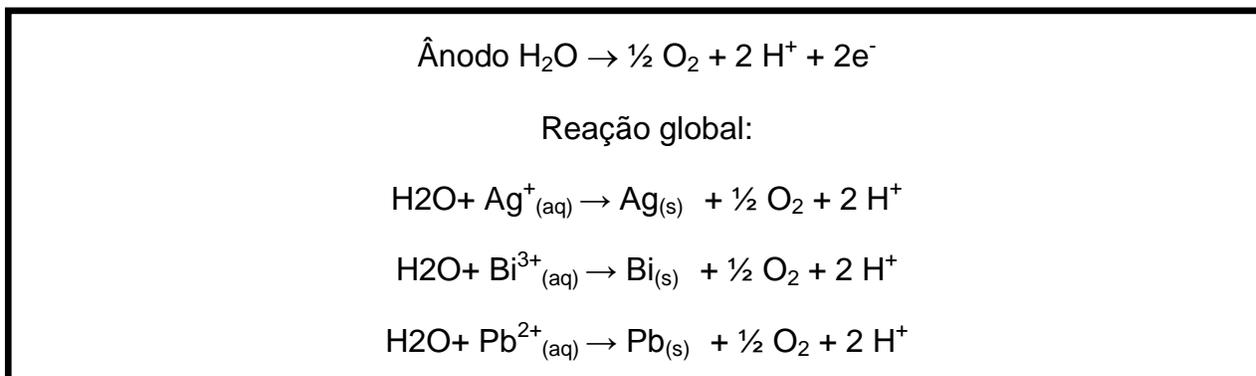
Como o material reduzido foi a Prata (Ag), Bismuto (Bi) e o Chumbo (Pb), as semi-reações de redução são apresentadas na figura 12:

Cátodo ( - )
$\text{Ag}^+_{(\text{aq})} + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}_{(\text{s})}$
$\text{Bi}^{3+}_{(\text{aq})} + 3 \text{e}^- \rightarrow \text{Bi}_{(\text{s})}$
$\text{Pb}^{2+}_{(\text{aq})} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Pb}_{(\text{s})}$

**Figura 12- Reação de redução**

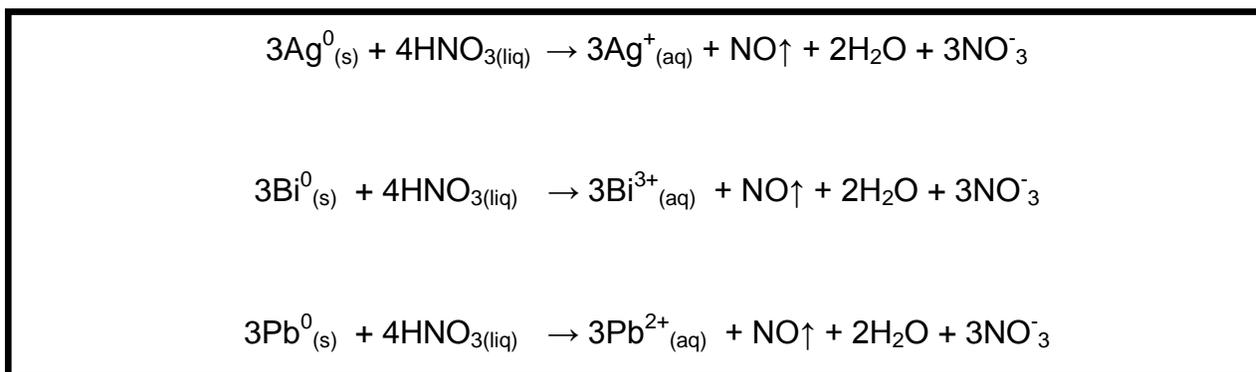
Cátodo da cela eletrolítica é o eletrodo negativo, isto é, ligado ao pólo negativo do gerador. O Ânodo da cela eletrolítica é o eletrodo positivo, isto é, ligado ao pólo positivo do gerador. Nele sempre ocorre uma reação de oxidação

Como ânodo foi de aço inox, ocorre nele a oxidação da água com desprendimento de gás oxigênio (Figura 13), (GOMES et al, 2012).



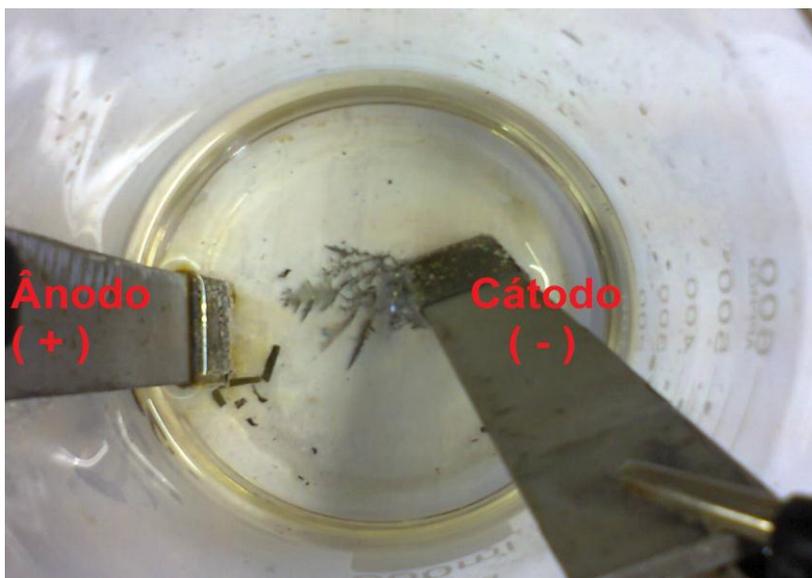
**Figura 13- Oxidação da água com desprendimento de gás oxigênio**

A amostra quando dissolvida em ácido nítrico 8 molar oxida Ag ,Bi e Pb, conforme as reações abaixo (Figura 14).



**Figura 14- Dissolução da amostra em ácido nítrico 8 M (VOGEL, 1981, p. 227, 236, 217).**

Após dez minutos pode-se observar a deposição de chumbo, conforme a Figura 15.



**Figura 15- Deposição do chumbo após dez minutos de eletrólise**

Após a eletrólise, foi coletado a amostra para um cadinho (Figura 16), depois lavada para retirada da solução acida, foi então levada para a secagem em uma estufa a 100°C.



**Figura 16- Amostra após eletrólise**

A leitura apresentou se os seguintes resultados conforme a tabela abaixo:

Metais	% do elemento na liga
Chumbo (Pb)	91
Prata + Bismuto	9

**Tabela 5. Concentrações dos metais após experimento**

Como o chumbo na amostra inicial apresentou uma concentração de 97%, a partir da eletrólise efetuando os cálculos obteve uma concentração de 98,06% de chumbo na solução.

### 9.1.1 Cálculos

A pureza do chumbo foi determinada partindo de 20 g de amostra diluída em ácido nítrico onde temos 97 % de chumbo, após uma eletrólise de dez minutos foi reduzido uma quantidade de 3 g da seguinte forma:

20 g(amostra diluída)-----100 %

X g-----97 % de chumbo

x= 19,4 g de chumbo na amostra.

20 g – 19,4g = 0,6 g de Prata e Bismuto

Como foram reduzidos 3 g de amostra com a concentração de 91% de chumbo temos:

3 g(amostra reduzida) -----100 %

Y g -----91 % (chumbo)

Y = 2,73 g de chumbo na amostra reduzida

3 g - 2,73 g = 0,27 g de Prata e Bismuto

Como se tem 0,6 g de Prata e Bismuto na amostra diluída fazendo a diferença temos:

$0,6 \text{ g (Ag e Bi, inicio)} - 0,27 \text{ g (Ag e Bi, final)} = 0,33 \text{ g}$  de material que não foi reduzido na eletrolise.

Para sabermos que o chumbo na solução da eletrolise se concentrou com a retirada de  $0,27 \text{ g}$  de Prata e Bismuto temos:

$$20 \text{ g (amostra inicial)} - 3 \text{ g (amostra reduzida)} = 17 \text{ g (amostra na solução)}$$

Para saber a % de chumbo na solução:

$$17 \text{ g (amostra na solução)} - 0,33 \text{ g (Prata e Bismuto que não reduziu)}$$

$$= 16,67 \text{ g (chumbo solução)}$$

$$17,00 \text{ g} \text{-----} 100 \%$$

$$16,67 \text{ g} \text{-----} Z \%$$

$$Z = 98,06 \% \text{ (chumbo na solução)}$$

## 10. CONCLUSÃO

Após o processo de eletrólise a amostra em solução de 97% de chumbo, passou a ter 98,06 % de chumbo, então teve-se uma concentração de 1,06 % a mais, o que em nível industrial não poderia ser viável devido aos custos nesse processo (por ser um método onde se utiliza o solvente, no caso o ácido nítrico 8 M, e também a corrente elétrica e o eletrodo.)

Para que conseguisse a pureza de 99% de chumbo, seria necessário um tempo maior de eletrólise para retirar da solução toda Prata e o Bismuto, assim conseguiria nos mercados um maior valor comercial e seria viável economicamente em nível industrial.

Os resultados experimentais demonstraram que é possível a purificação do chumbo proveniente das baterias chumbo-ácido, porém esta técnica deve ser aperfeiçoada para que se consiga uma melhor purificação.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Líria. **Oxidação e redução**. Brasil Escola. Disponível em <[www.brasilecola.com/quimica/oxidacao-reducao.htm](http://www.brasilecola.com/quimica/oxidacao-reducao.htm)> acesso em: 16 de jul. 2012.

ATKINS, Peter; Loret Jones; **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre; Bookman, 2001.

ANDRADE JR, Derci Antônio. **Estudo do Aproveitamento de Resíduos**, 1. ed. Tocantins: 2010.

ARAÚJO, Ramon Veras Veloso; TRINDADE, Roberto de Barros Emery; SOARES, Paulo Sérgio Moreira. **Reciclagem de chumbo de bateria automotiva**: Estudo de caso. Disponível em <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2004-107-00.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2011.

BOSCHI, Tecnologia para a vida. **O que é uma Bateria**. Disponível em <[www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/baterias/o\\_que\\_e.htm](http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/baterias/o_que_e.htm)>. Acesso em 10 jul. 2012.

BIOMANIA. **Metalurgia**. Disponível em <[www.biomania.com](http://www.biomania.com)> acesso em 03 de jul. 2012.

BENDASSOLLI, José Albertino. **Procedimentos para recuperação de Ag de resíduos líquidos e sólidos**. São Paulo: Química Nova, 2003.

BENEDITO, Célio Eugênio Silva. **Chumbo**. Disponível em

<<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/chumbo.pdf>>  
Acesso em: 09 out. 2011.

BOCCHI, N. **Química e Sociedade Pilhas e Baterias: funcionamento e impacto ambiental**. São Paulo: Química Nova na Escola, 2000.

BRADY, E.J., RUSSEL, W.J., HOLUM, R.J., **Química: A matéria e suas transformações**, 3. Ed., Rio de Janeiro: Editora LTC- Livros Técnicos e Científicos S.A, 2003.

ALVES, Líria. **Conceito de eletrólise**. Brasil Escola. Disponível em <[www.brasilecola.com/quimica/conceito-eletrolise.htm](http://www.brasilecola.com/quimica/conceito-eletrolise.htm)>. Acesso em: 12 de jul. 2012.

CABRAL Marcelo; PELINZON, Ariane; PEREIRA, Milena; RIBEIRO, Rafaela; FERNANDEZ, Renato. **Reatividade dos metais**. Disponível em <[www.ebah.com.br/content/ABAAABh4IAL/relatorio-eletoquimica-reatividade-entre-metais](http://www.ebah.com.br/content/ABAAABh4IAL/relatorio-eletoquimica-reatividade-entre-metais)>. Acesso em 18 de jul. 2012.

CEMPRE, Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Baterias de Chumbo-Ácido**. Disponível em < [www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br) >. Acesso em 26 jul. 2012.

COMPAM, Comércio de Papéis e Aparas Mooca Ltda. **Reciclagem de baterias e pilhas**. Disponível em <[http://www.compam.com.br/re\\_baterias.htm](http://www.compam.com.br/re_baterias.htm)>. Acesso em: 12 de mai. 2012.

COUNCIL, Battery. **Reciclagem.** Disponível em [www.batterycouncil.org/recycling.html](http://www.batterycouncil.org/recycling.html). Acesso em 04 de jul. 2012.

ECOMETAIS. **Pioneiros Bateria.** Disponível em [www.bateriaspioneiro.com.br/site/ecometais.php](http://www.bateriaspioneiro.com.br/site/ecometais.php). Acesso em 10 de jul. 2012

ENCICLOPLÉDIA, Britannica. **Gaston Planté.** Disponível em [www.britannica.com/EBchecked/topic/463437/Gaston-Plante](http://www.britannica.com/EBchecked/topic/463437/Gaston-Plante). Acesso em 02 jul. 2012.

EQUIPE EDUCAREDE. **Eletrólise e banho dos metais.** Brasil. Disponível em [portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/16859/eletrolise.pdf](http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/recursos/16859/eletrolise.pdf). Acesso em 10 out. 2011.

FERRACIN, L.C., **Desenvolvimento de Processo de Produção de Chumbo Eletrolítico a Partir de Sucata de Baterias Automotivas.** Projeto RHAE / CNPq, Processo Institucional No. 610044/98-2, 2001.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Balanceamento por oxirredução.** Disponível em [www.brasilecola.com/quimica/balanceamento-por-oxirreducao.htm](http://www.brasilecola.com/quimica/balanceamento-por-oxirreducao.htm) >. Acesso em 15 out. 2012.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Eletrólise ígnea.** Disponível em [www.alunosonline.com.br/quimica/eletrolise-ignea.html](http://www.alunosonline.com.br/quimica/eletrolise-ignea.html)>. Acesso em 12 jul. 2012.

FOGAÇA, Jennifer. **Conceito e exemplos de agente redutor e agente oxidante.** Brasil Escola. Disponível em [www.brasilecola.com/quimica/conceito-exemplos-agente-redutor-agente-oxidante](http://www.brasilecola.com/quimica/conceito-exemplos-agente-redutor-agente-oxidante) >. Acesso em 16 jul. 2012.

FURTADO, João S. **Baterias esgotadas: legislações & gestão.** Brasília DF: Relatório. Esplanada dos Ministérios, 2003.

GOMES, Fernanda; VIANA, Bárbara; SOUZA JR., Ernani. **Arvore de Chumbo.** Instituto de Química da Universidade de Brasília. Disponível em <[www.pontociencia.org.br/experimentosinterna.php?experimento=339&ARVORE+DE+CHUMBO+EM+RETROPROJETOR](http://www.pontociencia.org.br/experimentosinterna.php?experimento=339&ARVORE+DE+CHUMBO+EM+RETROPROJETOR)>. Acesso em: 08 de jul. 2012.

GOGATE, P.R.; PANDIT, A.B. **A review of imperative technologies for wastewater treatment I: oxidation technologies at ambient conditions.** Adv. Environ. Res., Florida, v. 8, n. 3-4, 2004 p. 501- 551.

GUERRA, Wendell; ALVES, Fabricio Eugenio; SILVA, Keilla Cristina Cunha. **Elemento Químico: Bismuto.** Química Nova na Escola vol.33 ed. 3 agosto 2011. Disponível em <[http://www.qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33\\_3/193-EQ0810.pdf](http://www.qnesc.sbq.org.br/online/qnesc33_3/193-EQ0810.pdf)>. Acesso em 02 jun. 2012.

KODAK, Company. **A Tecnologia de Recuperação da Prata para Instalações de Processamento Fotográfico.** Kodak Puplication No. J 227(PB). 1999. Disponível em <<http://www.kodak.com/>>. Acesso em 12 out. 2011.

LIRA, Júlio Cesar Lima. **Prata.** São Paulo. Disponível em <<http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/prata>>. Disponível em 11 out. 2011.

LINDEN, David. Handbook of Batteries. 2nd edition. Mcgraw-hill - New York - USA. 1994. Chapter 24.

MAÇANITA, António. **Número de oxidação.** Disponível em <[www.e-](http://www.e-)

escola.pt/topico.asp?id=277>. Acesso em 16 de jul. 2012.

MARCONDES, Renato. **Elementos Químicos: Bismuto**. Info Escola 2011. Disponível em < <http://www.infoescola.com/elementos-quimicos/bismuto/>>. Acesso em 02 jun. 2012.

MACHADO, Iraci Pereira. **Avaliação Ambiental do Processo de Reciclagem de Chumbo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Unicamp, São Paulo, 2002. Disponível em:  
<<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000252297>>. Acesso em 17 jul. 2009.

MOURA. **Baterias**. Disponível em  
<[http://www.batersul.com/download/Vida\\_Util\\_Baterias\\_HDP.pdf](http://www.batersul.com/download/Vida_Util_Baterias_HDP.pdf)>. Acesso em 03 jul. 2012.

MUNDO, Educação. **Eletrólise na obtenção de elementos químicos**. Disponível em  
<<http://wmundoeducacao.com.br/quimica/eletrolisenaobtencaoelementosquimicos.htm>>. Acesso em 10 jul. 2012

MENDONÇA, Rildo J.; CAMPOS, Ângela F.; JÓFILI, Zélia M. Soares. **PESQUISA NO ENSINO DE QUÍMICA: O conceito de oxido redução nos livros didáticos de química orgânica do ensino médio**. Disponível em  
<[qnesc.s bq.org.br/online/qnesc20/v20a08.pdf](http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc20/v20a08.pdf) >. Acesso em 16 de jul. 2012.

NEMEROW, N. L. **Industrial and Hazardous Waste Treatment**. New York: International Thomson, Publiesing Inc. 1991.

PERUZZO, Tito Miragaia; CANTO, Eduardo Leite do. **Química: volume único**. 2. ed.

São Paulo: Moderna, 2003, Coleção Base.

PORTAL DE QUÍMICA. **Leis da Eletrólise.** Disponível em <<http://w.soq.com.br/conteudos/em/eletroquimica/p6.php>>. Acesso em 12 jul. 2012.

RORIZ, Elizabeth Rodrigues Rangel. **Reciclagens de pilhas: recuperação do manganês na forma de dióxido de manganês eletrolítico.** Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso em 26 mai. 2012.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira; SOUZA, Gerson Mól; **QUÍMICA E SOCIEDADE**, 1ª edição, São Paulo, Nova Geração, 2009.

SARDELLA, Antônio. **Curso de Química**, Vol. 01, 25ª edição, São Paulo – SP: Editora Ática. 2002.

SILVA, Leandro de Mello. **Rota Hidro metalúrgica para recuperação de Chumbo de sucata de Baterias automotivas.** Disponível em [www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_VII\\_jic.../leandro.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_VII_jic.../leandro.pdf)>. Acesso em 03 jul. 2012.

SOUSA, Edmilson Araújo; OLIVEIRA, Epaminondas Candido; REIS, Evandro da Motta. **OS BENEFÍCIOS DA RECICLAGEM DE BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO NO LESTE DE MINAS.** 2009. 87 pgs. Monografia, Universidade Vale do Rio Doce, Faculdade de Engenharia curso de pós-graduação mba gestão integrada da qualidade, Minas Gerais, Governador Valadares. 2009.

TEIXEIRA, Juliana Ayres de A. B. **Chumbo**. Disponível em <[https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao/mostra\\_imagem.asp?](https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?)>. Acesso em 05 out. 2011.

THEODORE L. Brown, H. EUGENE LeMay, BRUCE E. Bursten. **Química: A ciência central**, 9ª Edição. São Paulo – SP: Editora Prentice-Hall, 2005.

THOMAS, N. C. Recovering Silver Nitrate from Silver Chloride Residues in about Thirty Minutes, **Journal of Chemical Education**, 1990, n. 67, p. 794.

TOCCHETTO, Marta Regina Lopes; PANATIERI, Rodrigo Barroso; VIARO, Nádia Suzana Schneider. **O Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Rio Grande do Sul considerando a implantação do Pólo Automotivo de Gravataí**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Santa Maria, 1999.

TUDOR 2008, Empresas baterias TUDOR. **Bateria Estacionária**. Minas Gerais. Disponível em <[www.tudor.com.br](http://www.tudor.com.br)>. Acesso em 5 de jul. 2012.

US EPA-Environmental Protection Agency. **Guidelines to Pollution** , The Photoprocessing Industry. EPA/695/7-91/012. Washington, D.C., 1991.

VOGEL, Arthur Israel. **Química analítica qualitativa**, 5ª edição. Antonio Gimeno, São Paulo: Mestre Jou, 1981.