

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO CHUMBO NA
PRODUÇÃO DE BATERIAS E SUAS IMPLICAÇÕES
AMBIENTAIS.**

HERMANO LUIS PANTAROTO

ORIENTADOR:

PROF. DR. PAULO JORGE MORAES FIGUEIREDO

SANTA BÁRBARA D'OESTE – SP

2008

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO CHUMBO NA
PRODUÇÃO DE BATERIAS E SUAS IMPLICAÇÕES
AMBIENTAIS.**

HERMANO LUIS PANTAROTO

ORIENTADOR:

PROF. DR. PAULO JORGE MORAES FIGUEIREDO

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

SANTA BÁRBARA D'OESTE – SP

2008

A

Minha esposa Maria de Lourdes, minha filha Giovana, meu filho Lucas e meus pais Aquilino e Jercides.

AGRADECIMENTOS

A Deus que me sustentou nessa difícil caminhada, me dando forças para chegar até o final do curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Jorge Moraes Figueiredo pela orientação e apoio na condução deste curso de Mestrado e também pelo verdadeiro exemplo de luta em defesa do Meio Ambiente.

Ao Prof. Dr. Gilberto Martins, Prof. Dr. Rodolfo Vilela, Prof. Dr. Silvio Pires e Prof. Dr. Milton Vieira Júnior do PPGEF da Universidade pelos ensinamentos e pela participação nesta etapa da minha vida.

Aos professores membros da bancada de qualificação Prof. Dr. Rodolfo Vilela e Prof. Dr. Antonio Garrido Gallego pelas sugestões dadas a este trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Otávio Mariano pelas explicações referentes a área de química.

A minha esposa e companheira Maria de Lourdes e aos meus filhos Giovana e Lucas pela paciência e compreensão pelos longos momentos de ausência dedicados a condução deste trabalho.

Aos meus pais Aquilino José Pantaroto e Jercides Parazzi Pantaroto pelos exemplos, muitas vezes transmitidos sem precisar de palavras.

A minha “cunhada-irmã” Prof.^a Sônia Maria Sgarbiero Pantaroto pelas correções a este trabalho e pelas palavras sempre motivadoras.

Aos meus irmãos José Carlos e Rita pela existência.

A Frey & Stuchi Ltda pela visita técnica permitida e principalmente ao Eng. Ivan G. Cotta e ao químico Gustavo Viana, por proporcionarem uma visita técnica de grande proveito.

Aos Srs. José A. de Souza e Euclides A. Dotta Júnior da Johnson Controls, pelas informações e pela atenção dispensada a este trabalho.

Aos funcionários da biblioteca da Unimep, especialmente a Suzete S.H. Scaravatti e a Francine R. Duarte Beltrame.

A Delphi Automotive Systems, a Johnson Controls Inc. e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES - Brasil) pelo apoio financeiro.

As pessoas que me ajudaram com conselhos, informações e incentivos na condução deste trabalho.

Aos colegas de classe pela convivência e participação nesta fase importante de nossas vidas.

Do ponto de vista ambiental, que a passagem de cada um de nós por este planeta tenha o objetivo sempre de ser a mais despercebida possível.

Hermano L. Pantaroto

Pantaroto, H.L.: **Uma análise da utilização do chumbo na produção de baterias e suas implicações ambientais**. Santa Bárbara d'Oeste; 2008. 149p. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo – UNIMEP.

RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo exploratório do ciclo do chumbo, considerando desde sua ocorrência na natureza e os principais minérios que o contêm, assim como o processo de extração, as reservas mundiais e sua durabilidade (exaustão), a produção e consumo atual e o cenário de sua reciclagem, assim como as influências do elemento chumbo na saúde humana e no ambiente. O foco maior é mantido no levantamento das novas tecnologias que possam substituir o chumbo na sua principal aplicação que é o uso em baterias automotivas.

Através de revisão bibliográfica, visita em empresa e entrevistas com pesquisadores, foi feito um levantamento de informações que compõe este trabalho. As informações mostraram a redução do uso do chumbo em diversas aplicações que o contém e o aumento do seu uso na produção de baterias automotivas, aplicação que continua crescendo. Novas tecnologias para bateria estão sendo desenvolvidas, como as baterias de Íons de Lítio e de níquel, para uso nos veículos, porém fatores técnicos e econômicos dificultam ainda essa mudança de tecnologia para o armazenamento de energia elétrica.

PALAVRAS CHAVE: Chumbo, produção e consumo, influências do elemento chumbo na saúde humana e no ambiente, novas tecnologias para bateria, armazenamento de energia elétrica.

Pantaroto, H.L.: **An analyse of the lead application on the battery production and its environmental concerns**. City: Santa Bárbara d'Oeste; State: São Paulo; Country: Brazil; 2008. 149p. (Master degree thesis). Methodist University of Piracicaba - UNIMEP.

ABSTRACT

This job is based in an exploratory study of the lead cycle on the earth, considering its occurrence in the nature and the main ores where the lead is present, the extraction process, the world's resources and its life, the actual production and consumption and the lead recycling scenario and the influences of the lead in the human health and in the environment. Main focus is put on the new technologies for lead substitutes in its main application that is automotive battery.

By literature review, visiting company and peoples interview it was possible to get information that are presented on this job. These information showed the lead uses reduction in several applications and the big amount of lead applied in the automotive batteries, application that keep growing. New battery technologies are under development like lithium-ions batteries and nickel batteries to be used in vehicles, but technical and economic issues cause difficulties to implement them in the electrical energy storage concept.

KEY WORDS: Lead, production and consumption, lead's influence in the human health and environment, new battery technologies, electrical energy storage.

APRESENTAÇÃO PESSOAL

O autor é Técnico em Eletrônica formado em 1989 e Engenheiro Industrial Mecânico formado pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, no ano de 1995. Em 1990 iniciou trabalho como técnico no departamento de manutenção em fábrica de bateria tipo chumbo-ácido. Em 1996 ingressou no departamento de engenharia da mesma empresa trabalhando até o momento como engenheiro no processo produtivo deste produto, atuando em todos os setores da área fabril.

A seleção do tema sobre o chumbo partiu do contato que o autor tem com a matéria-prima e pelos anos que assiste do processo de manufatura do produto responsável pelo maior consumo deste elemento no mundo, consumo este que o torna alvo de um futuro escasseamento. As preocupações com o grande e crescente consumo deste recurso natural, juntamente com as questões referentes às novas tecnologias em estudo para substituí-lo, num futuro próximo, foram os fatores motivadores deste estudo em que o autor espera que possa ser de significativa contribuição ao leitor.

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
APRESENTAÇÃO PESSOAL	x
LISTA DE QUADROS	xiv
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE SIGLAS	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Apresentação do tema	1
1.1.1. Justificativas	3
1.2. Objetivo Geral e Específico.....	3
1.3. Metodologia	3
1.4. Organização do Trabalho.....	4
2. HISTÓRICO, OCORRÊNCIA E PRODUÇÃO DO CHUMBO	7
2.1. Generalidades.....	7
2.1.1. O chumbo na antiguidade.....	7
2.1.2. Propriedade Físico-Química do chumbo e seus compostos.....	8
2.2. Fontes naturais e antropogênicas de chumbo	9
2.2.1. Fontes naturais	12
2.2.2. Fontes antropogênicas de chumbo.....	12
2.2.2.1. No solo	12
2.2.2.2. Na água	13
2.2.2.3. No ar.....	15
2.2.2.4. Nas plantas.....	16
2.3. Transporte e distribuição no ambiente.....	16
2.4. Potencialidades do subsolo brasileiro	18
2.5. Histórico da exploração mineral.....	20
2.6. Reservas de chumbo	23
2.6.1. As reservas brasileiras.....	24
2.6.2. As reservas mundiais	27
2.7. A produção brasileira	28
2.8. A Produção Mundial.....	30
2.9. A durabilidade das reservas mundiais	31
2.10. O processo de obtenção do chumbo	32
3. APLICAÇÕES E DINÂMICA DOS PRODUTOS – ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS	35
3.1. As baterias tipo chumbo-ácido.....	41
3.1.1. O uso em veículos	43
3.1.2. Princípio de funcionamento	45
3.1.3. Componentes	48
3.1.4. Processo produtivo	55
3.1.5. Durabilidade.....	58
3.2. Chumbo na gasolina	59
3.2.1. O chumbo e o conversor catalítico	60

3.2.2. Opções para substituição	60
3.2.3. A transição no Brasil e a situação mundial	61
3.3. Chumbo em rolos e extrudados	61
3.4. Chumbo em revestimento de cabos	63
3.5. Esferas de chumbo, munições, pesos e outros	63
3.6. Ligas contendo chumbo	65
3.7. Chumbo em vidro e cerâmica	66
3.8. Pigmentos e tintas a base de chumbo	67
4. ASPECTO DE SAÚDE PÚBLICA E AMBIENTAL ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DO CHUMBO	69
4.1. Toxicocinética	70
4.1.1. Absorção do chumbo	70
4.1.1.1. Absorção pelas vias respiratórias	70
4.1.1.2. Absorção pelo aparelho digestivo	72
4.1.1.3. Absorção pela pele	73
4.1.2. Distribuição do chumbo no corpo humano	74
4.1.3. Acumulação do chumbo no corpo humano	75
4.1.4. Eliminação do chumbo	75
4.2. Efeitos do chumbo ao organismo	78
4.2.1. Funções afetadas pelo chumbo no organismo humano	78
4.2.2. Sintomas causados pela intoxicação	78
4.2.3. O chumbo e o câncer	79
4.2.4. O chumbo e a audição	80
4.2.5. O Saturnismo	81
4.2.6. Tratamento do saturnismo	81
4.2.7. Índice de tolerância	82
4.2.8. Medidas de redução da contaminação	86
4.3. Revisão de casos brasileiros de intoxicação	87
4.3.1. Casos de intoxicação ocorridos no Brasil	88
5. A RECICLAGEM DO CHUMBO	97
5.1. A valoração do chumbo no mercado	97
5.2. O fluxo do chumbo no mercado	98
5.3. A reciclagem dos produtos associados com chumbo	101
5.3.1. Alguns motivos para se reciclar o chumbo	102
5.3.2. Produtos que contém chumbo	103
5.3.2.1. A reciclagem da bateria tipo chumbo-ácido	105
5.4. A coleta de baterias usadas	107
5.5. O processo na recicladora de chumbo	108
5.5.1. Etapas do processo	108
5.5.1.1. Processo de refino do chumbo	110
5.5.2. Rendimentos dos processos de recuperação do chumbo	112
5.5.3. Energia consumida no processo de reciclagem	113
5.5.4. Pontos de contaminação ao ambiente e aos trabalhadores da área	113
5.6. A reciclagem do chumbo no Brasil	114
5.7. O fluxo em países americanos das baterias usadas	115
6. O FUTURO DO CHUMBO	119
6.1. O uso do carro elétrico contendo bateria de chumbo	119
6.2. Substituições ocorridas	119
6.3. Opções no armazenamento de energia elétrica	120

6.3.1. Os supercapacitores.....	121
6.3.2. A célula a combustível.....	122
6.3.3. Baterias de níquel e de Íons de lítio.....	123
6.3.3.1. Aquecimento excessivo da bateria de íons de lítio em Laptop.....	125
6.3.3.2. Os problemas com a produção do níquel.....	125
6.3.4. A aplicação da bateria de níquel metal hidreto.....	126
6.4. Início da produção da bateria de Íons de lítio.....	126
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	127
7.1. Considerações finais.....	127
7.2. Recomendações para trabalhos futuros.....	129
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXO I.....	140
ANEXO II.....	141
ANEXO III.....	144
ANEXO IV.....	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns sais.....	10
Quadro 2 - Principal minério de chumbo, denominado galena.....	11
Quadro 3 - Teor de chumbo nos oceanos.....	14
Quadro 4 - Concentração de chumbo depositado em camadas de gelo sobre o solo da Groenlândia com o passar dos anos.....	17
Quadro 5 - Investimento por país em exploração mineral em 2005 (milhões de US\$).....	21
Quadro 6 - Investimento mundial por produto na exploração mineral em 2005.....	21
Quadro 7 - Produção mineral brasileira (em milhões de US\$).....	22
Quadro 8 - Mineração de chumbo no Canadá.....	24
Quadro 9 - Reserva Indicada de chumbo, por unidade da federação para 2005 (Toneladas).....	27
Quadro 10 - Evolução da produção de chumbo beneficiado no Brasil (Toneladas).29	
Quadro 11 - Produção total anual de chumbo primário de 1900 até 2006.....	31
Quadro 12 - Processo de preparação do chumbo.....	35
Quadro 13 - Consumo de chumbo para diversas formas de uso em 1960.....	39
Quadro 14 - Consumo de chumbo para diversas formas de uso em 2005.....	40

Quadro 15 - Evolução do consumo do chumbo em seu uso final.....	41
Quadro 16 - Tipos de bateria chumbo-ácido e principais aplicações.....	43
Quadro 17 - Baterias chumbo-ácido comercializadas pelos fabricantes em 1992...	44
Quadro 18 - Frota mundial de veículos automotivos.....	45
Quadro 19 - Produção de veículos e de motocicletas no Brasil.....	46
Quadro 20 - Divisão por peso típico de uma bateria chumbo-ácido.....	47
Quadro 21 - Componentes da bateria chumbo-ácido do tipo livre de manutenção.	49
Quadro 22 - Princípio básico do funcionamento de uma bateria.....	50
Quadro 23 - Grade expandida.....	51
Quadro 24 - Grade com material ativo (pasta) aplicado.....	52
Quadro 25 - Separadores de PE, em forma de envelope.....	53
Quadro 26 - Grupo que formará uma célula de 2 volts dentro da bateria.....	55
Quadro 27 - Descarga e recarga da bateria.....	60
Quadro 28 - Concentração de chumbo na gasolina no mundo.....	63
Quadro 29 - Interior dos pulmões e o tamanho do particulado.....	72
Quadro 30 - Vias de contaminação através da pele.....	75
Quadro 31 - Distribuição do chumbo pelo organismo.....	76

Quadro 32 - Toxicocinética do chumbo no organismo.....	79
Quadro 33 - Reformadora de bateria, pouca proteção ao trabalhador.....	86
Quadro 34 - Variação de preço do chumbo nos últimos anos.....	99
Quadro 35 – Fluxo do chumbo no mercado mundial, de 2003 até 2007 (x1000 toneladas).....	100
Quadro 36 - Evolução da produção do chumbo secundário em relação ao primário.....	102
Quadro 37 - Bateria montada e seus principais componentes.....	106
Quadro 38 - Rotas das baterias a serem recicladas em países americanos.....	117
Quadro 39 - Densidade de energia para diversas tecnologias de baterias.....	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de chumbo em aerosol no hemisfério norte e sua concentração na neve na Groenlândia.....	18
Tabela 2 - Posição brasileira no ranking mundial da produção mineral em 2005....	22
Tabela 3 - Reserva brasileira de chumbo e suas diversas classificações, por unidade da federação e município (em toneladas).....	25
Tabela 4 - Reserva de chumbo por país e o total mundial (em toneladas do metal contido).....	28
Tabela 5 - Durabilidade das reservas.....	32
Tabela 6 - Tipos de separadores e algumas de suas características.....	53
Tabela 7 - Absorção e eliminação do chumbo em adultos e crianças.....	78
Tabela 8 - Parâmetros para controle biológico do chumbo inorgânico.....	85
Tabela 9 - Limite para exposição do chumbo no ar e no sangue por país.....	87
Tabela 10 – Rendimentos do processo em função do material de origem.....	113
Tabela 11 - Consumo de energia na recicladora Frey & Stuchi.....	114
Tabela 12 – Percentual de baterias recicladas no Brasil nos últimos 9 anos.....	115
Tabela 13 – Vantagens e desvantagens da bateria de íons de lítio sobre as de níquel.....	124

LISTA DE SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica.
ACS	American Cancer Society.
AGM	Absorbent Glass Mat.
Ah	Amperes hora.
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
CAT	Comunicação de Acidente de Trabalho.
CDC	Centers for Disease Control and Prevention.
CIT/SSMA-RS	Centro de Informações Toxicológicas da Secretaria de Saúde e Meio Ambiente do Rio Grande do Sul.
CEREST	Centro de Referência de Saúde do Trabalhador.
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.
CONAMA	Comissão Nacional do Meio Ambiente.
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais.
DIDEM	Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral.
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral.
EPA	Environmental Protection Agency.
EPI	Equipamento de Proteção Individual.
G.a.	Giga anos ou bilhões de anos.
GEMS	Global Environmental Monitoring System.
IARC	International Agency for Research on Cancer.
IBMP	Índice Biológico Máximo Permitido.
ILZSG	International Lead and Zinc Study Group.
LME	London Metal Exchange.
MEG	Metals Economic Group.
MME	Ministério de Minas e Energia.

NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health.
NR	Norma Regulamentadora.
OSHA	Occupational Safety & Health Administration.
PE	Polietileno.
PGM	Platinum Group Metals.
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.
PVC	Policloreto de Vinila.
SINDIPEÇAS	Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores.
SLI	Starting, Lighting and Ignition.
SSMT	Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho.
t	Toneladas.
TRC	Tubo de Raios Catódicos.
UNEP	United Nations Environmental Program.
USGS	United States Geological Survey.
VR	Valor de Referência.
VRLA	Valve Regulated Lead-Acid.
WHO	World Health Organization.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do tema

O homem recorre aos recursos naturais para satisfazer suas necessidades e para conferir-lhe maior conforto. Isso faz com que ocorra normalmente uma troca de recursos entre os seres vivos no ecossistema do planeta. Num sistema natural e sem intervenção do homem, há um equilíbrio entre o consumo de recursos e a sua devolução ao sistema, constituindo uma troca.

Os recursos naturais que fazem parte dessa troca e que estão presentes na vida do homem podem ser renováveis ou não-renováveis. Os renováveis são aqueles que voltam a estar disponíveis após consumo, como é o caso das plantas que se reproduzem e assim conseguem manter a espécie. Os não-renováveis são aqueles que não estarão mais disponíveis, como é o caso dos minerais que levaram muitos anos para se formar. Sendo assim e considerando o alto consumo que sofrem pela sociedade, tendem a se esgotar no planeta na sua forma natural.

O progresso tecnológico da humanidade esteve também associado aos minerais, pois deles são extraídos os metais que são largamente utilizados pela sociedade. Devido aos conhecimentos que foram sendo adquiridos pelo homem, os metais passaram a ser utilizados em equipamentos (ferramentas), construções e em inúmeros artefatos que fazem parte de nossa vida.

Alguns desses metais foram sendo identificados como potencialmente danosos ao ambiente e ao ser humano, como é o caso do chumbo. Atualmente o chumbo tem como aplicação principal o uso em baterias automotivas, mas foi na utilização como aditivo na gasolina que apresentou maior potencial de contaminação para o meio ambiente e saúde pública. Devido a essa motivação começou a ser substituído na gasolina em diversos países sendo que muitos que ainda não o eliminaram, conseguiram reduzir sua concentração na mistura em índices bem abaixo do que se praticava anteriormente. Muitos países tiveram iniciativas de eliminar ou reduzir o nível de chumbo presente no ambiente, mas ainda é um assunto que preocupa a sociedade atual, pois sua presença em níveis elevados no ar, na água e em locais de trabalho ainda ocorre em muitos países (WHO, 1995, p.23).

De acordo com DiFrancesco e Smith (2006, p.1 a 6), o consumo do chumbo teve grande impulso após a 2ª Guerra Mundial. A partir de então as reservas naturais vêm sendo consumidas de maneira acelerada. Mantendo-se o cenário atual de consumo foi possível calcular que em poucas décadas chegaremos a um esgotamento do metal na sua forma natural. Diante disso é importante usá-lo de forma racional, caso contrário pode se extinguir rapidamente.

A viabilidade da reciclagem de chumbo tem sustentação, principalmente, no crescente aumento do custo da matéria prima no mercado mundial. Outro fator importante é a questão da minimização ou eliminação da sucata de chumbo depositada no ambiente. Mesmo com a reciclagem que ocorre atualmente, não se consegue reduzir o alto consumo da matéria prima extraída nas minas. Nem todo produto à base de chumbo consegue ser encaminhado à reciclagem e também devido às perdas existentes neste processo, em diversas aplicações sua recuperação se torna complicada e difícil, como no caso das tintas, soldas, munições e da gasolina, que o utilizam.

Por ser material com potencial contaminante, existe a preocupação em eliminar o chumbo de suas aplicações, utilizando substitutos menos agressivos à saúde humana e ambiental. Essa eliminação vem ocorrendo como percebido na gasolina, mas é pouco, diante de outras aplicações como a das baterias automotivas e motocicletas, que atualmente possuem grande demanda no crescente mercado atual desses veículos, como demonstrado para o Brasil por Anfavea (2007, p.52), Sindipeças (2007a, p.38) e Sindipeças (2007b, p.1).

A preservação deste metal para um longo período de uso pela sociedade seria possível desde que houvesse uma reciclagem total dos produtos que o utilizam, que esses produtos tivessem uma vida maior e que houvesse uma redução do consumo. Isso pelo menos possibilitaria uma maior durabilidade das reservas de chumbo e disponibilidade para as gerações futuras.

1.1.1. Justificativas

O interesse em estudar o chumbo partiu do fato de ser este um metal bastante empregado pelo homem, além de ter uso específico para a produção de alguns artefatos, como o caso dos acumuladores elétricos, responsáveis pela maior parte do consumo mundial. É um produto escasso que está presente em poucos países com extração economicamente viável. Devido às suas características, torna-se insubstituível em muitas aplicações, permanecendo sem substituto por longo período de tempo. Por ser produto tóxico, tem um histórico de ocorrências graves nas questões de saúde pública e ambiental, com diversos casos de contaminação ao trabalhador que manuseia o produto, como também na população em geral e no meio ambiente, principalmente ao redor da fonte poluidora.

1.2. Objetivo Geral e Específico

O objetivo geral deste trabalho é explorar o cenário nacional e internacional que envolve o ciclo do chumbo como matéria prima das baterias chumbo-ácido, analisando aspectos gerais que vão desde sua extração, processamento, usos, reciclagem, disposição final e perspectivas futuras sobre seu uso e substituição. Apresentar casos de contaminação envolvendo meio ambiente e pessoas que foram expostas a este produto, explicando os riscos desta contaminação à saúde.

Como objetivo específico pretende-se fazer um levantamento das tecnologias atuais no armazenamento de energia que possam vir a substituir o chumbo na sua principal aplicação que é o uso em baterias do tipo chumbo-ácido.

1.3. Metodologia

Para Marconi e Lakatos (2002, p.15), pesquisa é um “procedimento formal, com método de pensamento reflexivo, que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”. Os métodos e as técnicas a serem utilizados têm que estar relacionados com o problema a ser estudado. Eles dependerão da natureza dos fenômenos, do objeto

de pesquisa, dos recursos financeiros disponíveis, das pessoas envolvidas na pesquisa e de outros elementos que normalmente surgem durante o estudo (MARCONI e LAKATOS, 2002, p.30). Tanto os métodos como as técnicas devem se adequar ao problema, porém nunca se deve utilizar apenas um método ou técnica durante a pesquisa, devem ser utilizados todos os que forem necessários para que se atinja o resultado esperado.

Este trabalho consiste em uma pesquisa exploratória, pois uma vez definido o objetivo, buscou-se levantar mais informações para familiarização sobre o assunto. Segundo Cervo e Bervian (2002, p. 69), “o estudo exploratório é normalmente o passo inicial no processo de pesquisa pela experiência e um auxílio que traz a formulação de hipóteses significativas para posteriores pesquisas”.

Nesta pesquisa foram feitas coletas de informações em diversas fontes como livros, revistas, jornais, telejornais, artigos, visita a organizações públicas e visitas em sites de organizações públicas e não governamentais através da internet. Estas informações foram organizadas por assunto e divididas em pastas, identificadas como: ocorrências do chumbo, extração, produção, reservas, aplicações, saúde, disposição/reciclagem, preço, substitutos e geral. Foi feita uma visita em recicladora para coletas de dados e entrevistas semi-estruturadas com profissionais da área de refino de chumbo e de compra do metal reciclado no Brasil. Os roteiros dessas entrevistas estão nos anexos I e IV.

1.4. Organização do Trabalho

No primeiro capítulo é apresentada a parte introdutória do trabalho contendo as justificativas que motivaram o estudo sobre o tema. Nele consta também o objetivo proposto bem como a metodologia empregada na coleta das informações sobre esse assunto.

O segundo capítulo caracteriza-se por conter informações sobre seu histórico junto à humanidade, as formas em que ocorre na natureza, as reservas e a produção brasileira e mundial. Este capítulo apresenta o começo da aplicação do chumbo pelo

homem, datado em milhares de anos antes de Cristo e também as civilizações que o utilizaram. A potencialidade do subsolo brasileiro e a reserva brasileira e mundial são apresentadas, bem como a projeção da durabilidade das minas de chumbo, diante do que se consome atualmente. Apresenta-se o processo de obtenção do chumbo desde sua extração até a eliminação das impurezas, quando então são obtidas suas diversas classificações.

No terceiro capítulo são detalhadas as mais importantes aplicações que o chumbo tem na sociedade atual. Aplicações como na confecção de baterias automotivas, no preparo de pigmentos, a utilização do chumbo na gasolina, que no Brasil não ocorre mais, mas que ainda é utilizado em diversos países, o uso em condutores elétricos, na indústria bélica e o seu uso em solda formando ligas com o estanho e outros elementos.

O quarto capítulo aborda o modo como o chumbo é absorvido e como ele age em nosso organismo, pois desde que passou a ser utilizado, tem produzido intoxicações principalmente nos trabalhadores que entram em contato com o metal ou seus compostos. Também a população em geral não está isenta de tal risco, sendo que no dia-a-dia fica exposta ao metal devido a sua aplicação em diversos produtos que nos cercam. São descritas algumas medidas de precaução que devem ser tomadas pelas pessoas que têm contato com o chumbo e relatados diversos casos em que ocorreram contaminações envolvendo o meio ambiente e a saúde das pessoas que tiveram contato direto ou indireto com o produto no Brasil.

No quinto capítulo é abordado o aspecto referente à reciclagem, pois além de ser matéria prima de alto custo, o chumbo é material não renovável e potencial contaminante ambiental quando disposto inadequadamente. Também o fato de hoje estarmos diante de uma crescente conscientização que vem sendo disseminada na sociedade e a implementação de políticas que compatibilizem o modelo econômico atual com uma permanente manutenção da qualidade ambiental, a reciclagem deverá ser sempre promovida.

No sexto capítulo são apresentadas as recentes tecnologias que tem a possibilidade de eliminar ou reduzir a utilização das baterias tipo chumbo-ácido na aplicação

automotiva. São novos conceitos de baterias para serem utilizadas em veículos híbridos ou elétricos cujo objetivo maior é a eliminação do motor a combustão, principal causador da liberação dos gases que provocam o efeito estufa.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e considerações finais do trabalho.

2. HISTÓRICO, OCORRÊNCIA E PRODUÇÃO DO CHUMBO

2.1. Generalidades

No português: chumbo; espanhol: plomo; italiano: piombo; francês: plomb e no latim: plumbum. O inglês “lead”, do século XIII, é palavra antiga na língua e se origina no próprio inglês (MIRADOR INTERNACIONAL, 1981, p.2374).

2.1.1. O chumbo na antiguidade

O Chumbo, junto com o ouro, prata, cobre, ferro, estanho e mercúrio, foi usado tecnicamente antes de Cristo. Os egípcios provavelmente usaram chumbo, tanto como o cobre, prata e ouro antes de 5000 a.C., os Fenícios desenvolveram depósitos de chumbo no Rio Tinto na Espanha em 2300 a.C. e os Chineses provavelmente fizeram moedas de chumbo em 2000 a.C. Os canos de água Romano foram particularmente bem conhecidos, pois foram produzidos enrolando folhas de chumbo (as quais tinham sido feitas por martelamento) dentro de tubos, e preenchendo a junta com chumbo derretido, conseqüentemente formando uma solda (HOFMANN, 1970, p.1).

Environmental (2007, p.1) explica que provavelmente o mais antigo artefato de chumbo foi objeto feito em 3.000 a.C., quando as mais antigas civilizações, como a Egípcia, Assíria e Babilônica, usaram o chumbo para fins ornamental e estrutural.

Os veios de prata eram raros, e quando foi descoberto que alguma quantidade de prata poderia ser extraída do minério de chumbo, iniciou-se sua extração em larga escala. A produção nas minas de chumbo aumentou especialmente com o uso das moedas de prata, cerca de 650 a.C. e com o aumento gradual de sua aplicação em outros produtos. Foram encontrados poucos objetos em chumbo puro na Idade do Bronze, na Escandinávia. O chumbo foi raramente usado em ligas de bronze, naquela época (GRANDJEAN, 1975, p.8).

2.1.2. Propriedade Físico-Química do chumbo e seus compostos

O chumbo pertence ao grupo dos metais não ferrosos, estando presente na coluna 4A da tabela periódica. Segundo Silva (2001, p.1), o chumbo é um metal de coloração cinzento ou azulado brilhante, não é elástico, mas mole, dúctil, maleável e trabalhável a frio. Conduz de maneira razoável o calor e a eletricidade, possui coeficiente de expansão térmica linear de $2,9 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ e aumento em volume (de 20°C ao ponto de fusão) de 6,1%. Possui peso específico de 11,37g/cm³, peso atômico de 207,2 e baixo ponto de fusão (327°C). Exibe retração linear na solidificação de 1 a 2,5% com alongamento de 31%. Possui característica de emitir vapores tóxicos antes de atingir a temperatura de ebulição. Segundo Environmental (2007, p.1), o chumbo é considerado virtualmente indestrutível e não biodegradável.

Em condições apropriadas de síntese em que o chumbo é ligado a átomos de carbono, formam-se compostos estáveis, como é o caso do chumbo tetraetila e tetrametila. Estes se tornaram compostos importantes devido a aplicação como aditivo a gasolina, atuando como anti-detonantes. Ambos são líquidos incolores e possuem baixa volatilidade quando comparados com a maioria dos componentes do combustível, sendo assim, com a evaporação da gasolina, ocorre a concentração do chumbo tetraetila e tetrametila no líquido residual. O ponto de ebulição do chumbo tetrametila é 110°C e do chumbo tetraetila 200°C (WHO, 1989, p.14).

O chumbo apresenta baixa resistência à fadiga resultando, conseqüentemente, no aparecimento de fissuras quando submetido a repetidos esforços mecânicos como dobramento e resfriamento alternados e tensão produzida pela vibração. As chapas de chumbo são facilmente trabalháveis devido à alta ductibilidade e maleabilidade (SILVA, 2001, p.1).

Um fator que afeta a resistência do chumbo e suas ligas é o tamanho de grão do metal. No chumbo, o grão é visível a olho nu quando a superfície é limpa e tratada com reativos químicos. Quando exposto ao oxigênio do ar, ocorre rapidamente uma oxidação superficial, principalmente quando fundido, formando o peróxido de chumbo que o protege da corrosão atmosférica. Dissolve-se a quente nos ácidos nítrico e acético e nos ácidos sulfúrico e clorídrico em ebulição, mas reage à ação

dos demais ácidos o que faz dele um dos elementos preferidos para o revestimento interno de recipientes para este produto. A água tem propriedade para atacá-lo lentamente causando intoxicação, o que indica para a importância da sua substituição na fabricação de tubulações para água potável. Comunica boas propriedades de antifricção a certas ligas e apresenta a propriedade singular de absorver radiações de ondas curtas, tais como, as emanações do rádio ou as produzidas pelos raios X (ROCHA, 1973, p.1). O quadro 1 apresenta algumas propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns sais.

2.2. Fontes naturais e antropogênicas de chumbo

O chumbo ocorre em muitos minerais sendo que os mais importantes são: a Galena (PbS), a Cerusita (PbCO₃) e a Anglesita (PbSO₄). Na obtenção do Chumbo, a Galena é o minério mais importante. Segundo Mirador Internacional (1981, p.2374), no seu estado puro contém 86,6% de chumbo, e o restante é composto de enxofre e um pouco de prata e se associa à blenda, pirita e calcopirita.

Algumas características dos principais minérios de chumbo:

a) Galena: é o principal minério de chumbo. É um mineral pesado, quebradiço, de cor cinza e brilho metálico. É um composto de enxofre cuja fórmula química é PbS, sendo que em seu estado puro compõem-se de 86,6% de chumbo e 13,4% de enxofre. É encontrada sob a forma de massas nas rochas calcárias ou de fragmentos nos sedimentos de rochas e terra (DELTA, 1985, p.3596). Um exemplo deste minério é mostrado no quadro 2.

b) Cerusita: é formada por carbonato de chumbo (PbCO₃). Possui coloração situada entre o branco e o incolor, é resinoso e vítreo.

Propriedades físico-químicas	Chumbo	Acetato de chumbo	Carbonato de chumbo	Sulfato de chumbo	Sulfeto de chumbo	Monóxido de chumbo	Dióxido de chumbo	Chumbo tetraetil
	Metal de chumbo. Lasca de chumbo.	Diacetato de chumbo. Acetato plumboso. Sal de saturno. Açúcar de chumbo. Acetato neutro. Acetato dibásico de chumbo.	Cerusita. Ácido carbônico. Carbonato de chumbo (II).	Anglesita. Chumbo branco. Sulfato de chumbo (II). Leite branco.	Galena. Monossulfeto de chumbo. Sulfeto plumboso. Sulfeto de chumbo (II).	Litargírio. Monóxido de chumbo. Óxido de chumboso (I). Óxido plumboso.	Ácido plúmbico. Chumbo marrom. Óxido de chumbo marrom. Peróxido de chumbo (DOT). Superóxido de chumbo.	Chumbo tetraethide. Tetraethylplumbane.
Sinônimos								
Fórmula Molecular	Pb	PbC ₄ H ₆ O ₄	PbCO ₃	PbSO ₄	PbS	PbO	PbO ₂	C ₈ H ₂₀ Pb
Massa Atômica	207,19	325,28	267,2	303,25	239,25	223,19	239,19	323,45
Ponto de ebulição	1.740°C	—	—	—	1.281°C (sublima-se)	1.470°C	—	200°C; 227,7°C (decompõe-se)
Ponto de fusão	327,502°C	280°C	315°C (decompõe-se)	1.170°C	1.114°C	888°C	290°C (decompõe-se)	-130°C
Solubilidade em água fria	Insolúvel	443 (g/L)	0,0011 (g/L)	—	Insolúvel	Insolúvel	Insolúvel	0,29mg/L a 25°C

Quadro 1 - Propriedades físico-químicas do chumbo e de alguns sais.

Fonte - Elaborado a partir de ATSDR (1993), NTP (2001) e WHO (1995) apud Paoliello e Chasin (2001, p. 24).

c) Anglesita: é formada por sulfato de chumbo (PbSO_4). Assim como a cerusita, possui coloração situada entre o branco e o incolor, é resinoso e vítreo.

Raros e também de origem secundária são a piromorfita ($3\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{PbCl}_2$), a mimetesita ($3\text{Pb}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot \text{PbCl}_2$), a crocoíta (PbCrO_4) e a wulffanita (PbMoO_4) (MIRADOR INTERNACIONAL, 1981, p.2374).



Quadro 2 - Principal minério de chumbo, denominado Galena.

Fonte - Foto de acervo próprio, tirada no Instituto de Geociências da UNICAMP em 19 de Abril de 2007.

Cita que o chumbo ocorre na maioria das vezes associado com Zinco, mas que também está presente junto com outros minerais em menores quantidades como: cobre, prata, ouro, bismuto, antimônio, arsênio, cádmio, estanho, gálio, tálio, índio, germânio e telúrio. Das fontes minerais de chumbo, 70% ocorre em associação com o zinco, em 20% o chumbo é a ocorrência principal e nos 10% restante é obtido como subproduto, por exemplo, em depósitos de cobre-zinco (WHO, 1995, p.51).

Nas associações entre diferentes materiais como ocorre entre o chumbo e zinco os minérios são classificados segundo o de maior valor do metal recuperável na

seguinte ordem: minérios de chumbo, minérios de chumbo-zinco e minérios de zinco (MIRADOR INTERNACIONAL, 1981, p.2374).

2.2.1. Fontes naturais

O Chumbo é elemento relativamente abundante na crosta terrestre, sendo, portanto encontrado naturalmente em diversas partes do mundo. As maiores fontes naturais de chumbo são as emissões vulcânicas, o intemperismo geoquímico¹ e as emissões provenientes da névoa do mar. Uma pequena parte do chumbo radioisotópico (²⁰⁷Pb) provém do decaimento do gás radônio que é emitido por fontes geológicas. É estimado que por todo o mundo, a emissão natural total de chumbo seja da ordem de 19.000 toneladas/ano (Nriagu e Pacina apud WHO, 1995, p.48), sendo que somente as fontes vulcânicas são responsáveis por 6.400 toneladas/ano (Nriagu apud WHO, 1995, p.48).

2.2.2. Fontes antropogênicas de chumbo

O chumbo é um constituinte natural do ambiente sendo mais comum no solo. A contaminação no ambiente ocorre através de fontes antropogênicas como a mineração, produção, uso e disposição final de materiais que contém o metal (HAAR, 1975, p.76). Não há dúvida que a atividade humana provoca contaminação por chumbo em muitos pontos do planeta. Segundo Grandjean (1975, p.21), a evidência mais convincente que a contaminação por chumbo vem sendo acelerada está na Geoquímica, como descrito a seguir.

2.2.2.1. No solo

As maiores fontes geológicas de chumbo são as rochas ígneas e metamórficas. Segundo IPCS apud WHO (1995, p.48), a concentração média de chumbo na crosta terrestre está entre 10 a 20 mg/kg, já para as camadas de solo abaixo da superfície, a concentração varia de 10 a 70 mg/kg (GEMS apud WHO, 1995, p.49). Thornton

¹ Intemperismo geoquímico é a decomposição das rochas, do solo e de seus minerais através de reações e processos químicos que ocorrem pelo contato destes com a atmosfera do planeta. Corresponde a fenômenos físicos e químicos que levam a degradação e enfraquecimento das rochas na superfície da terra.

apud Paoliello e Chasin (2001, p.28), refere-se que na Grã-Bretanha foram observados níveis de chumbo no solo na faixa de 10-150 mg/kg.

Valores similares têm sido encontrados próximos a rodovias, onde amostras de solo foram coletadas a uma distância entre 50 a 100 metros da estrada (portanto fora da faixa de impacto imediato da emissão de veículos) e indicou valores de chumbo abaixo de 40 mg/kg. Amostras de solo superficiais coletadas próximas a rodovias em diversos países em 1985, mostrou resultado médio de 54 mg/kg, em áreas localizadas a pelo menos 5 m de distância dos mesmos. Para amostras coletadas na superfície e a menos de um metro da rodovia a concentração média de chumbo foi bem mais alta, ficando ao redor de 138 mg/kg, indicando a contaminação proveniente das emissões veiculares (WHO, 1995, p.49).

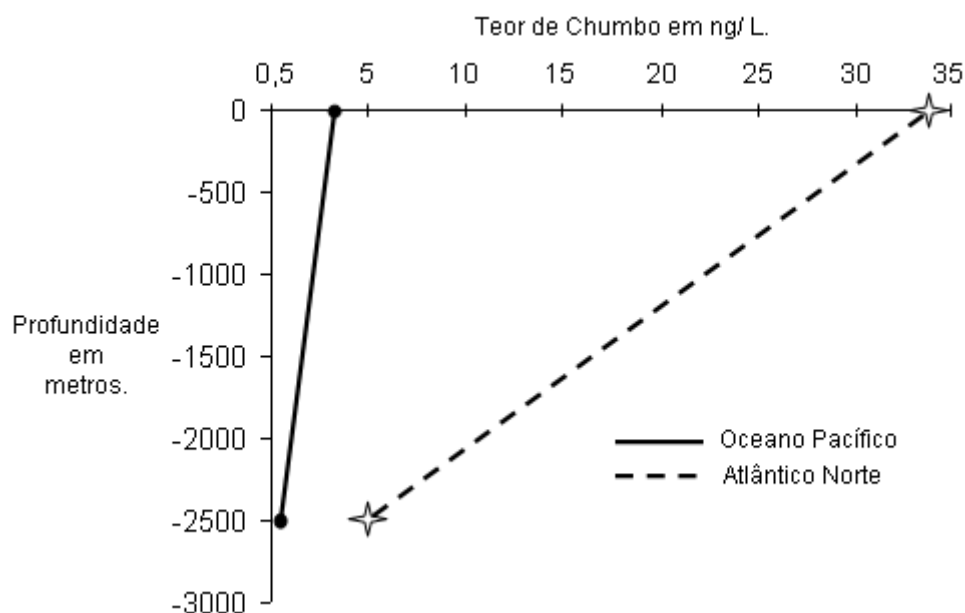
No Brasil estudo realizado em época mais recente por Duarte e Pasqual (2000, p.52) em quatro rodovias do estado de São Paulo, indicou valores bem abaixo comparados com os encontrados nos estudos citados acima. Houve uma concentração do chumbo no solo de 2,60 a 8,20 mg/Kg para uma distância de 10 metros da rodovia com amostras coletadas a profundidade de 0 a 20 cm. Para uma distância de 50 metros com mesma profundidade de amostragem, a variação encontrada foi da ordem de 1,30 a 3,40 mg/Kg.

Essa baixa concentração ao redor das rodovias brasileiras teve como principal causa no Brasil, a eliminação de 100% do chumbo presente na gasolina, fato este ocorrido em 1992 (PETROBRAS, 2007).

2.2.2.2. Na água

Segundo Flegal apud WHO (1995, p.49), a concentração natural de chumbo na superfície das águas é estimada ao redor de 0,02 µg/litro. Segundo IPCS apud WHO (1995, p.49), não foram encontrados níveis de chumbo acima de 10 µg/litro na terra ou na superfície das águas.

O quadro 3 mostra a concentração de chumbo em amostras de água coletadas na superfície e em uma profundidade de 2500 metros nos Oceanos Pacífico e Atlântico Norte.



Quadro 3 - Teor de chumbo nos oceanos.

Fonte - Elaborado a partir de Patterson apud WHO (1995, p.49).

De acordo com os dados do quadro 3, os teores de chumbo encontrados no Pacífico são muito parecidos com o que foi estimado para a pré-história (0,5 ng/litro). No entanto, os valores encontrados na superfície no Atlântico Norte ficam bem acima desse valor, podendo ser indício de contaminação. Isso contraria a Organização Mundial da Saúde que defende que os oceanos não foram afetados diretamente por fontes externas de chumbo, mantendo nível baixo de concentração do metal (WHO, 1995, p.49).

Segundo Haar (1975, p.83), embora a chuva provavelmente seja o meio mais importante para arrastar o chumbo presente no ar, a água potável consegue manter índice muito baixo do metal. EPA (2004, p.2) também confirma o baixo índice de chumbo na água potável, mas comenta que quando essa água se torna corrosiva, ela pode ter índice de chumbo elevado devido à remoção do metal presente, por exemplo, na solda usada para união de tubos ou nos acessórios da tubulação que

são de latão e que contém pequena porcentagem de chumbo. Devido à corrosão, é importante o controle da acidez na água, pois tubulações com essas características podem ainda fazer parte de diversos sistemas de distribuição de água.

2.2.2.3. No ar

A presença do chumbo no ar para o período anterior ao da era industrial foi estimada estar na faixa de 0,01 a 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Desde 1975 o nível mais baixo encontrado no ar foi medido no Pólo Sul, chegando ao valor de 0,076 ng/m^3 (US EPA apud WHO, 1995, p.50). As maiores concentrações foram detectadas próximo às fundições de chumbo, onde os índices chegaram a ser maiores do que 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ELIAS apud WHO, 1995, p.67).

Das fontes antropogênicas, a emissão de chumbo no ar pelos veículos automotivos foi a mais significativa (HAAR, 1975, p.76). Nos países onde ainda se utiliza a gasolina com chumbo, do total presente no ar ambiente, estima-se que de 80 a 90% seja causado pelas emissões veiculares (ROMIEU, 1999, P.9). Nriagu e Pacyna apud WHO (1995, p.50) estimaram que um total de 330.000 toneladas de chumbo foram descarregadas diretamente na atmosfera a cada ano, em época anterior a década de 80, em que 100% do combustível utilizado pelos veículos continha chumbo.

Não somente pensando no chumbo, mas como também nos demais constituintes dessas emissões, Walsh (1999, p.133) apresenta duas maneiras de controle que podem ser aplicadas de maneira isolada ou em conjunto, como sendo:

a) Controle das emissões do veículo por quilômetro rodado (através de melhoria de desempenho do carro ou composição do combustível).

b) Controle do número de veículos rodando (estabelecendo cotas de consumo, favorecendo transporte em massa, restringindo estacionamentos, racionando petróleo).

No sentido de controlar as emissões do veículo por quilômetro rodado, a partir da década de 70, muitos países se esforçaram com o objetivo de eliminar o chumbo da

gasolina. Com isso, além da melhora na qualidade do ar, poderia ser implementado o Conversor Catalítico nos veículos, o qual danifica-se quando em contato com o chumbo. Inicialmente criaram-se leis obrigando os fabricantes a se adequarem a uma emissão reduzida, bem como se iniciou uma fase de conversão de uso da gasolina com chumbo para a gasolina sem chumbo. Isso foi possível devido ao uso de novos aditivos que substituíram o chumbo presente no combustível. No Brasil o chumbo deu lugar ao álcool que conseguiu manter as mesmas características do chumbo para o funcionamento do motor (PONTES, 2002). Segundo Landrigan (2002), a maioria dos países já utiliza somente gasolina sem chumbo, restando basicamente ao continente africano o desafio de também fazer esta mudança.

Outra fonte de contaminação do ar ocorre através o chumbo presente em pinturas, principalmente de residências, que o possuem em sua composição. Nos Estados Unidos acredita-se que atualmente seja esta a maior fonte de contaminação pelo metal, que se transfere para o ar por meio de abrasão ou pelo desgaste natural da tinta (TEIXEIRA, 2004, p.754).

2.2.2.4. Nas plantas

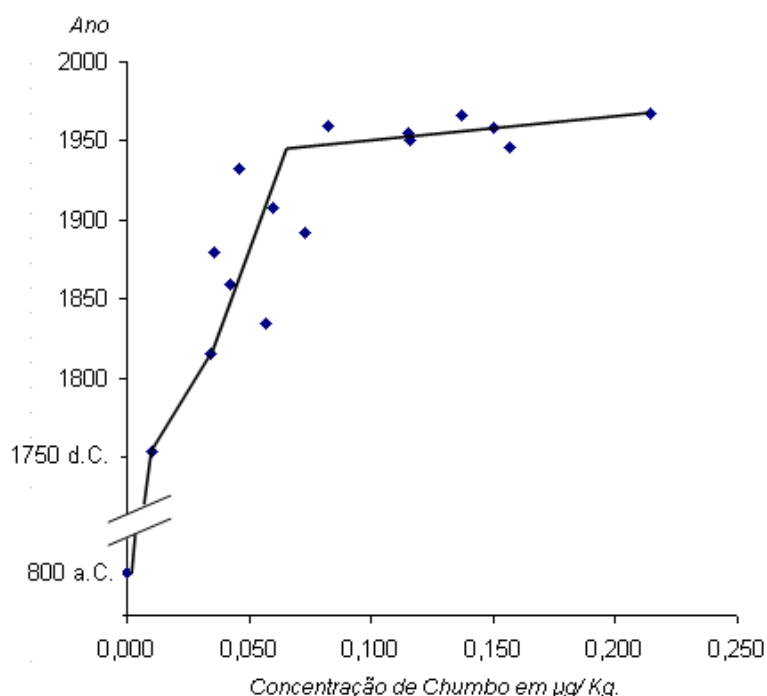
Segundo WHO (1995, p.50), o chumbo está presente naturalmente nos vegetais e sua concentração pode variar em função da concentração no solo. WHO (1989, p.67) explica que o chumbo inorgânico forma sais altamente insolúveis e complexos com vários ânions. Com isso e estando na presença do solo, a absorção pelas plantas é bastante dificultada.

2.3. Transporte e distribuição no ambiente

Do ponto de vista do balanço de massa, a distribuição e o transporte do chumbo, a partir de fontes móveis e estacionárias são feitos pelo ar, sendo que boa parte deste material fica depositado no interior do solo ou da água, muito próximo da fonte geradora. No caso das emissões veiculares, a maior parte do chumbo acaba sendo depositada na própria região metropolitana. O restante, aproximadamente 20%, se dispersa pelo ar, sendo sua permanência dependente das chuvas, que o arrasta de volta à superfície. Evidência deste transporte e da acumulação de chumbo no solo

pode ser percebida até mesmo na camada glacial da Groenlândia (WHO, 1989, p.15).

De acordo com Grandjean (1975, p.21), avaliações de amostras retiradas de diversas camadas de gelo depositadas sobre a terra na Groenlândia, indicaram esse aumento. A cada ano uma camada muito fina de neve acabava sendo congelada mantendo consigo elementos que ali eram depositados. Devido a isso, foi possível fazer avaliação da concentração de chumbo em longo período de tempo, como está representado no quadro 4.



Quadro 4 - Concentração de chumbo depositado em camadas de gelo sobre o solo na Groenlândia com o passar dos anos.

Fonte - Murozumi apud Grandjean (1975, p.21).

Segundo Grandjean (1975, p.22) através do quadro 4 observamos um discreto aumento na concentração do chumbo entre 800 a.C. até 1750 d.C., mas que aumenta com maior intensidade após 1750, coincidindo com o período da revolução industrial no hemisfério norte. Após 1940 o aumento foi mais acentuado e estava

possivelmente relacionado com a queima dos gases do processo de fundição do chumbo e da queima do chumbo alquil como percebido na tabela 1.

Tabela 1 - Produção de chumbo em aerosol no hemisfério norte e sua concentração na neve na Groenlândia.

Ano	Chumbo fundido por ano. (x 100.000 Ton.)	Chumbo queimado como alquil/ano. (x 100.000 Ton.)	Aerosol com chumbo produzido/ano, proveniente de alquil. (x 1.000 Ton.)	Total de chumbo acrosol produzido/ano. (x 1.000 Ton.)	Concentração de chumbo na neve. (µg de chumbo/Kg)
1966	31	3,0	100	100	0,20
1933	16	0,1	4	10	0,07
1815	2	-	-	4	0,03
1753	1	-	-	2	0,01

Fonte - Murozumi apud Grandjean (1975, p.22), modificado.

Os altos níveis que se mantinham em meados da década de 70 vinham sendo relacionados com o chumbo misturado à gasolina para melhorar a queima nos motores a combustão (GRANDJEAN, 1975, p.22).

2.4. Potencialidades do subsolo brasileiro

Segundo Brasil (1996, p.V1), o potencial mineral brasileiro vem de dois fatores:

- a) Da diversidade geológica de seus terrenos.
- b) Da extensão continental, que compreende 8,5 milhões de km².

Quase metade do território brasileiro, cerca de 4 milhões de km² é coberto por bacias sedimentares. Essas bacias guardam grandes depósitos de:

- a) Carvão mineral (bacia do Paraná).
- b) Sais de potássio (K), magnésio (Mg) e sódio (Na).

- c) Evaporitos² associados a gipsita, fosforita e barita.
- d) Urânio em sedimentos continentais (bacias do Paraná e Parnaíba).
- e) Extensos depósitos de calcário (pozzolonas naturais para cimento).
- f) De argila para cerâmica nobre.
- g) De importantes jazidas de petróleo e gás natural.

Outros 4,5 milhões de km² são constituídos por rochas Pré-Cambrianas com até 3,2 G.a.³. Nesta área encontram-se depósitos de:

a) Ouro (Au), prata (Ag), ferro (Fe), manganês (Mn), Cobre (Cu), níquel (Ni), cobalto (Co) e cromo (Cr).

b) Minério de ferro, magnesita, quartzitos e metaconglomerados.

c) encontram-se também os cinturões paleoproterozóicos que por sua vez são constituídos por outras substâncias, compreendendo:

I) Complexos máfico-ultramáficos acomodados (Cr, V, Ni + Co, asbesto e alta potencialidade para depósitos de metais o grupo da platina).

II) Associação ofiolítica pré-orogênica (Mn, Cr, Cu +/- Ni +/- Co e Cu + Zn +/- Pb +/- Ag).

III) Associações plutano-vulcânicas de arco magnético (Cu + Au e Au + AG).

IV) Depósitos de U, Sn, W, Mo, Zr, Ta, Nb, Au e topázio foram originados na era mesoproterozóica (1,8 a 1,5 G.a.) devido a intensa atividade vulcânica e plutônica nas áreas continentais. Sobre essas seqüências vulcano-plutônicas ocorrem sedimentações em diamantes com algum ouro e com alta

² São rochas sedimentares obtidas pela evaporação das águas e formação de uma salmoura a partir da qual os minerais evaporíticos se formam. O mineral evaporítico mais conhecido pelo homem é o sal de cozinha (SILVA, SCHREIBER e SANTOS, 2000).

³ Giga anos.

potencialidade para mineralizações de Pb, Zn, Cu, Ag, do tipo sedimentar-exalativo.

Na década de 60 foi dado um grande passo para o conhecimento Geológico detalhado do subsolo brasileiro, pois teve início o Primeiro Plano Mestre Decenal da Mineração (1965 – 1974). Porém, apesar da grande quantidade de informações disponíveis desde então, o conhecimento geológico do Brasil pode ser considerado ainda como insuficiente, devido principalmente a sua grande extensão territorial e diversidades de ambientes (BRASIL, 1996, p.V3).

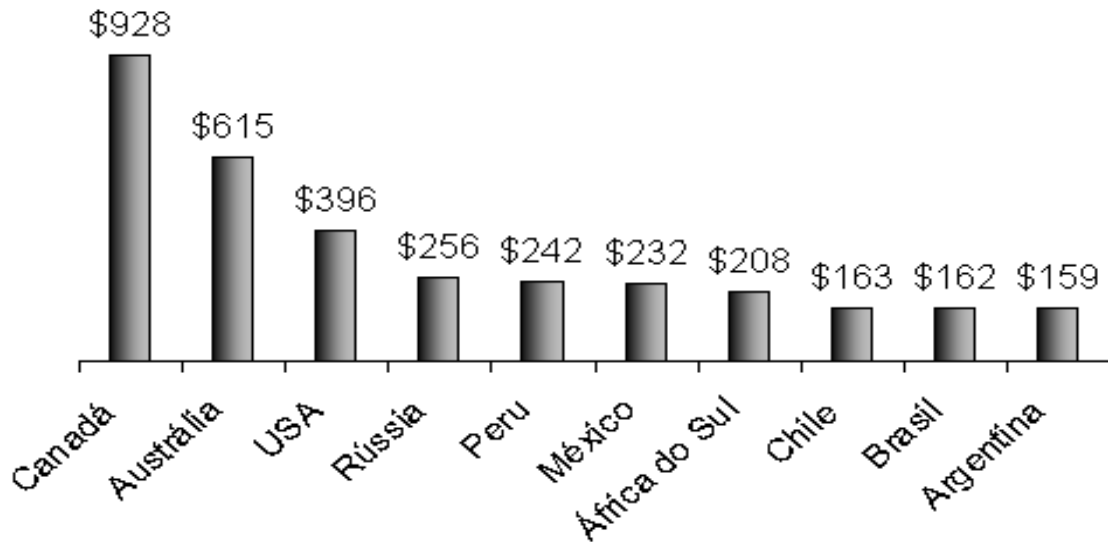
Esse desconhecimento, segundo BRASIL (2006), tem comprometido a atração de investimentos para a descoberta de novos depósitos minerais que é importante para a retomada do ciclo de geração de jazidas. Atualmente existe um plano de levantamento geológico básico que é ativado em função somente da necessidade.

2.5. Histórico da exploração mineral

O objetivo maior numa exploração é encontrar uma mina num período mais curto de tempo e com custo mais baixo possível. Segundo Raush e Mariacher (1970, p.35), essa não é uma tarefa fácil, pois a experiência tem mostrado que a procura geralmente requer um tempo acima de 15 anos ou mais com despesas de muitos milhões de dólares.

De acordo com Raush e Mariacher (1970, p.35), depósitos de minérios estão se tornando cada vez mais difíceis de serem encontrados. Aqueles que estão aflorados, em grande parte já foram descobertos e quase todos os novos encontram-se abaixo da superfície. No Canadá, autoridades da mineração apontam a dificuldade em se descobrir novas minas. Do minério que se produzia no ano de 1950 naquele país, cerca de 56% foi descoberto antes de 1910, 25% de 1910 a 1920, 11% de 1920 a 1930 e 5% de 1930 a 1950. As mais recentes estatísticas indicam a mesma tendência (RAUSH e MARIACHER, 1970, p.35). Num cenário mais atual, o Canadá se destaca mundialmente como grande investidor em exploração mineral, como é mostrado no quadro 5.

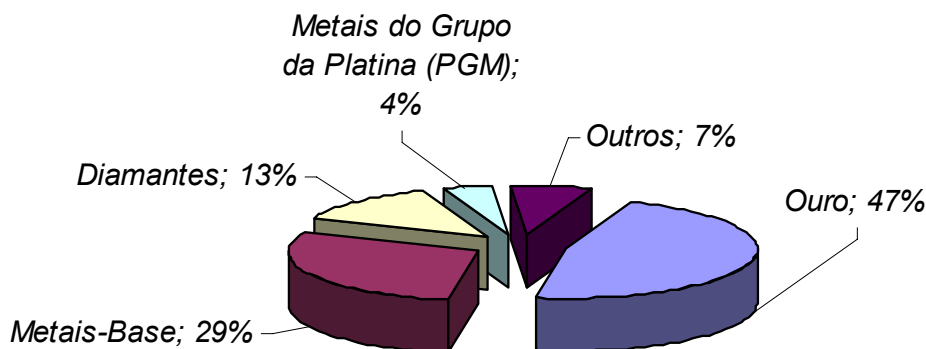
As décadas de 80 e 90 foram marcadas por uma situação de abundância no setor mineral mundial devido à queda na demanda provocada pelos altos preços praticados e pela reciclagem e substituição por materiais concorrentes. Isso foi ainda piorado devido à desova de estoques de EUA e Rússia. Atualmente o “Efeito China” vem afetar a demanda mundial pelo alto consumo, causando assim uma onda cíclica na oferta no setor mineral nas últimas décadas (MME, 2006c, p.8).



Quadro 5 - Investimento por país em exploração mineral em 2005 (milhões de US\$).

Fonte - MME (2006c, p.8).

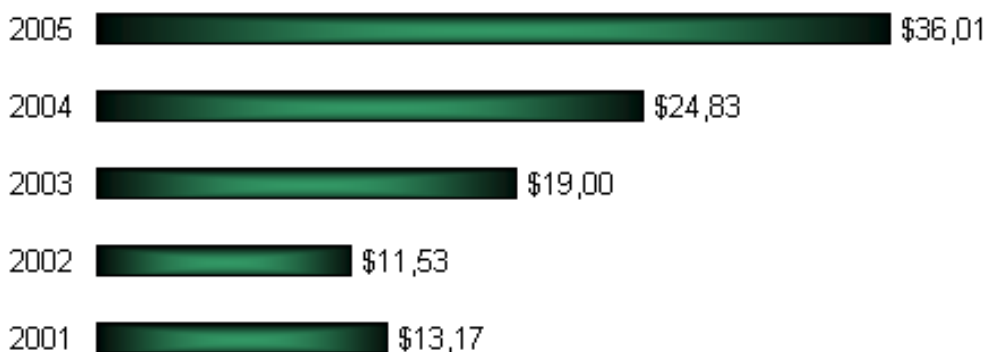
Os produtos que tiveram maiores investimentos para sua exploração são vistos no quadro 6. O chumbo está presente no campo “Metais-Base”, que recebeu 29% da parcela do capital investido.



Quadro 6 - Investimento mundial por produto na exploração mineral em 2005.

Fonte - MME (2006c, p.12).

Nos últimos anos observa-se uma evolução na economia mineral brasileira, conforme mostra o quadro 7. Esta evolução está associada à euforia do consumo externo e conseqüente ao aumento de preços no mercado internacional atual de mercadorias minerais (MME, 2006c, p.9).



Quadro 7 - Produção mineral brasileira (em milhões de US\$).

Fonte - MME (2006c, p.9).

A produção brasileira contempla atualmente mais de 100 diferentes produtos minerais, sendo auto-suficiente na maioria deles. Dentre os de maior destaque encontram-se o minério de ferro, ligas de nióbio, petróleo, caulim, bauxita e outras, como mostrado na tabela 2. Possui também dependência de mercados externos havendo importações de Petróleo bruto leve, carvão metalúrgico, potássio e diversos metais não-ferrosos. Possui muitas empresas de mineração, mas estão concentradas nos segmentos mais relevantes de mercado havendo, portanto, muitas oportunidades de exploração para os demais produtos (MME, 2006c, p.10).

Tabela 2 - Posição brasileira no ranking mundial da produção mineral em 2005.

<i>Posição no Ranking Mundial</i>	<i>Substância Mineral</i>	<i>Participação Internacional</i>
1º	Nióbio	95,2%
2º	Ferro	18,5%
	Manganês	13,9%
	Tantalita	13,4%
	Alumínio	12,8%
3º	Crisotila	10,2%
	Magnesita	8,4%
	Grafite	7,4%
4º	Vermiculita	5,4%
5º	Caulim	5,4%
	Estanho	3,3%
6º	Rochas Ornamentais	5,6%

Fonte - MME (2006c, p.10).

2.6. Reservas de chumbo

Conforme explica Cottrell (1993, p.143), muitos dos metais mais comuns para a sociedade, são pouco abundantes na crosta terrestre. Felizmente, do ponto de vista da extração mineral, os processos geológicos concentraram parcialmente esses metais em jazidas minerais exploráveis e a motivação para que ocorram suas explorações gira em torno do valor de mercado que normalmente está em função dos seguintes fatores:

- Da procura pelo metal.
- Da disponibilidade.
- Das fontes de abastecimento alternativas.
- Das características do próprio mineral.
- Do seu estado químico.
- Da natureza e do teor de impurezas.
- Do estado físico do mineral.
- Da acessibilidade à Mina.

Como exemplo, Cottrell (1993, p.143) explica ainda que um mineral que contenha menos de 20% de ferro tem reduzido valor como minério de ferro, devido a existir muitos minerais contendo de 30 a 50% de Fe e alguns até mesmo chegando a 70%. Porém, um mineral que contenha 4% de Cu, constitui-se num bom minério de cobre. A escolha do processo de extração desses minerais depende dos fatores apresentados, e podem inviabilizar uma exploração. O uso de solventes químicos para extração do Berílio, por exemplo, seria muito caro e inviável numa exploração do Ferro ou do Chumbo, para os quais é necessário se aplicar métodos econômicos de produção em grande escala.

Segundo Cottrell (1993, p.146), um minério pode ser coletado de diversas maneiras, podendo ser:

- A. Uso de dragas em jazigos sedimentares.

B. Escavação mecânica a céu aberto em jazigos superficiais.

C. Perfuração em poços e galerias em jazigos profundos. Este tipo de perfuração é normalmente feita em duras rochas quartzíferas, como ilustra o quadro 8.



Quadro 8 - Mineração de chumbo no Canadá.

Fonte - BARSA (1997, p. 168).

2.6.1. As reservas brasileiras

No Brasil as reservas de chumbo são pequenas e o país depende de importação para suprir o consumo interno. As unidades da federação que possuem as maiores reservas de chumbo, como mostrado na Tabela 3, são: Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso, São Paulo e Bahia. Porém o ranking difere de acordo com a classificação que se dá à reserva (MME, 2006a, p. 93 e 97).

Dependendo do grau de conhecimento de uma jazida, ela recebe uma classificação, podendo ser: Reserva Medida, Reserva Indicada, Reserva Inferida ou Reserva Lavrável.

Tabela 3 - Reserva brasileira de chumbo e suas diversas classificações, por unidade da federação e município (em toneladas).

Unidade da Federação	Município	Reserva Medida		Reserva Indicada	Reserva Inferida	Reserva Lavrável	
		Minério (t)	Pb Contido (t)	Pb Contido (t)	Pb Contido (t)	Minério	Pb Contido (t)
Rio G. do Sul		3.501.771	70.035	374.540	222.410	3.501.771	70.035
	<i>Caçapava do Sul</i>	3.501.771	70.035	374.540	222.410	3.501.771	70.035
Minas Gerais		8.514.457	172.293	100.875	97.914	7.042.810	139.645
	<i>Paracatu</i>	8.514.457	172.293	100.875	97.914	7.042.810	139.645
Paraná		1.489.366	74.090	25.011	29.410	1.385.691	68.339
	<i>Adrianópolis</i>	1.317.195	65.206	11.372	15.414	1.290.997	63.453
	<i>Cerro Azul</i>	172.171	8.884	13.639	13.996	94.694	4.886
Mato Grosso		1.184.000	15.984	2.950	3.125	778.275	9.884
	<i>Rio Branco</i>	1.184.000	15.984	2.950	3.125	778.275	9.884
São Paulo		14.891	1.197	138	6.720	15.991	1.285
	<i>Iporanga</i>	14.891	1.197	138	6.720	15.991	1.285
Bahia		796.432	9	10	5	317.498	12
	<i>Boquira</i>	796.432	9	10	5	317.498	12
TOTAL BRASIL:		15.500.917	333.608	503.524	359.584	13.042.036	289.200

Fonte - MME (2006a, p. 93).

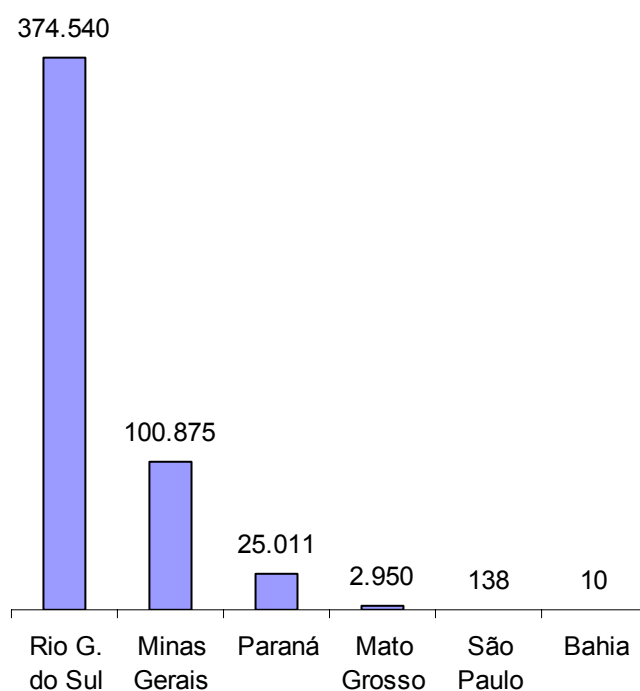
Segundo MME (2006b, p.1), essas classificações são assim descritas:

- ❖ Reserva Medida: é a quantidade de minério (em volume ou peso) determinada através das dimensões percebidas em afloramentos, trincheiras, galerias, trabalhos subterrâneos e sondagens com teores determinados por amostragem. Essa reserva deve ser propriamente determinada para que não apresente variação maior do que 20% da verdadeira.
- ❖ Reserva Indicada: é a quantidade de minério (em volume ou peso) determinada por meio de medidas e amostras específicas ou de dados de produção. É essa quantidade que é a utilizada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral nos relatórios de pesquisa e/ou reavaliação de reservas.

- ❖ Reserva Inferida: é a quantidade de minério (em volume ou peso) estimada com base no conhecimento geológico, havendo pouco trabalho de pesquisa.
- ❖ Reserva Lavrável: este conceito de reserva foi introduzido pelo MME a partir do anuário de 2006 com o intuito de dimensionar com maior acuidade as reservas. Correspondente à reserva técnica e economicamente aproveitável levando-se em consideração a recuperação da lavra, a relação estéril/ minério e a diluição (contaminação do minério pelo estéril) decorrentes do método de lavra. Está estabelecida no perímetro da unidade mineira determinado pelos limites da abertura de exaustão (cava ou flanco para céu aberto e realces ou câmaras para subsolo), excluindo os pilares de segurança e as zonas de distúrbios geo-mecânicos.
- ❖ Chumbo Contido: representa a quantidade de metal e/ou mineral de interesse inserido na reserva ou na produção bruta e beneficiada.

Baseando-se na reserva classificada como Indicada, aquela que é determinada por medidas, amostras e dados de produção das lavras, o estado do Rio Grande do Sul destaca-se como detentor da maior reserva (em chumbo contido) no Brasil, seguido por Minas Gerais, como visto no quadro 9.

No Rio Grande do Sul, o chumbo ocorre em uma rocha arenítica de forma disseminado, formando concentrações de finíssimos cristais de sulfeto que cimentam a rocha. Nessas condições apresenta custo operacional elevado para exploração. No Paraná o minério tem baixa qualidade, implicando em alto custo operacional para ser explorado. Na Bahia a reserva se deve a uma Mina que foi considerada exaurida, mas que possui chumbo em seus pilares. Em São Paulo as reservas são inexpressivas (SILVA, 2001, p. 2 e 3).



Quadro 9 - Reserva Indicada de chumbo, por unidade da federação para 2005 (Toneladas).

Fonte - MME (2006a, p. 93).

2.6.2. As reservas mundiais

Austrália, China e também os Estados Unidos são os países que detém as maiores reservas de chumbo, como mostrado na tabela 4.

De acordo com United States Geological Survey - USGS (2007, p.93), nos últimos anos, significativa quantidade de chumbo associado a depósitos de Zinco, Prata e Cobre tem surgido na Austrália, Canadá, China, Irlanda, México, Peru, Portugal e Estados Unidos (Alasca). Com isso o recurso chumbo é estimado mundialmente estar em mais de 1,5 bilhões de toneladas, considerando todas essas associações.

Tabela 4 - Reserva de chumbo por país e o total mundial (em Toneladas do metal contido).

País	Reserva⁴ (t)	Reserva Base⁵ (t)
Austrália	15.000.000	28.000.000
China	11.000.000	36.000.000
Estados Unidos	8.100.000	20.000.000
Kazaquistão	5.000.000	7.000.000
Peru	3.500.000	4.000.000
Canadá	2.000.000	9.000.000
Polônia	ND ⁶	5.400.000
México	1.500.000	2.000.000
Marrocos	500.000	1.000.000
Suécia	500.000	1.000.000
África do Sul	400.000	700.000
Outros países	19.000.000	30.000.000
Total Mundial	67.000.000	144.000.000

Fonte - USGS (2007, p.93), modificado.

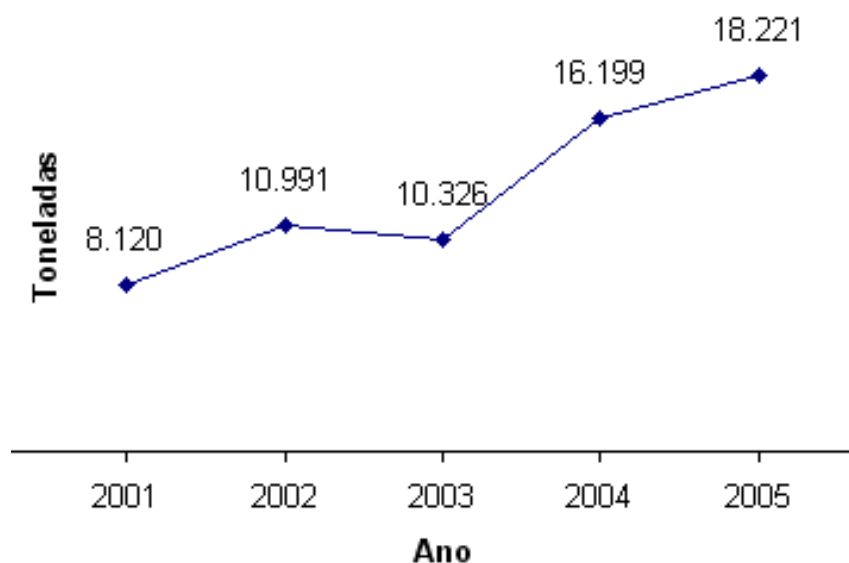
2.7. A produção brasileira

A produção de chumbo no Brasil é pequena, comparada com a produção mundial. Segundo dados do MME (2002 a 2006a), nos últimos anos somente o Estado de Minas Gerais contribuiu com a produção deste mineral, porém em quantidades crescentes, como mostra o quadro 10. Para estes anos as empresas produtoras foram a Cia. Mineira de Metais, de 2001 até 2004, e, a Votorantim Metais Zinco S.A. para o ano de 2005. Todo este chumbo produzido no Brasil foi destinado à Siderurgia (MME, 2002 a 2006a).

⁴ Reserva: É aquela parte da Reserva Base que pode ser economicamente extraída ou produzida num certo período de tempo (USGS, 2007, p.192).

⁵ Reserva Base: É aquela parte de um recurso que reúne os critérios físicos e químicos mínimos especificados para a prática da mineração e produção, incluindo sua categoria, qualidade, espessura e profundidade. É determinada através de diversos métodos de medição e coleta de amostras. Na Reserva Base estão presentes aqueles recursos que são correntemente econômicos (as Reservas), marginalmente econômicos (as Reservas Marginais) e aqueles que são correntemente sub-econômicas (as Reservas Sub-econômicas) (USGS, 2007, p.191).

⁶ ND: Não Disponível.



Quadro 10 - Evolução da produção de chumbo beneficiado no Brasil (Toneladas).

Fonte - MME (2002 a 2006a).

MME (2006b) define Produção Beneficiada como sendo a produção das usinas de beneficiamento ou tratamento em que posteriormente o minério poderá ter três destinos: Vendas, Consumo e Transformação. Ainda nas usinas serão realizados os seguintes processos aos minérios:

- ❖ De beneficiamento, realizadas por fragmentação, pulverização, classificação, concentração (inclusive por separação magnética e flotação), homogeneização, desaguamento (inclusive secagem, desidratação e filtragem) e levigação;
- ❖ De aglomeração, realizadas por britagem, nodulação, sinterização e pelotização;
- ❖ De beneficiamento, ainda que exijam adição de outras substâncias, desde que não resulte modificação essencial na identidade dos produtos minerais processados.

2.8. A Produção Mundial

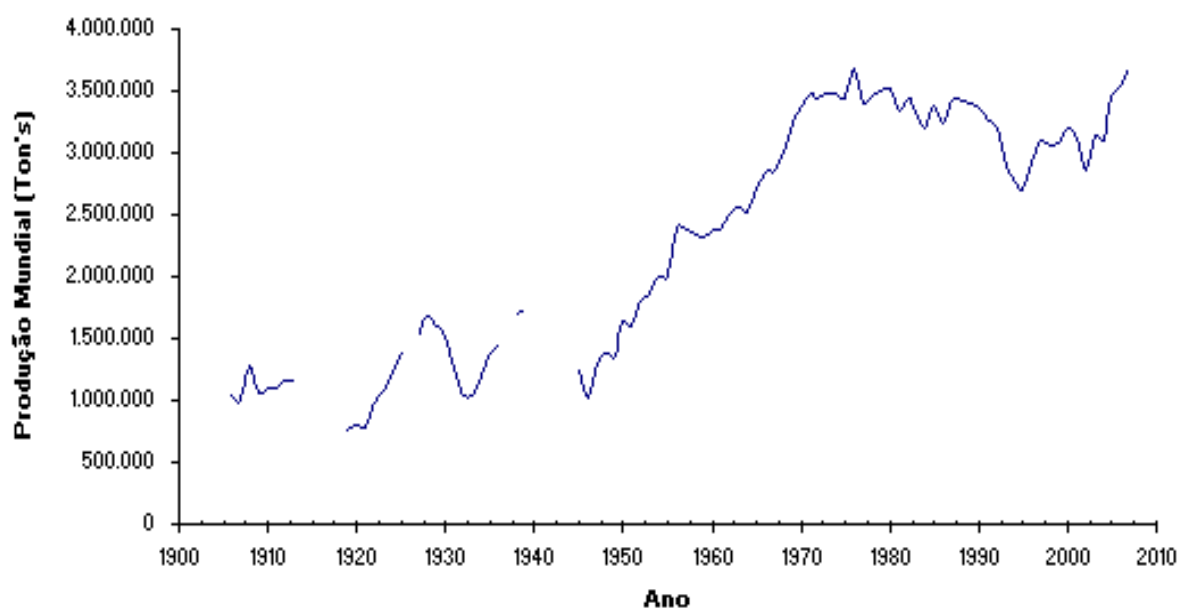
Segundo Hofman (1970), estatísticas da produção mundial e uso do chumbo estão disponíveis desde 1801. De 1826 até 1850, a produção mundial de chumbo contido no minério extraído das minas, já ultrapassava 100.000 toneladas por ano, e em meados de 1875 havia alcançado 225.000 toneladas. Grã Bretanha, Espanha, Alemanha e Estados Unidos eram os mais importantes produtores. No início do século XX o volume de produção na Europa já havia sido ultrapassado por países de outros continentes como Estados Unidos, Canadá, México e Austrália. Até a segunda Guerra Mundial, a produção mundial (desconsiderando as quedas de 1931/32 e 1945) chegava a mais de 1,5 milhões de toneladas métricas⁷ por ano, quando a partir de então se manteve crescente, atingindo 3,5 milhões de toneladas na década de 70.

Depois de pequena redução, hoje a produção do chumbo está em pouco mais de 3,5 milhões de toneladas métricas por ano e indicando uma tendência crescente na produção como mostra o quadro 11⁸.

Para complementar a demanda mundial, que para 2007 atingiu 8,22 milhões de toneladas, utiliza-se do chumbo secundário que é proveniente da reciclagem da sucata de chumbo oriunda de produtos fora de uso, tendo como principal deles as baterias tipo chumbo-ácido.

⁷ Uma tonelada métrica equivale a 1.000Kg.

⁸ Sem dados disponíveis, para o gráfico 11, para os anos de 1901 até 1905, de 1914 até 1918, 1926, 1937 e de 1939 até 1944. Os dados dos anos de 1900 a 1950 referem-se a produção mundial das fundições, e, para os anos de 1955 a 2007 ao chumbo das minas.



Quadro 11 - Produção total anual de chumbo primário de 1900 até 2007.

Fonte - DiFRANCESCO e SMITH (2006, p. 1 a 6) para o período de 1900 até 2004 e ILZSG (2008) para o período de 2005 até 2007.

2.9. A durabilidade das reservas mundiais

Bertoldo (2006, p. 104) destaca que o conhecimento atual do subsolo brasileiro é insuficiente em muitas regiões. Prevê ainda que o potencial das reservas é grande quando se compara com o potencial mineral de países com dimensões e geologia semelhantes ao do Brasil como Canadá, Austrália e Estados Unidos, indicando que o que se conhece atualmente não reflete o real potencial do Brasil quanto às reservas minerais.

Diante do que se conhece hoje sobre as reservas de chumbo é possível se fazer uma projeção sobre a durabilidade das reservas. Para a elaboração dos dados demonstrados na tabela 5, foram utilizados os índices da Reserva e da Reserva Base, provenientes do United States Geological Survey - USGS (2007, p.93) e para a produção anual, dados do International Lead and Zinc Study Group – ILZSG (2008), que contempla o *chumbo contido* proveniente na produção mundial das minas. O valor da produção anual foi obtido da média dos anos de 2005 a 2007.

Tabela 5 - Durabilidade das reservas.

		Produção anual (média de 2005 a 2007)	Durabilidade das Reservas
Reserva	67.000.000 ton's	3.554.000 ton's	19 anos
Reserva Base	144.000.000 ton's		41 anos

Mantendo-se esta mesma média de produção dos últimos 3 anos, e, para o chumbo obtido nas Reservas onde a extração atual é economicamente viável, seu período de extração é de 19 anos. Para a extração nas Reservas Base, que compreende o chumbo das Reservas, das Reservas Marginais e das Sub-econômicas, o período de extração passa para 41 anos quando então se esgota nas minas.

2.10. O processo de obtenção do chumbo

Segundo Cottrell (1993, p.152) a Galena, principal minério do chumbo, ocorre disseminado na natureza como um sulfureto, sendo portanto a extração do chumbo um exemplo simples encontrado na Metalurgia dos Sulfuretos. O teor inicial de PbS no minério varia de 1 a 10%. O método utilizado para concentrar o sulfeto de chumbo (PbS) e também para separar o sulfeto de zinco (ZnS) é o de flutuação, o qual permite concentrar o PbS a níveis de 60 a 80%. Aqueles concentrados muito ricos no metal são convertidos diretamente em Pb, através da *ustulação*⁹ *redutora*, porém, devido a presença do dissulfeto de ferro (FeS₂) como impureza, esse processo tem controle difícil de ser efetuado. Sendo assim, normalmente é feito o processo de *ustulação completa a óxido*, seguida de redução com carbono. Nesse caso, o material passa por um forno pequeno de insuflação numa temperatura de cerca de 900°C. O coque é utilizado como combustível e como agente redutor e o CaO e FeO são utilizados para purificar o chumbo do SiO₂.

Em seguida o chumbo produzido sofre uma primeira refinação com aquecimento ao ar a 400°C e com agitação simultânea. Neste instante ocorre a formação de óxidos insolúveis e outros compostos que vão para a superfície, quando são removidos

(COTTRELL, 1993, p.152). Outros meios são utilizados para promover a eliminação de outras impurezas, como:

- I. Cobre: para facilitar a eliminação do cobre, adiciona-se enxofre, assim o cobre é eliminado na forma de sulfureto.
- II. Estanho, Antimônio e Arsênio: são eliminados num forno de revérbero através de oxidação seletiva. Outra opção é colocar o chumbo fundido em contato com uma mistura oxidante formada por: nitrato de sódio, cloreto de sódio e soda cáustica.
- III. Prata: normalmente os minérios de chumbo encontram-se associados a prata. Nesse caso é através do processo Parkes que se promove a extração da prata. Esse processo consiste em:
 - Numa temperatura próxima a de fusão do zinco (419°C), o zinco e o chumbo se tornam insolúveis sendo que o chumbo derretido permanece na parte inferior e o zinco vai para a superfície.
 - Nesta separação, a prata prevalece mais associada ao zinco do que ao chumbo, numa proporção de 300 : 1.
 - Finalmente a prata é separada do zinco por diferença de temperatura, pois o zinco entra em ebulição a 907°C e a prata não.
- IV. Bismuto: o chumbo pode conter ainda bismuto. Neste caso podem ser utilizados dois métodos para a separação:
 - Refinação eletrolítica.
 - Adição de uma liga de Cálcio-Magnésio ao chumbo fundido. Esta liga forma com o bismuto um composto sólido que é removido posteriormente.

⁹ Ustulação: consiste em aquecer um sulfeto na presença de gás oxigênio.

No quadro 12 observa-se chumbo em processo de preparação¹⁰, derretido em recipiente com capacidade de 250 Toneladas na Fundição Herculanum no estado do Missouri (EUA).



Quadro 12 - Processo de preparação do chumbo.

Fonte - St. Joe Minerals Corporation apud Mirador Internacional (1981, p.2376).

O processo de obtenção do chumbo, que envolve a fundição do metal, é considerado uma fase de elevado risco de intoxicação, devido à exposição que sofre o trabalhador ao fumo metálico proveniente do material na fase líquida (MENDES, 1975). São necessários equipamentos de exaustão sobre os fornos, para evitar a dispersão desses fumos metálicos no ambiente de trabalho ou no ambiente externo à fábrica.

¹⁰ Destaque importante no quadro é a ausência de exaustão sobre o recipiente com chumbo derretido e a ausência de equipamento de proteção respiratória para os trabalhadores. Em temperatura superior a 500°C o chumbo evapora-se contaminando o ambiente de trabalho.

3. APLICAÇÕES E DINÂMICA DOS PRODUTOS – ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS

Desde a antiguidade o chumbo tem sido usado na produção e preparo de diversos artefatos que são empregados pelo homem. Nos dias atuais ele ainda é utilizado na manufatura de muitos produtos como: baterias, tintas, soldas, na mistura com a gasolina e outros (ENVIRONMENTAL, 2007, p.1). Cada um de seus compostos possui aplicação específica, tais como:

- Monóxido de Chumbo (PbO): muito conhecido como Litargírio, é sólido amarelo empregado na produção de muitos tipos de vidro, na vulcanização da borracha e também como pigmento para tintas.
- Dióxido de chumbo (PbO_2): é um material marrom usado na produção de bateria tipo chumbo-ácido.
- Tetraóxido de Tri-chumbo (Pb_3O_4): conhecido como chumbo vermelho, é usado na produção de tinta para proteção contra ferrugem em aços.
- Arsenato de chumbo [$Pb_3(AsO_4)_2$]: usado como inseticida, embora outras substâncias menos perigosas estejam sendo usadas em seu lugar.
- Carbonato de Chumbo ($PbCO_3$): conhecido com Cerusita, é substância branca e altamente contaminante. Foi muito usado como pigmento na produção de tinta de cor branca, mas posteriormente foi substituído pelo óxido de titânio (TiO_2).
- Cromato de Chumbo ($PbCrO_4$): usado na obtenção de tinta amarelo cromo.
- Nitrato de chumbo [$Pb(NO_3)_2$]: usado na produção de fogos de artifício e outros produtos para efeitos pirotécnicos.

- Silicato de chumbo (PbSiO_3): usado na produção de alguns tipos de vidro, na produção de borracha e de tinta. MSPC (2007) descreve que este composto tem aplicação também em tecidos à prova de fogo.

De acordo com SSMT (1988, p.8 e 9), o chumbo é utilizado de três formas:

1. Forma metálica.
2. Formando ligas com outros elementos.
3. Formando compostos químicos: chumbo inorgânico e chumbo orgânico.

Estes são definidos como:

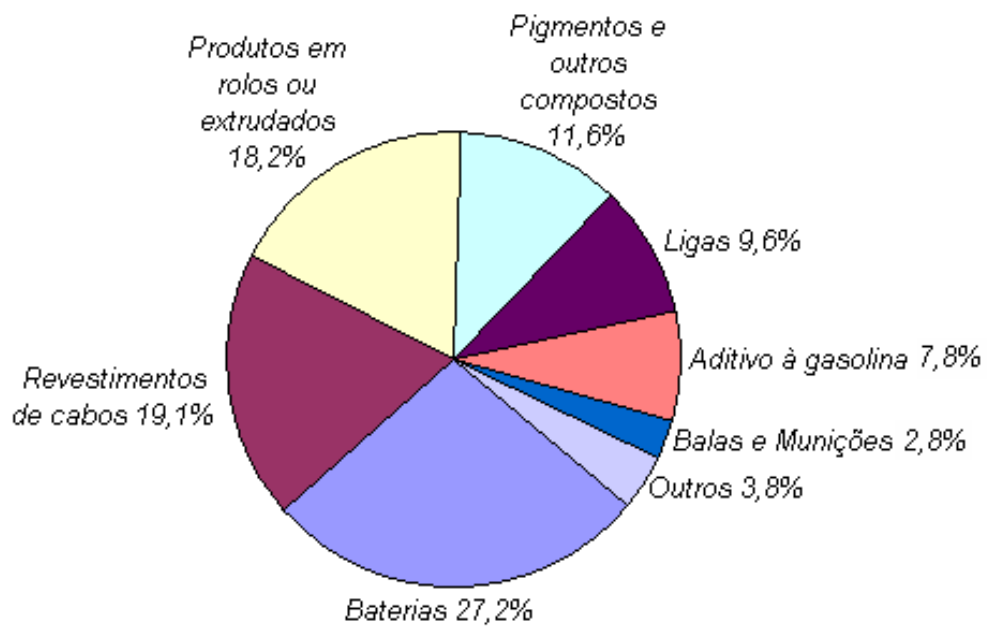
- Inorgânicos: originam-se através da reação química de diferentes elementos com o chumbo formando-se óxidos (mínio, litargírio, dióxido de chumbo), sais (alvaiade, cromato de chumbo, arseniato de chumbo) e outros.
- Orgânicos: São compostos com chumbo que contém carbono em sua molécula. Estes compostos são: o Chumbo Tetrametila e o Chumbo Tetraetila que podem ser misturados à gasolina, atuando como agentes antidetonantes.

Segundo Environmental (2007, p.1), o chumbo possui diversas aplicações, tanto como metal, como compostos químicos. Predominantemente, em muitos países, é usado na forma metálica e dependendo da aplicação é empregado com outros materiais formando ligas. Entre as muitas aplicações podem-se destacar os usos em baterias tipo chumbo-ácido, projéteis e munições, revestimento protetor de cabos elétricos para evitar difusão de água no isolante, construção civil (folhas de chumbo, tubos), soldas, blocos para pesagens, terminais para baterias, e outros produtos injetados como: anéis, raspadores, caracteres para a indústria tipográfica, mantas protetoras. Devido à elevada capacidade de absorção, o chumbo é utilizado principalmente em hospitais, clínicas e laboratórios como protetor contra raios X, e em usinas e laboratórios nucleares contra o raio gama. O chumbo e suas ligas vêm encontrando aplicações como um material para controle sonoro e de vibrações mecânicas. É

usado como elemento de liga com o aço e com o cobre melhorando a usinabilidade e outras características. Devido ao baixo ponto de derretimento é empregado nos dispositivos de proteção contra incêndio denominado “Sistema Sprinkler”. É também usado de acordo com LDAI (2007), como peso para pescaria, para balanceamento de rodas, para equipamentos analíticos e também em certas embarcações.

A Galena teve importante aplicação na história das telecomunicações pois foi usada como retificador para modulação do sinal nos primeiros receptores de rádio. Devido à elevada massa específica, o chumbo tem emprego como material de lastros para embarcações, sendo também usado em cintos para mergulhadores e aplicações similares. Tem emprego como meio de refrigeração para alguns tipos de reatores nucleares e na produção de vidros de elevado índice de refração (MSPC, 2007).

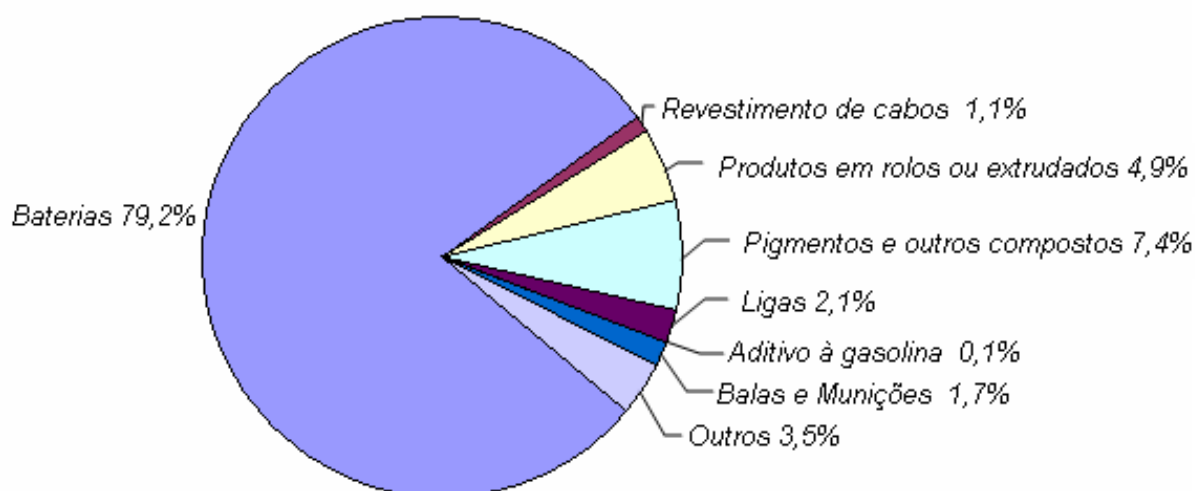
De acordo com Wilson (2006, p.24), no ano de 1960 o chumbo já tinha como principal aplicação o uso em baterias tipo chumbo-ácido, como pode ser observado no quadro 13. Nele foram consideradas 8 categorias de uso final: baterias, revestimento de cabos, produtos em rolos e extrudados, consumo em ligas de chumbo, pigmentos e outros compostos, aditivo à gasolina, esferas de chumbo e munições e a categoria denominada “outros”, que compreende diversas outras aplicações do chumbo, mas em menor quantidade. Estes dados não vieram de todos os países consumidores, mas partiram de 90% dos que mais consomem chumbo no mundo em um ano em que o consumo mundial total, segundo o International Lead and Zinc Study Group – ILZSG apud Rich (1994, p.141), foi de 3,08 milhões de toneladas.



Quadro 13 - Consumo de chumbo para diversas formas de uso em 1960.

Fonte - Wilson (2006, p.24).

Durante o período de 1960 até 2005, o chumbo foi reduzido em muitas de suas aplicações ou até mesmo eliminado de algumas delas, devido basicamente a alguns fatores como mudanças tecnológicas, desenvolvimento de substitutos e por questões envolvendo saúde pública e ambiental. Todavia o consumo vem aumentando gradativamente, graças ao aumento de demanda de produtos tradicionais, como é o caso do uso nas baterias tipo chumbo-ácido, como mostra o quadro 14 (WILSON, 2006, p.24).

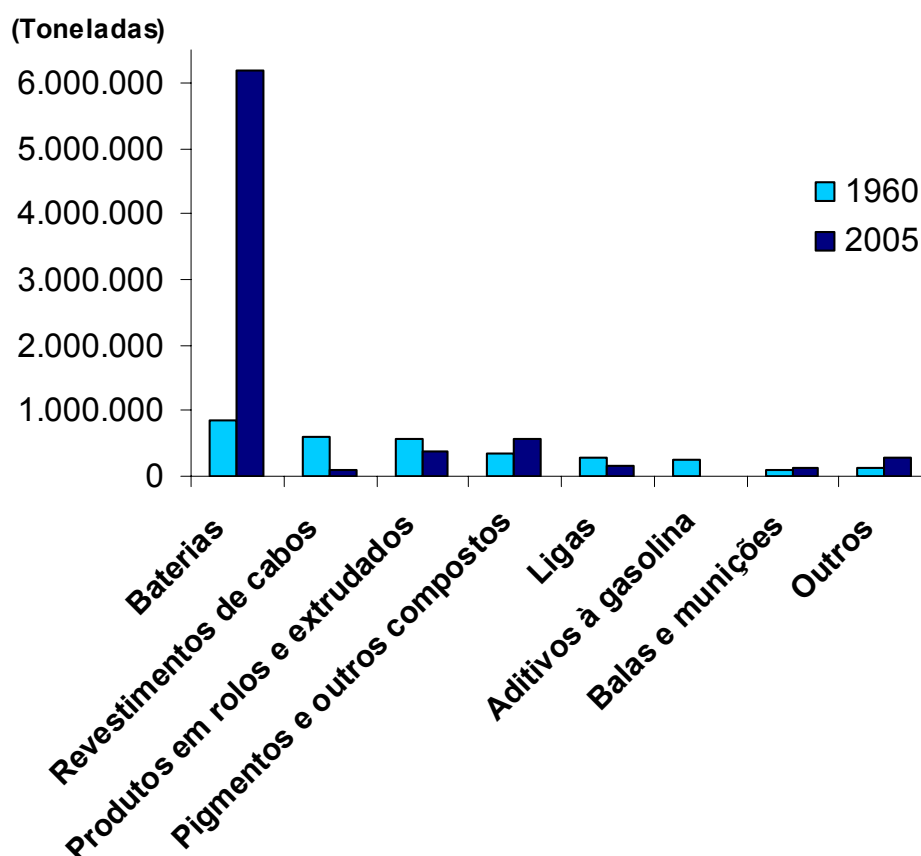


Quadro 14 - Consumo de chumbo para diversas formas de uso em 2005.

Fonte - Wilson (2006, p.24).

Para os pigmentos e outros compostos inorgânicos, por exemplo, que representam uma parcela do consumo do chumbo, foi identificado um consumo de 500.000 toneladas em 2005. Este valor é bem maior do que se consumia em 1960, apesar da parcela referente a essa aplicação ter sido reduzida de 11,6% para 7,4%, como mostra o quadro 14 (LANDRIGAN, 2000). No ano de 2005, segundo ILZSG (2008), o consumo mundial total de chumbo foi de 7,81 milhões de toneladas.

Na evolução do consumo do chumbo em seu uso final, de 1960 para 2005, algumas mudanças merecem destaque, como mostrado no quadro 15. Nele podemos observar as quantidades de chumbo utilizadas nessas diferentes épocas. A quantidade de chumbo aplicada na produção de bateria teve um aumento superior a 7 vezes quando comparado com o que se utilizava para este fim em 1960. No revestimento de cabos a quantidade de chumbo, ao contrário do uso em baterias, reduziu cerca de 7 vezes e na utilização do chumbo tetraetila na gasolina, a redução foi mais significativa ainda, passando de 240 mil toneladas em 1960 para 8 mil toneladas em 2005.



Quadro 15 - Evolução do consumo do chumbo em seu uso final.

Fonte - Wilson (2006, p.24), ILZSG apud Rich (1994, p.141) e ILZSG (2008).

O que impulsionou o aumento do consumo de chumbo nas últimas décadas, foi sem dúvida o uso em Baterias. Se a quantidade de chumbo dedicada a essa aplicação tivesse sido mantida a mesma de 1960, estaríamos em 2005 com um consumo total cerca de 20% menor do que era consumido de chumbo no início da década de 60, pela queda na quantidade para as outras aplicações.

A China é hoje o país que mais produz e que mais exporta bateria do tipo chumbo-ácido, contemplando um terço da produção mundial. Isso aconteceu pois seu parque industrial vem sendo cada vez mais dominado por grandes fabricantes mundiais de baterias como a Johnson Controls, a EnerSys e a Panasonic, que estão mudando suas bases de produção para aquele país. A China conta com aproximadamente 1.500 fábricas produzindo este tipo de bateria as quais crescem em produção, cerca de 20% ao ano (WOOLF, 2007, p.9).

3.1. As baterias tipo chumbo-ácido

O chumbo começou a ter importância em aplicações industriais há pelo menos cerca de 2000 anos atrás, mas foi a partir do século XIX que tomou impulso uma das aplicações em que hoje o chumbo é dominante, que é o uso nas baterias tipo chumbo-ácido (WILSON, 2006, p.24).

Segundo Linden (1994, p. 23.3) a bateria chumbo-ácido foi desenvolvida pelo pesquisador e inventor Raymond Gaston Planté em 1859. Conforme explicam Salkind, Kelley e Cannone (1994, p. 24.2), Planté utilizou lâminas de chumbo intercaladas com um tecido isolante, montados em forma espiralada e imersos em solução de ácido sulfúrico a uma concentração de 10%. As primeiras células de Planté tiveram pouca capacidade, porém com novas descobertas esta capacidade foi aumentada ainda pelo pesquisador. As baterias chumbo-ácido têm sido um sucesso por séculos e sua aplicação tende a crescer ainda mais devido às novas aplicações.

Conhecida como bateria secundária ou recarregável, é um dispositivo que converte energia química em energia elétrica através de processo denominado de oxirredução eletroquímica. Possui diversas aplicações (quadro 16), sendo que as mais conhecidas são o uso em sistemas automotivos para partida, iluminação e ignição (Starting, Lightining, Ignition - SLI), o uso em empilhadeiras para movimentação de materiais dentro da indústria e sistemas de iluminação de emergência. O termo bateria normalmente é usado, mas a unidade eletroquímica básica é denominada de célula. O conjunto de uma ou mais células formam a bateria (LINDEN, 1994, p. 23.3).

TIPO	APLICAÇÃO
- SLI (Starting, Lightining, Ignition).	Automotiva, motocicleta, marítima, aeronave, estacionária.
- Tracionária.	Empilhadeiras.
- Propulsão.	Carro elétrico, carro de Golf, veículos híbridos.
- Submarina.	Submarinos.
- Estacionária.	Sistema de iluminação de emergência, sistemas de cobertura para telefonia e para falta de energia, sinalização, elevação de carga.
- Portátil.	Laptop's, brinquedos, ferramentas portáteis, eletrodomésticos, iluminação de emergência, radio, TV, sistemas de alarme.

Quadro 16 - Tipos de bateria chumbo-ácido e principais aplicações.

Fonte - Salkind, Kelley e Cannone (1994, p. 24.3), modificado.

A bateria tipo chumbo-ácido pertence ao grupo das baterias secundárias (LINDEN, 1994, p.24.3). Neste grupo estão também outros tipos de baterias que vêm tendo significativa melhora de desempenho, como as baterias de prata-zinco, de níquel-zinco, de hidrogênio, de lítio e de halogênio. Ainda fazem parte deste grupo as baterias de níquel-cádmio, de eletrodo de ferro, de óxido de prata, de níquel-hidrogênio, de níquel-metal e a célula alcalina recarregável de zinco-manganês.

No mercado mundial das baterias do tipo chumbo-ácido, destaque maior é notado sobre aquelas aplicadas no setor automotivo (tipo A), como mostra o quadro 17. Elas representaram 76% do total comercializado pelos fabricantes nos diferentes segmentos que empregam este tipo de bateria. Esses segmentos são do tipo:

A: Baterias para veículos.

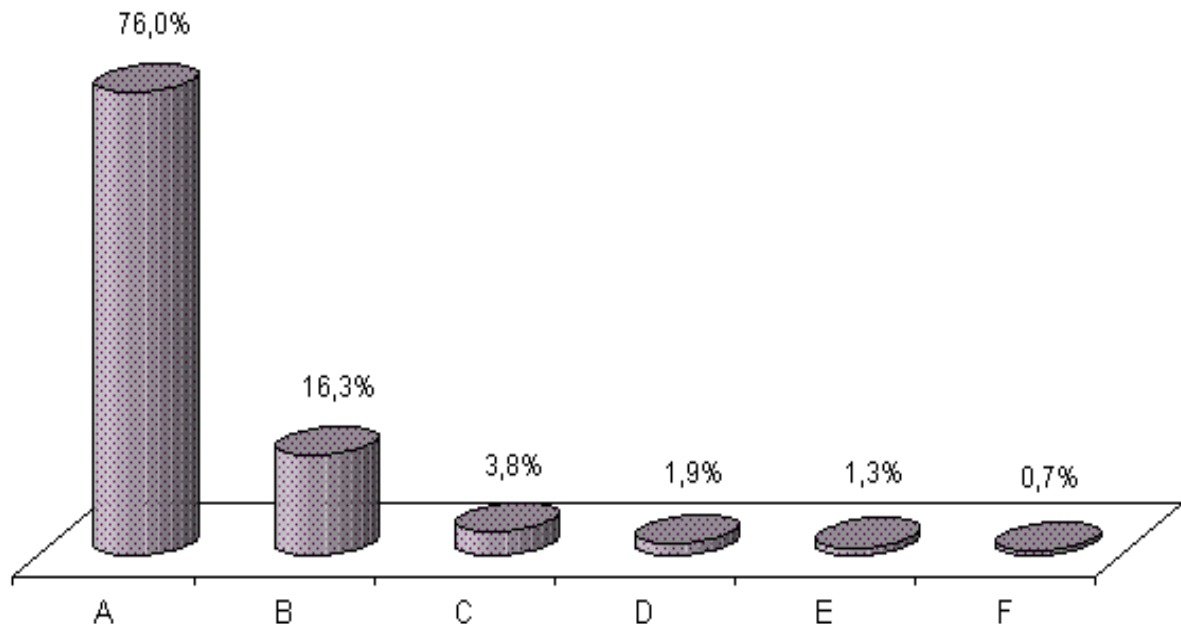
B: Sistemas de emergência e para tração (incluindo empilhadeiras).

C: Pequenas baterias seladas para uso em instrumentos.

D: Para Veículos a propulsão como carros de Golf e os veículos elétricos e híbridos.

E: Para acumulação de energia, como energia solar.

F: Para uso militar, aeronaves e submarinos.



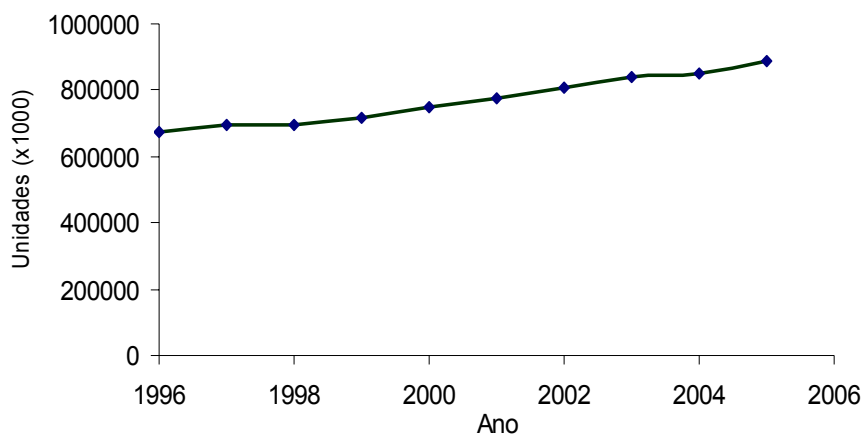
Quadro 17 - Baterias chumbo-ácido comercializadas pelos fabricantes em 1992.

Fonte - Linden (1994, p. 23.5), modificado.

Como foi mostrado no quadro 14, entre as diversas formas de uso do chumbo, o emprego em baterias consome 79,2% do metal. De acordo com Linden (1994, p. 23.5) do total do chumbo empregado nas baterias tipo chumbo-ácido, 76% está presente nas baterias veiculares. Pelo fato de ser esta a maior aplicação, a bateria chumbo-ácido será destacada neste tópico da dissertação.

3.1.1. O uso em veículos

A frota mundial de veículos atingiu no ano de 2005 a quantidade de 888.925.000 unidades, e, conforme mostrado no quadro 18, vem mantendo essa tendência por vários anos. A relação de veículos por habitante, segundo dados de 2005 da Anfavea (2007, p.166), nos Estados Unidos é de 1,2 habitante por veículo enquanto que no Brasil este índice chega a 8 habitantes por veículo.



Quadro 18 - Frota mundial de veículos automotivos.

Fonte - Anfavea (2007, p. 165).

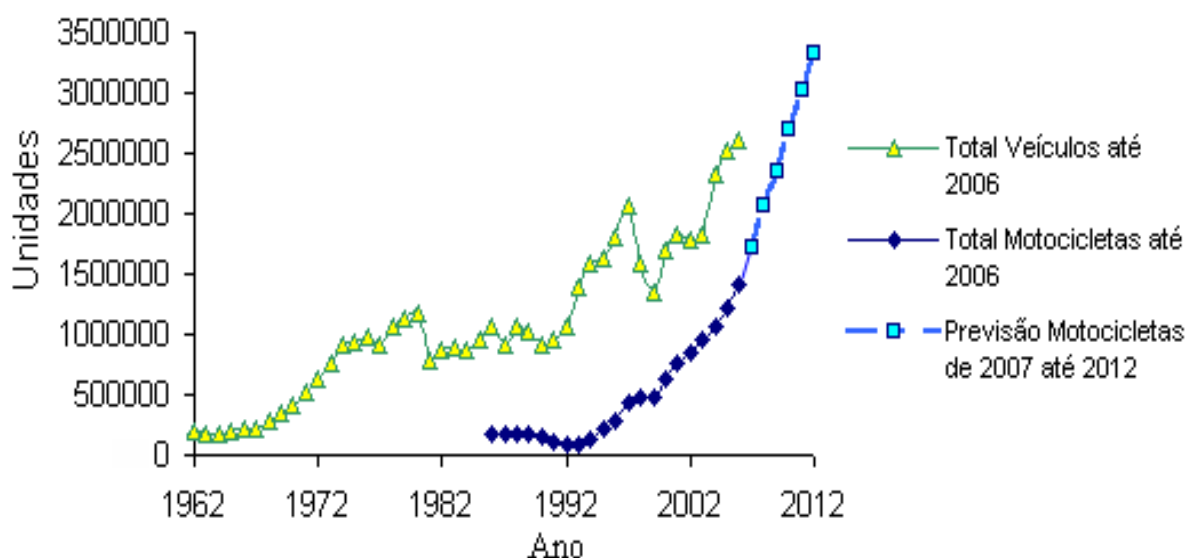
A frota brasileira em 2006 atingiu a quantidade de 24.205.589 unidades, compreendendo: automóveis, veículos comerciais leves, caminhões, ônibus e tratores (ANFAVEA, 2007, p. 44 e 46).

Segundo o presidente da Anfavea, há espaço para potencial crescimento no mercado brasileiro no próximo ano, motivado principalmente pela diferença na relação entre número de habitantes por veículo que é alta no país, mas será um crescimento em ritmo menos acelerado (OSSE, 2007, p.1). No ano de 2006 a produção de autoveículos, que compreende automóveis, comerciais leves, caminhões e ônibus, foi de 2.611.034 unidades, segundo Sindipeças (2007a, p.34). Conforme comenta Linden (1994, p. 23.5) para cada bateria colocada em um carro novo, outras três serão vendidas no mercado de reposição.

No mercado das motocicletas, que também é consumidor da bateria tipo chumbo-ácido, a projeção também é de aumento de produção. De acordo com o Sindipeças (2007b, p.1), desde o início dos anos 2000, a produção brasileira cresce em percentuais bem superiores à de autoveículos e deve permanecer assim para os próximos 5 anos, como se observa no quadro 19. A região que mais contribuiu com o aumento desse consumo para o primeiro semestre de 2006 foi a região Nordeste com uma média de crescimento de 107% diante de uma média nacional que foi de

25,8%. Entre o ano 2000 e 2006, a frota de moto cresceu 151% tendo uma idade média, em 2006, de 4 anos e 9 meses. Cerca de 47% tem idade até 3 anos e 7% com mais de 10 anos. Com relação à categoria, segundo ainda o Sindipeças, 53% pertence a faixa das motos que vão de 105 a 135 cilindradas.

Diante dessa perspectiva de aumento da frota de veículos, a produção de baterias também aumenta e em quantidade maior, pois, para cada bateria colocada em um veículo novo, várias outras serão necessárias na reposição, durante o tempo de vida desse veículo.



Quadro 19 - Produção de veículos e de motocicletas no Brasil.

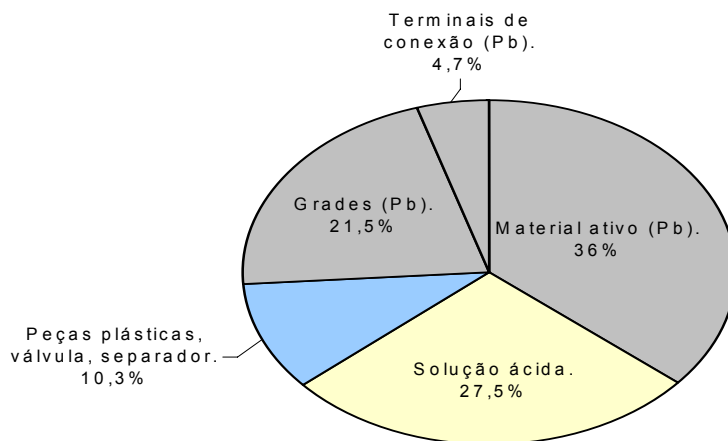
Fonte - Elaboração própria a partir de: Anfavea (2007, p.52) para o Total Veículos de 1962 até 2006, de Sindipeças (2007a, p.38) para o Total Motocicletas de 1986 até 2006 e de Sindipeças (2007b, p.1) para a Previsão Motocicletas de 2007 até 2012.

3.1.2. Princípio de funcionamento

As baterias chumbo-ácido são utilizadas em sistemas de armazenamento de energia, sistemas de emergência, veículos elétricos, automóveis, barcos e aviões os quais se utilizam de fornecimento de energia para a partida de motores, iluminação ou ignição. Essas baterias são, em sua grande maioria, de 12 Volts e possuem

capacidade de fornecimento normalmente entre 40 a 60Ah. Pesam em média 14,5 kg e tem capacidade para fornecer cerca de 450 a 650 Amperes durante a partida dos motores (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.5).

Conforme mostra o quadro 20, cerca de 62% do peso de uma bateria é composto de chumbo na forma de metal ou ligado (grades e terminais de conexão) e na forma de pasta aderida às grades (material ativo). Os outros 38% correspondem basicamente ao ácido sulfúrico e ao material plástico.



Quadro 20 - Divisão por peso típico de uma bateria chumbo-ácido.

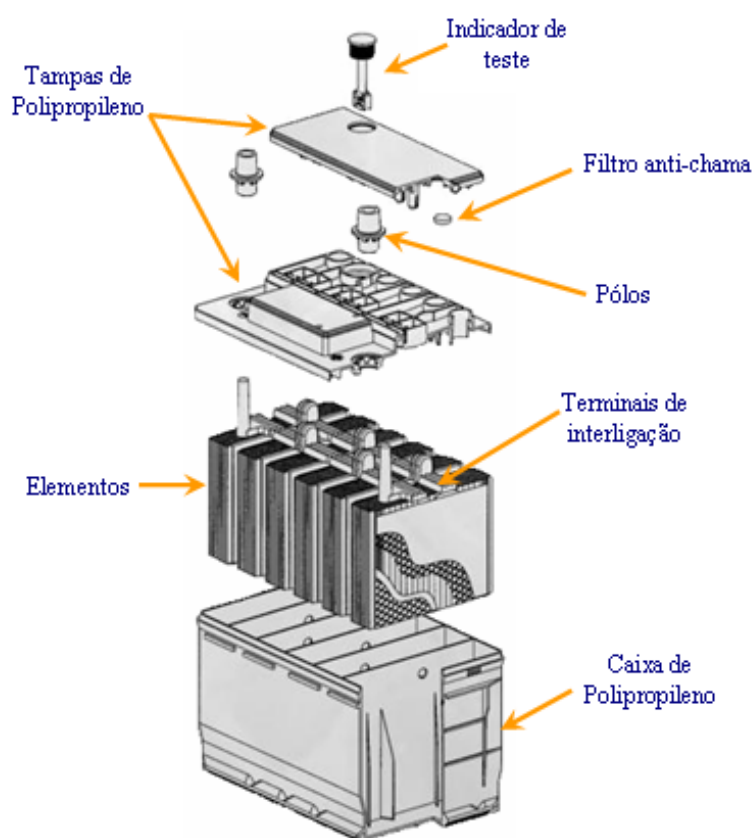
Fonte - Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.17).

De acordo com Delco Remy (1990a, p.2), a bateria executa quatro funções nas aplicações em veículos que são:

- ❖ Fornecer energia para os acessórios quando o motor não está funcionando.

- ❖ Fornecer energia para o motor de partida e sistemas de ignição ou velas, durante o acionamento do motor.
- ❖ Fornecer corrente para as luzes, rádio, aquecedor e demais acessórios quando a solicitação elétrica desses acessórios ultrapassa o fornecimento do alternador.
- ❖ Atuar como estabilizador de tensão no sistema elétrico.

A bateria chumbo-ácido pode ser totalmente selada ou possuir tampas para reposição periódica do eletrólito. As seladas ou livres de manutenção têm composição química diferente das convencionais, evitando perdas durante o uso e consequentemente reposição do líquido (DELCO REMY, 1990a, p.2). No quadro 21 é mostrada uma bateria tipo livre de manutenção em que é possível observar seus componentes mais importantes.

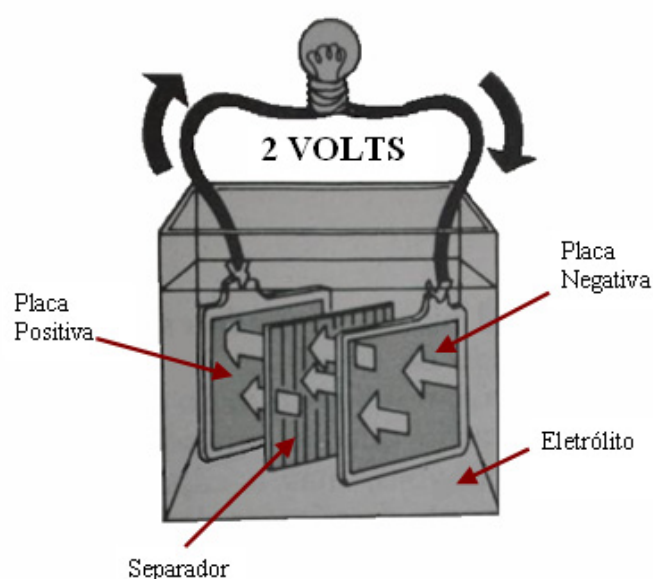


Quadro 21 - Componentes da bateria chumbo-ácido do tipo livre de manutenção.

Fonte - Delphi (2000, p.12).

3.1.3. Componentes

De acordo com Delco Remy (1990a, p.3), uma bateria básica simples é formada quando uma placa positiva, constituída de peróxido de chumbo (PbO_2), e uma placa negativa, constituída de chumbo esponjoso (Pb), estão isoladas entre si por meio de um separador e são colocadas em uma solução ácida chamada eletrólito. A diferença de potencial entre as placas será de 2,1 Volts, como esquematizado no quadro 22. Uma bateria chumbo-ácido típica possui 6 células de 2,1 Volts conectadas em série, obtendo-se assim uma tensão total de 12,6 Volts.



Quadro 22 - Princípio básico do funcionamento de uma bateria.

Fonte - Delco Remy (1990a, p.3).

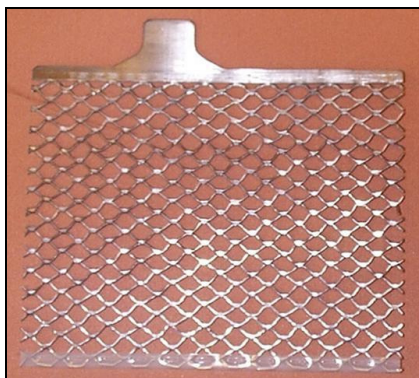
A. Grade e material ativo.

De acordo com Delco Remy (1990a, p.3), a grade é o componente básico da bateria. É uma estrutura metálica utilizada para segurar o material ativo (pasta) e para conduzir corrente elétrica entre o material ativo e o terminal de interligação em que as placas estão conectadas. Nas baterias seladas (livres de manutenção), a grade é basicamente composta de chumbo e cálcio sendo este o principal motivo da bateria não consumir água e poder ser completamente selada.

O chumbo é material mole necessitando formar liga com outros materiais para poder ter sustentação. Tradicionalmente tem sido endurecido através da adição de

Antimônio que chega a ser de até 12%. Nessa quantidade a bateria irá consumir água não podendo ser considerada, portanto, como livre de manutenção. Para que isso não ocorra o antimônio deve ser mantido em valor baixo, ou seja, entre 1,5 a 2% (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.16 e p.24.19).

Para obtenção da grade existem dois processos distintos. Num deles a grade é expandida, partindo-se de uma lâmina de largura e espessura controladas, até se obter uma tela que posteriormente será cortada nas dimensões apropriadas ao produto (quadro 23). Em outro processo ela é fundida por meio da injeção da liga de chumbo derretida dentro de moldes onde posteriormente é resfriada e extraída.



Quadro 23 - Grade expandida.

Fonte - Delphi (2000, p.13).

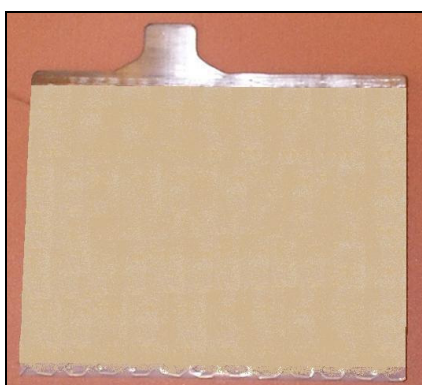
Sobre a grade é depositada uma mistura viscosa composta por: óxido de chumbo (PbO), água e ácido sulfúrico. Na obtenção do óxido, o chumbo deve ser altamente refinado para não trazer contaminantes à bateria. Duas maneiras são empregadas para a conversão do chumbo sólido em óxido de chumbo: a conversão em potes aquecidos ou por meio de moinhos de bola. No primeiro caso o chumbo é derretido e dosado lentamente dentro do pote aquecido quando encontra uma hélice em baixa rotação que arremete o chumbo líquido para as paredes do pote. Neste instante as pequenas partículas do chumbo derretido entram em contato com o fluxo de ar provocado dentro do pote, convertendo-o em óxido de chumbo. Este mesmo fluxo de ar arrasta as partículas de óxido de chumbo para um sistema de filtragem e armazenamento. Moinhos de bola consistem numa grande variedade de processos. Para a produção do óxido, pedaços de chumbo são colocados em um moinho mecânico rotativo. O atrito das partes com o chumbo produz particulados finos que

se oxidam através do fluxo de ar controlado dentro do equipamento (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.25 e 24.26).

Na preparação da pasta de chumbo, além do óxido, da água e do ácido, outros ingredientes são acrescentados, como é o caso da fibra sintética, cujo objetivo é melhorar a adesão da pasta na grade. A quantidade desses ingredientes e a utilização de outros aditivos é que irão diferenciar a placa positiva da placa negativa. A correta aplicação de todos os ingredientes, quando do preparo da mistura, confere à pasta:

- ❖ Teor de sulfato ideal para a aplicação a que se destina. Diferentes teores podem ser feitos de acordo com a aplicação da bateria.
- ❖ Temperatura ideal durante o preparo.
- ❖ Consistência para ser mecanicamente aplicada à grade.
- ❖ Melhor desempenho da bateria.

No quadro 24 pode ser visualizada uma grade que já recebeu a pasta. A partir deste processo ela é denominada: placa.



Quadro 24 - Grade com material ativo (pasta) aplicado.

Fonte - Delphi (2000, p.13).

B. Separadores.

O separador é um material que tem o objetivo de isolar uma placa da outra de polaridade oposta, mas este material tem que ser poroso o suficiente para permitir o transporte do eletrólito, que é uma solução composta de ácido sulfúrico e água, para dentro ou para fora das placas. O separador pode envolver tanto a placa positiva como a negativa ou as duas placas. São diversos os tipos de separadores disponíveis, como demonstrado na tabela 6, porém são os de Polietileno e aqueles com base em vidro os mais utilizados (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.29).

Tabela 6 - Tipos de separadores e algumas de suas características.

<i>Tipos de separador:</i>	<i>Borracha</i>	<i>Celulose</i>	<i>Policloreto de Vinila (PVC)</i>	<i>Polietileno (PE)</i>	<i>Fibra de Vidro</i>	<i>Micro vidro</i>
<i>Ano da disponibilidade:</i>	1930	1945	1950	1970	1980	1985
<i>Porosidade, %:</i>	60 ± 5	65 ± 5	40	60 ± 5	85 ± 5	90
<i>Resistência Elétrica, mΩ.in²:</i>	30 a 50	25 a 30	15 a 30	8 a 40	10	< 5

Fonte - Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.29).

Os separadores de aglomerado de fibra de vidro, também denominados AGM, são usados em alguns conceitos de bateria chumbo-ácido para absorver o eletrólito, não permitindo que este fique livre dentro da célula, conforme explicam Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.29). É uma condição importante para aquelas aplicações em que a bateria sofrerá inclinação, pois evitará vazamentos do eletrólito. No quadro 25 tem-se exemplos de separadores de Polietileno (PE), na forma de envelope, preparado para receber a placa positiva ou negativa.

C. Elementos e grupos.

Um elemento é formado agrupando-se placas positivas, placas negativas e separadores. São montadas intercalando-se alternadamente as positivas e as negativas sendo que o separador estará garantindo o isolamento entre elas. Nesse conjunto de placas, as positivas estarão todas unidas a um terminal de chumbo

normalmente fundido, o mesmo acontecendo com as placas negativas que estarão unidas a outro terminal. Nessa configuração, estará ocorrendo uma associação em paralelo de pequenas baterias de 2 Volts, formada por cada par de placas (DELCO REMY, 1990a, p.4).



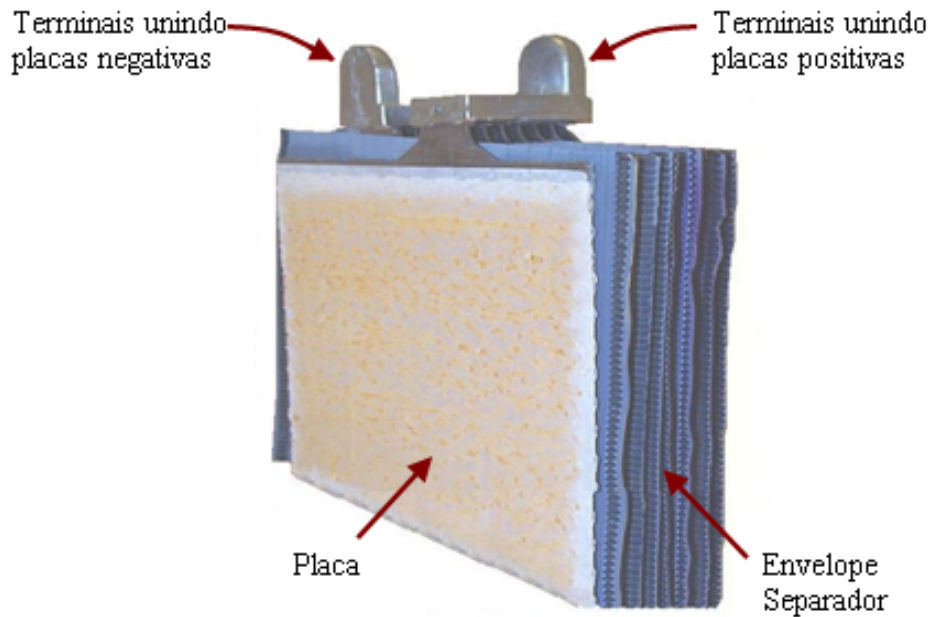
Quadro 25 - Separadores de PE, em forma de envelope.

Fonte - Delphi (2000, p.17).

Segundo Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.30), o resultado da montagem de placas e separadores é conhecido como um elemento, e o elemento com as placas soldadas para formar uma célula da bateria é conhecido como um grupo.

O quadro 26 mostra um grupo pronto para ser montado na caixa plástica e assim formar uma célula. Na montagem final, ocorrerá uma associação em série de seis grupos que farão com que a bateria atinja a tensão de 12 Volts (DELCO REMY, 1990a, p.4).

Os terminais de interligação das placas podem ser feitos de diferentes maneiras. O terminal pode ser individual, como o que ocorre no quadro 26, ou pode ser feito unindo uma célula a outra. Neste segundo caso, a montagem é feita com o terminal ficando sobre a divisória interna da caixa plástica (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.30).



Quadro 26 - Grupo que formará uma célula de 2 volts dentro da bateria.

Fonte - Delphi (2000, p.18).

D. Peças plásticas.

A caixa da bateria é feita normalmente de Polipropileno, por ser material leve, ter excelente resistência e grande durabilidade. É um material que suporta bem choques mecânicos e vibrações que pode ser submetida durante o uso. A caixa tem desenho preparado para receber os grupos e promover a conexão entre as 6 células. A tampa é constituída do mesmo material da caixa, e no caso das baterias tipo *flooded*, que possuem ácido livre na célula, a tampa possui um separador de líquido-gás que permite que o eletrólito, carregado pelos gases, seja retido nesse separador e assim consiga retornar para dentro da célula, eliminando perdas do eletrólito (DELCO REMY, 1990a, p.5).

E. Eletrólito.

O eletrólito consiste em uma solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água (H_2O) sendo a proporção em torno de 64% de água e de 36% de ácido com densidade de $1,835g/cm^3$, obtendo-se dessa maneira um eletrólito com densidade de $1,270g/cm^3$ (DELPHI, 2000, p.21).

A densidade do eletrólito altera na medida em que altera também o estado de carga da bateria e é bastante sensível à temperatura. É importante considerar a temperatura do local onde a bateria irá ser utilizada, para se determinar a densidade correta do eletrólito a ser empregado. Se a densidade estiver alta, o ácido poderá atacar certos tipos de separadores e outros componentes. Se estiver baixa, o eletrólito poderá ser pouco condutivo, o que se torna crítico para baterias em ambientes de baixa temperatura e com baixo estado de carga. Em ambiente de alta temperatura é usual a utilização de eletrólito com densidade mais baixa do que em ambientes com baixa temperatura (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.16).

F. Válvula, filtro anti-chama e indicador de teste.

Segundo Hammel, Salkind e Linden (1994, p.25.1), a bateria selada tipo Valve Regulated Lead-Acid (VRLA), possui normalmente uma válvula montada na tampa que mantém a pressão interna dentro de um limite aceitável. Essa válvula permanece sempre fechada e tem a função de prevenir a entrada de oxigênio presente no ar. Ela abre, caso a pressão interna ultrapasse um limite aceitável, evitando risco de rompimento da estrutura da bateria. A válvula é normalmente aplicada naquelas baterias que não possuem eletrólito livre, mas sim embebido em separador especial, como o de fibra de vidro.

Num outro conceito de equilíbrio de pressão externa com interna, conforme explica Delco Remy (1990a, p.5), ocorre a presença de um ou dois respiros que permitem a saída de pequenas quantidades de gases produzidos durante a vida útil da bateria, porém pode haver a entrada de oxigênio. Sendo assim, é necessário que todas as placas estejam cobertas com o eletrólito, o que caracteriza a bateria como sendo do tipo Flooded. Essas saídas de gases, tanto para a bateria tipo VRLA como para a Flooded, normalmente possuem filtro anti-chama poroso que evita entrada de qualquer faísca ou chama na bateria, o que causaria explosão interna do gás. Baterias submetidas a rápida carga ou descarga produzem gases em maior intensidade.

A densidade do eletrólito diminui conforme a bateria se descarrega. O chamado “estado de carga” da bateria está diretamente relacionado com a densidade do eletrólito. Usando esse efeito da variação do estado de carga, alguns fabricantes de bateria utilizam um “Indicador de Teste”. Ele consiste em uma haste transparente e de um compartimento onde é alojada uma esfera. Essa esfera possui uma densidade que a torna sensível à alteração da densidade do eletrólito. Assim, quando a densidade do eletrólito diminui a esfera desce para o fundo do compartimento. Nesse momento o indicador apresentará cor preta, o que significaria que a bateria necessita ser recarregada. Quando a densidade aumenta, a esfera sobe e apresenta a cor esverdeada no indicador de teste, significando que a bateria apresenta um bom estado de carga. Se houver consumo excessivo de eletrólito a esfera fica descoberta e apresenta uma cor tipo amarelo claro no indicador. Normalmente o nível de eletrólito cairá abaixo do indicador de teste quando a vida útil da bateria chegar ao fim (DELCO REMY, 1990a, p.6).

3.1.4. Processo produtivo

- Montagem.

A montagem consiste basicamente da inserção e união dos grupos na caixa plástica que posteriormente receberá a tampa. Se o conceito do terminal de conexão das placas for individual para cada célula, uma solda será necessária para promover a ligação em série das 6 células. Esta solda será feita manual ou automaticamente através de um furo feito previamente nas divisórias da caixa onde os terminais deverão estar posicionados. Após a união dos 6 grupos dentro da bateria ela será fechada por meio de tampa plástica que permite a adição do ácido, que será descrita mais adiante. De acordo com Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.30) algumas maneiras para promover a selagem entre tampa e caixa são:

- A. A mais comum para a bateria tipo SLI (Starting, Lighting and Ignition) é através do aquecimento da tampa e da caixa com posterior compressão entre essas peças por alguns segundos.
- B. Outro método é através da vibração ultra-sônica da tampa e da caixa enquanto pressionadas uma contra a outra.

C. Poucas montagens são feitas através de resina epóxi¹¹ que deve ser adicionada num perfil de encaixe entre as peças. Posterior aquecimento é necessário para ativar o catalisador da resina e promover a união de tampa com caixa.

D. O betume¹² foi um material muito empregado com essa finalidade até 1960, quando era aquecido e depositado em canais de encaixe entre as peças plásticas. O betume precisava ser aquecido o suficiente para fluir e preencher o encaixe das peças, mas viscoso o suficiente para solidificar antes de escorrer para dentro da célula da bateria.

- Formação e reações químicas.

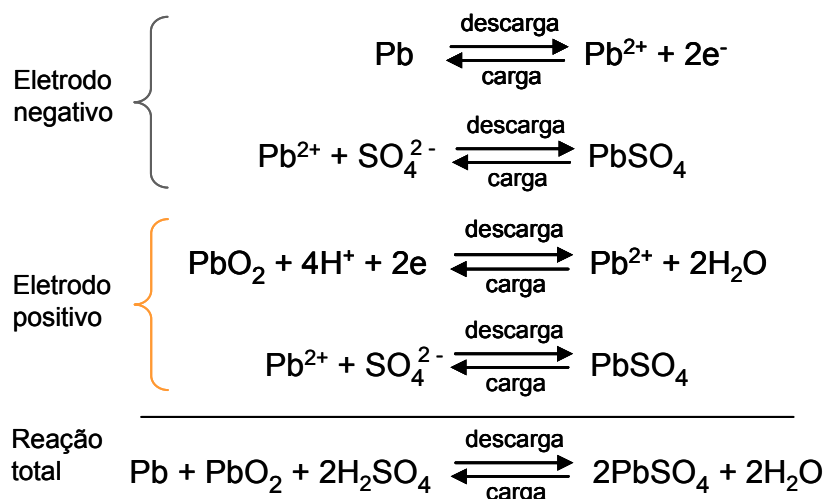
Segundo Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.31) o processo de formação para a bateria livre de manutenção é feito com os grupos montados na caixa. Esse processo pode ser realizado com um único ácido que não é mais removido da bateria após carregada, ou através de dois tipos de ácido, sendo que o primeiro, geralmente de mais baixa densidade, é usado no momento de receber carga. Depois que a bateria está carregada, esse eletrólito inicial é removido e outro eletrólito final é adicionado, contendo densidade maior. Existe uma série de outros métodos de formação como a que ocorre dentro de tanques com eletrólito e posterior montagem na caixa. Outro método consiste ainda na formação dos grupos em tanques, seguido de secagem e armazenamento, que pode ser por longo período de tempo. Esse aumento no tempo de armazenagem é importante para o conceito de bateria que utiliza Antimônio, pois possui perda de 1 a 3% de capacidade¹³ por dia, principalmente quando armazenada em local de temperatura elevada. Já para as baterias livre de manutenção a perda é menor chegando a ser de 0,1 a 3% por dia.

¹¹ Resina epóxi é um plástico termofixo que se endurece quando se mistura com um agente catalizador ou “endurecedor”. É utilizada em: revestimento interno de embalagens, placas de circuito impresso, encapsulamentos de componentes, pisos industriais, tintas anticorrosivas e em muitas outras aplicações.

¹² O betume, popularmente conhecido como piche, é uma mistura sólida, pastosa ou mesmo líquida de compostos químicos (hidrocarbonetos) que pode aparecer na natureza ou ser obtida em processo de destilação do petróleo. É uma substância facilmente inflamável, de cor escura e pegajosa, constituído de carbono e hidrogênio, dentre outras substâncias.

¹³ A capacidade de uma célula é definida como a quantidade total de eletricidade envolvida na reação eletroquímica.

De acordo com Delco Remy (1990a, p.5), a placa positiva carregada é composta de chumbo e oxigênio, formando peróxido de chumbo (PbO₂), e a placa negativa carregada é composta de chumbo metálico ou chumbo esponjoso (Pb). No processo de descarga da bateria a reação ocorre objetivando reduzir a diferença de potencial entre os pólos positivo e negativo, o que inverte no mecanismo de carga da bateria. Nesses processos ocorrem as seguintes reações:

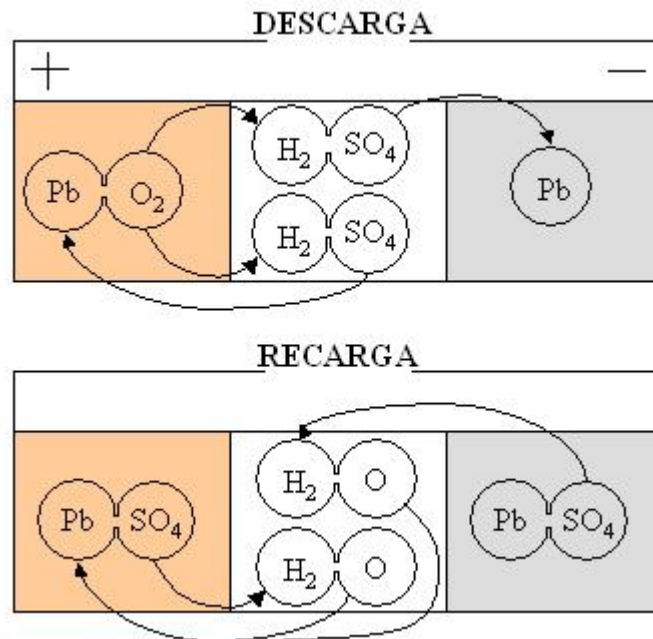


Na descarga o eletrólito começa a ceder moléculas de SO₄ para as placas positiva e negativa, tendendo a formar somente sulfato de chumbo nessas placas. A ligação do Pb com o SO₄ ocorre na placa negativa em virtude do Pb estar com carga 2+, consequência da liberação dos dois elétrons através da corrente elétrica formada ao alimentar uma carga externa. O oxigênio (O₂) sai da placa positiva e vai para o eletrólito formando moléculas de água com o hidrogênio presente nessa solução. No processo de recarga ocorre o inverso, ou seja, as moléculas de SO₄ das placas positivas e negativas retornam para o eletrólito, e, o oxigênio (O₂) presente no eletrólito, retorna para a placa positiva. Estas reações estão ilustradas no quadro 27.

- Testes e acabamento.

Após o carregamento da bateria normalmente ela é submetida a testes elétricos para verificação do seu desempenho antes de ser vendida. O tipo de teste depende do tipo de aplicação da bateria. Para uso automotivo, a bateria é submetida a descarga profunda por meio de uma corrente bem alta (200 a 1500 A) para simular seu desempenho durante uma partida de motor. A corrente suportada é avaliada para

determinar se está de acordo com o especificado para aquele modelo de bateria e assim ser aprovada ou não (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.33).



Quadro 27 - Descarga e recarga da bateria.

Fonte - Delco Remy (1990a, p.6), modificado.

Antes de sair do processo de manufatura, segundo Salkind, Kelley e Cannone (1994, p.24.33), a bateria tem seu visual melhorado através das etapas de lavagem, secagem, etiquetagem e embalagem. São normalmente armazenadas em várias camadas sobre pálete¹⁴ e assim envolvidas com filme plástico para aumentar a rigidez da embalagem. Longas distâncias para entrega do produto são críticas devido a fragilidade, peso e conteúdo contaminante e corrosivo que este produto oferece.

3.1.5. Durabilidade

A durabilidade de uma bateria chumbo-ácido é muito afetada pela aplicação, por variações no processo produtivo e pelo ambiente em que está instalada. Atualmente,

¹⁴ Pálete é um estrado de madeira, metal ou plástico que é utilizado para movimentação de cargas. Possui a função de otimizar o transporte de cargas que é feito por meio de empilhadeira ou de paleteria.

com o processo produtivo mais automatizado, se tem uma melhora e uma redução nos modos de falha obtendo com isso ganho em durabilidade. As baterias tiveram melhora significativa no seu desenho e nas matérias primas empregadas principalmente nas últimas duas décadas, o que também refletiu na sua vida. (SALKIND, KELLEY e CANNONE, 1994, p.24.41).

De acordo com Batterystuff (2007, p.1), a vida de uma bateria diminui à medida que aumentamos sua solicitação, ou seja, a vida depende do uso. De seis a quarenta e oito meses de vida é o que normalmente ocorre para a vida de uma bateria, sendo que 30% atingem a marca dos quarenta e oito meses.

3.2. Chumbo na gasolina

De acordo com PETROBRAS (2002), o chumbo na forma Chumbo Tetraetila começou a ser misturado à gasolina com o objetivo de aumentar sua octanagem e com isso ter melhor poder de combustão e maior resistência a altas pressões no interior dos cilindros, sem sofrer detonação. O chumbo é empregado nesta mistura pois é a maneira mais barata de elevar a octanagem da gasolina, e, octanagem reduzida implica para o veículo: maior consumo de combustível, redução da potência disponível e danos ao motor.

O Chumbo Tetraetila começou a ser misturado à gasolina em 1922 e foi a partir de 1970 que começaram as discussões e o interesse na sua eliminação. Sua aplicação traz implicações à saúde pública e ao meio ambiente contaminando solo, ar e água. Já no início de seu uso, notou-se o poder de contaminação que poderia trazer, causando acidentes com as próprias pessoas que trabalhavam no preparo da mistura (LANDRIGAN, 2002).

Segundo Hodes, Thomas e Williams (2003, p.1) de todas as fontes de exposição ao chumbo, é na mistura com a gasolina que ele se torna mais perigoso, causando uma série de problemas em decorrência da sua inalação. As crianças são as mais afetadas e podem apresentar desde problemas de aprendizagem até problemas neurológicos.

3.2.1. O chumbo e o conversor catalítico

Os principais contaminantes emitidos na queima de combustível são os monóxidos de carbono, os hidrocarbonos e os óxidos de nitrogênio. O conversor catalítico presente, principalmente nos veículos novos, ajudam a reduzir essas emissões, pois converte a maior parte dos poluentes em CO₂, vapor d'água, oxigênio e nitrogênio (UNEP, 1999).

Um dos principais motivos em se eliminar o chumbo na gasolina é pelo fato de que ele contamina o catalisador, deixando-o ineficiente (UNEP, 1999). Segundo PETROBRAS (2002), ele também compromete a sonda lambda¹⁵ presente nos veículos mais modernos.

3.2.2. Opções para substituição

Segundo UNEP (1999), a eliminação do chumbo na gasolina poderia ser feita através de uma das seguintes alternativas:

- A. Modificação no processo de refino da gasolina para elevar o nível de octanas. Porém, neste caso, alguns países precisariam importar este combustível devido ao pequeno número de refinarias ou por não estarem preparadas para fazer um refino mais eficiente.
- B. Acréscimo de aditivos alternativos como o Etanol e o Metanol.
- C. Redução do índice de Octana que é especificado para os veículos, mas com isso reduziria a potência do motor.

Alguns países optaram pela mistura das duas primeiras opções.

¹⁵ A sonda lambda ou sensor de oxigênio é um dispositivo que envia um sinal elétrico à injeção eletrônica do veículo indicando a presença do oxigênio nos gases de escape, possibilitando o controle da quantidade de combustível a enviar para o motor. Lambda refere-se a letra grega que os técnicos utilizam para descrever o volume de ar na mistura combustível-ar e que tem o valor 1 quando é atingida a relação ideal. Localiza-se num local de passagem dos gases de escape do motor, normalmente pouco depois do coletor de escape e antes do conversor catalítico. Uma parte da sonda fica em contato com o ar exterior.

3.2.3. A transição no Brasil e a situação mundial

No Brasil, foi desenvolvida uma tecnologia própria que compreende na adição do etanol anidro à gasolina. Produto totalmente nacional e fonte renovável de energia, o etanol elimina a necessidade do uso do chumbo e ainda disponibiliza moléculas de oxigênio que melhoram a queima dos hidrocarbonetos e mantém a octanagem do combustível composto (PONTES, 2002).

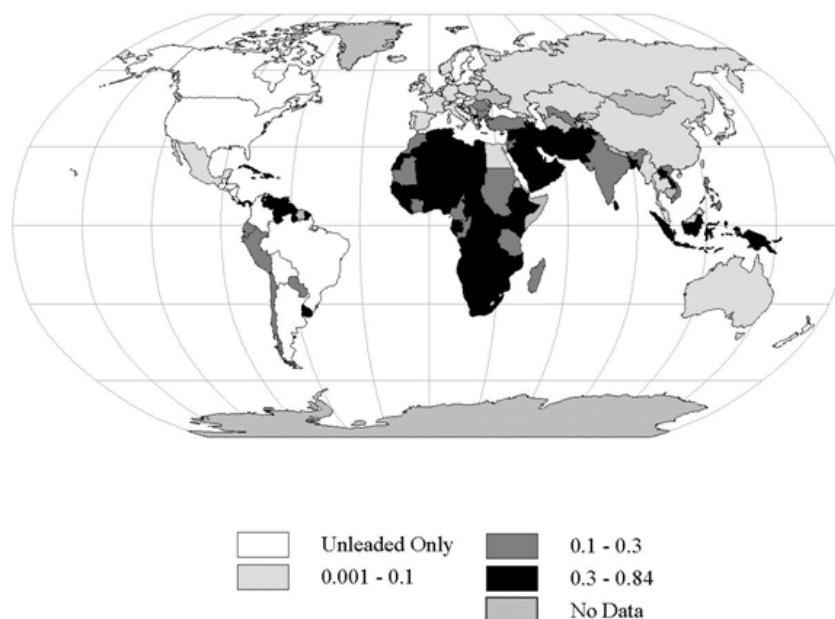
O Brasil foi um dos primeiros países a deixar de usar totalmente o chumbo na gasolina automotiva, sendo que em 1992 ele estava totalmente eliminado da gasolina. A especificação brasileira define um teor de chumbo máximo de 0,005g/L (gramas por litro de gasolina). Esta quantidade não significa tolerância com a presença do chumbo, é apenas o limite inferior de detecção do método ASTM D-3237. Significa dizer que em todas as especificações mundiais em que aparece o limite de 0,005g/L, a gasolina está isenta de chumbo (PETROBRAS, 2007). Segundo PETROBRAS (2002), sua presença é somente mantida na gasolina de aviação.

De acordo com Landrigan (2002), cerca de 50 países já eliminaram o chumbo do combustível, outros reduziram sua concentração na gasolina porém muitos ainda enfrentam dificuldades para eliminá-lo como é percebido no quadro 28, o qual destaca os países no continente africano como os que utilizam o chumbo em quantidades elevadas. Segundo Hodes, Thomas e Williams (2003, p.1) o progresso no continente africano tem sido lento no sentido de promover esta mudança. Segundo eles o World Resource Institute relatou que o consumo do chumbo tetraetila no ano 2000 foi de 34.000 Toneladas sendo a África responsável pelo consumo de mais de $\frac{1}{4}$ deste total.

3.3. Chumbo em rolos e extrudados

Depois da aplicação em baterias para armazenar energia, a aplicação do chumbo na forma de rolos e extrudados é a que mais consome chumbo na forma metálica. As folhas de chumbo têm larga aplicação na construção civil e na indústria química. Possui grande demanda na construção civil, motivada principalmente pelo estilo de

construção, pelas condições climáticas e pelo tradicionalismo no emprego do material em muitos países. Na Europa é tradicionalmente usado em estruturas externas como telhados, janelas e chaminés quando serve como material para vedar ou selar a união entre partes, principalmente em paredes verticais, quando previne infiltração de água. Nesta aplicação se consome cerca de 85% do chumbo metálico produzido em rolos ou na forma de folha. É material durável (oferecendo baixa manutenção), maleável, fácil de ser instalado e sua cor cinza permite manter um bom aspecto visual no local que está presente. Como folha é também usado na proteção contra o raio-X e em paredes para isolamento do som. Nos Estados Unidos é pouco empregado nos telhados. Cerca de 27% da produção de folhas de chumbo é utilizada pelos americanos como proteção contra raio-X e gama sendo também empregado pela indústria química. No Japão essa faixa muda para 70% aplicado em proteção contra raio-X e gama e o complemento em isolamento acústico. Diversos materiais surgem como alternativa para substituição do chumbo por possuírem algumas características equivalentes a ele, porém quando são necessárias diversas características num mesmo produto, então o chumbo se torna insubstituível. No uso como encanamento permanece em algumas aplicações específicas principalmente na indústria química, devido a resistência a corrosão. Em tubulações para transporte de água potável foi largamente substituído pelo cobre e pelo PVC (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.25 a 27).



Quadro 28 - Concentração de chumbo na gasolina no mundo.

Fonte - THOMAS e KWONG (2001).

3.4. Chumbo em revestimento de cabos

O chumbo é usado como protetor no revestimento de cabos elétricos que são aplicados na indústria petroquímica, na transmissão de energia elétrica dentro do mar (como por exemplo, no fornecimento de eletricidade para ilhas) e para cabos de alta voltagem embaixo da terra. Para o ano de 1999, os maiores consumidores de chumbo para esta aplicação foram: França (13.000 t), Reino Unido (9.600 t), Sudeste da Ásia (7.700 t), Itália (3.300 t) e Índia (3.000 t). Possui vantagens para esta aplicação por ser resistente a corrosão, impermeável na água, pode ser extrudado em grandes comprimentos, é facilmente emendado por meio de solda e pode ser bobinado e desbobinado sem sofrer danos. Vem sendo substituído em diversos casos pelo alumínio, por ser também material impermeável. Não foi possível substituí-lo em cabos que permanecem sob a água do mar pois outros materiais como o alumínio e o aço inox não tem a mesma resistência a corrosão do que o chumbo (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.28 e 29).

3.5. Esferas de chumbo, munições, pesos e outros

A aplicação do chumbo na forma de esferas é pequena em todo o mundo. A Itália é uma exceção, consumindo 9% (24.000 t), do seu consumo total de chumbo, nesta aplicação. Esferas com dimensões maiores são usadas no preparo de cartuchos e balas para armas de fogo. Esferas de chumbo pequenas são derretidas junto com outros materiais no preparo de ligas. O chumbo é usado na confecção de balas e bolas de canhão por muitos séculos. Está presente nesta aplicação devido possuir alta densidade (o que faz com que tenha um grande poder de destruição), ser fácil de modelar e por causar baixa abrasão no cano da arma de fogo. Na substituição do chumbo para esta aplicação podem ser utilizadas pastilhas de aço, porém causam inúmeros problemas como o fato de ricochetear numa rocha e voltar em direção ao atirador e também favorecer o desgaste do cano da arma de fogo (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.30).

O chumbo tem sido largamente usado como peso, pois além de elevada densidade, possui alta durabilidade, o que é muito relevante em ambiente úmido e agressivo como junto da água do mar. Objetos como peso para pesca e âncoras para

embarcações seriam rapidamente corroídas se fossem construídas em aço. Para roupas de mergulho, que utilizam chumbo, o zinco pode ser utilizado assim como ligas de estanho, ou aço revestido com plástico. O peso usado na pescaria tem dificuldade em ser substituído, apesar das solicitações dos fabricantes que solicitam que haja pesquisas no sentido de substituir o chumbo (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.31).

De acordo com Juras (2006, p.6) tem surgido uma preocupação com o chumbo utilizado na caça e na pesca, em muitos países. Milhões de aves são envenenadas a cada ano devido ingestão acidental de munição de chumbo e chumbada de pesca que encontram no local onde vivem, pois confundem o chumbo com pequenas pedras que normalmente consomem. Este chumbo chega até a moela onde permanece para ser triturado com outros alimentos. Como resultado deste desgaste o chumbo acaba sendo dissolvido pelos ácidos digestivos e chega até a corrente sanguínea. O chumbo acumula-se em diversos órgãos o que debilita a ave podendo causar sua morte em curto período de tempo. Estima-se que o saturnismo, originado pela ingestão de grãos de chumbo causaria a morte de 1,4 a 2,6 milhões de patos por ano na América do Norte. Alguns países na Europa já proibiram a utilização de chumbo em caça em zonas úmidas, como a Dinamarca, Espanha e França. Outros países estão estabelecendo medidas como um tamanho mínimo para uso de chumbada de pesca para evitar seu consumo, quando ocorre a perda dentro da água, pelos peixes menores que por sua vez são ingeridos pelos maiores.

No Brasil pesquisadores desenvolveram em São Carlos, uma chumbada ecológica produzida com materiais como argila, areia e pó de pedra os quais são compatíveis com o fundo dos rios e lagos, em substituição ao chumbo. Em razão da diferença de densidade os pesos de cerâmicas são maiores que os tradicionais de chumbo, mas tem o mesmo efeito do tradicional. A possibilidade de substituição abre uma oportunidade de grande ganho ambiental uma vez que se estima que anualmente cerca de 40 toneladas de chumbo são deixadas nos rios do pantanal resultantes de perda pelos pescadores em linhas e redes de pesca (VARELLA e LONGO, 2005).

3.6. Ligas contendo chumbo

De acordo com Thornton, Rautiu e Brush (2001, p. 35 e 36), o chumbo pode ser acrescentado a diversos materiais para melhorar algumas de suas propriedades dependendo da aplicação que terá a liga final. É empregado em ligas com diversos materiais reduzindo ponto de fusão, melhorando usinabilidade e redução de atrito entre peças. Essas aplicações são:

- a. Aplicação em solda: A liga chumbo-estanho é muito utilizada principalmente na indústria eletrônica devido as vantagens que fornece como o baixo ponto de derretimento. Uma liga de 38% chumbo e 62% estanho possui temperatura de derretimento de 183°C que é mais baixa que a temperatura de fusão dos dois elementos. Oferece boa característica para fluir entre as partes a serem soldadas e tem preço mais baixo que outras ligas de solda. Estudos para a substituição do chumbo em ligas para solda já estão em evolução e alguns produtos já se encontram comercialmente para venda. Tais produtos são a base de estanho, prata e cobre, porém são específicos para soldar certos materiais. Não há um único produto que substitua o chumbo na liga com o estanho para soldas.
- b. Buchas e anéis para eixos: nesta aplicação é utilizada a liga chumbo-estanho que oferece baixo atrito entre as peças em movimento, porém não suporta cargas muito elevadas, neste caso é empregado o bronze com 20% de chumbo. Maior vantagem nesta aplicação do chumbo é seu baixo custo comparado com outros materiais. A substituição do chumbo em buchas e anéis é grande, pois perdeu espaço para o estanho, cobre e para outros conceitos de produtos deslizantes que são os rolamentos de esferas de aço endurecidas.
- c. Ligas de chumbo com bronze, alumínio e aço: o chumbo é acrescentado ao cobre, alumínio e ao aço, com o objetivo principal de melhorar a usinabilidade (qualidade de usinado) desses materiais. Algumas ligas de alumínio são formuladas com adição de menos de 4% de chumbo sendo que altas quantidades podem reduzir a qualidade do produto final. Para facilitar o trabalho das ferramentas de corte e reduzir os esforços aplicados no arranque

de material, os aços possuem adição de chumbo de até 0,35%, em peso. Com a adição do chumbo surgem algumas vantagens como aumento de 30% na usinabilidade o que reflete num prolongamento da vida da ferramenta de corte, possibilidade de aumento das velocidades de corte e conseqüentemente aumento de produção. Melhora acabamento superficial e reduz consumo de energia durante a usinagem. Pequenas adições, ao redor de 1,5 a 3,5% de chumbo junto ao bronze também são feitas pelas mesmas razões. Pesquisas estão em andamento no sentido de se obter materiais que substituam o chumbo nas ligas com o bronze, aço e alumínio. O uso do cálcio é uma opção e já existem materiais disponíveis com esta composição, porém não é benéfico para todas as classes de aço, como os de baixo teor de carbono. O bismuto melhora a usinabilidade, porém tem custo muito superior ao chumbo e sua produção é baixa, além de afetar a ductilidade do aço em certas temperaturas. O tratamento do aço com o enxofre é uma boa opção, mas em apenas algumas circunstâncias de usinabilidade. Outros elementos poderiam substituir o chumbo como o telúrio, o boro e o selênio, mas possuem aplicações limitadas e o selênio também é produto tóxico.

3.7. Chumbo em vidro e cerâmica

De acordo com Thornton, Rautiu e Brush (2001, p.39), as principais vantagens do chumbo misturado ao vidro a base de sílica são: reduzir seu ponto de amolecimento¹⁶ e facilitar o corte. Numa quantidade de 20 a 30% de chumbo, o ponto de amolecimento do vidro reduz de 1.630°C, que é a temperatura da sílica, para 665°C. Além disso, o chumbo proporciona ao vidro aumento da refração, dando aparência mais atraente e deixando-o mais apropriado para certas aplicações ópticas. Vidros com teores de chumbo possuem alto coeficiente de absorção do raio-X e do raio gama, podendo ser empregado em vários produtos como no tubo de raio catódico, usado em aparelhos de TV. O chumbo é apenas empregado na parte lateral do tubo, pois na parte frontal ocasionaria mudança de coloração da imagem. Nesta parte é empregado o bário em combinação com uma parede de vidro de grande espessura. É utilizado em hospitais, laboratórios e em estações nucleares,

¹⁶ Ponto de amolecimento é a temperatura na qual uma fibra de vidro de pequeno diâmetro se alongará por força do seu próprio peso. Acima dessa temperatura o vidro se torna mais maleável.

pois permite visualizar equipamentos de raio-X e materiais radioativos por trás de uma janela segura. Não há outro material economicamente viável que substitua o chumbo na aplicação ao vidro para proteção contra o raio-X. O bário, o estrôncio e zircônio poderiam ser empregados, mas são caros para serem produzidos e são questionáveis quanto ao atendimento da demanda atual.

O chumbo é utilizado no preparo do verniz que é aplicado nos mais diversos objetos de cerâmica como os ornamentais, as peças de cozinha, peças de banheiro e outras. Oferece diversas vantagens como redução do ponto de fusão do preparado, deixa o processo menos sujeito a variações, reduz a tensão superficial, permite maior flexibilidade na formulação dos compostos, resulta em acabamento superficial bastante liso, oferece alto brilho e alta resistência química e mecânica à camada aplicada. Como desvantagem o chumbo nas peças de cozinha, pode migrar do verniz, quando formulado ou processado inadequadamente, e ser liberado no alimento através de alguma trinca do verniz. Na busca de um verniz livre de chumbo, o bismuto oferece um bom resultado, entretanto, pode ocasionar coloração amarela indesejável em algumas circunstâncias, seu fornecimento é limitado, seu preço é alto e sua toxicidade é um ponto negativo para esta aplicação. Outra opção é o uso do zinco e do estrôncio, mas tornam difícil o desenvolvimento da coloração do verniz. O composto ABS, uma composição de boro, lítio, sódio, potássio e oxigênio, está se tornando largamente utilizado, porém necessita de alta temperatura de queima para produzir superfícies lisas. Além disso, produz maior índice de peças defeituosas e causa dificuldade para fazer a decoração no produto final (LEHMAN, 2002, P. 1 a 12).

3.8. Pigmentos e tintas a base de chumbo

Alguns compostos de chumbo são utilizados em tintas para oferecer cor, durabilidade e secagem rápida. A proporção usada normalmente no preparo é de 0,1 a 0,5% de chumbo, porém devido seu poder contaminante vem sendo substituído em diversas aplicações no setor de tintas. O chumbo branco ($PbCO_3 \cdot 2Pb(OH)_2$) é misturado a tinta conferindo-lhe alta durabilidade e boa resistência em ambiente externo mas foi largamente eliminado, permanecendo apenas em alguns usos legalmente permitido como em construções históricas e em

trabalhos de restauração. O chumbo vermelho foi largamente usado em tinta devido sua cor e sua propriedade anticorrosiva na aplicação como *primer* para proteção do aço, porém seu uso hoje é pequeno. Os pigmentos a base de cromato e sulfato de chumbo, fazem parte do grupo de pigmentos que são usados atualmente. Do ponto de vista técnico, são os melhores e mais baratos pigmentos para pintura. Podem ser substituídos em algumas aplicações por compostos contendo zinco, mas normalmente ocorrem desvantagens como: aumento do custo do produto final, maior manutenção das partes pintadas e perdas de brilho, fluidez e de outras propriedades (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.42).

4. ASPECTO DE SAÚDE PÚBLICA E AMBIENTAL ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DO CHUMBO

A cerusa se prepara com chumbo, o verde bronzeado com cobre, a cor ultramarina com prata (os pintores preferem cores minerais, mais duradouras que as vegetais), pois sabemos que quase toda matéria corante é extraída do reino mineral e ocasiona prejuízos graves (BERNARDINO RAMAZZINI (As doenças dos trabalhadores, 1700) apud DINIZ e SAMPAIO, 2001, p.6).

A presença e a concentração de chumbo no organismo variam de acordo com a fonte de exposição. Por exemplo, homens trabalhando em processos que utilizam o metal, crianças expostas a pinturas à base de chumbo deterioradas e pessoas consumindo água distribuída em tubulações de chumbo, têm demonstrado excessiva absorção do metal. A exposição em certos grupos deve variar devido a fatores fisiológicos, comportamentais e outros. Por exemplo, o feto é exposto ao chumbo via transferência materna, o recém nascido é exposto através do leite materno, as crianças pequenas são expostas mais intensamente à poeira contaminada e aos brinquedos que levam pintura à base de chumbo. O consumo de álcool e de cigarro aumenta a exposição. Algumas pessoas se expõem através do hobby que praticam ou das atividades ocupacionais. Diferenças na dieta alimentar também influenciam na exposição ao chumbo (WHO, 1995, p. 66).

Segundo Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 137), diversos alimentos contribuem com a presença do chumbo no organismo tais como: cereais, carnes, vegetais verdes, frutas e conservas em geral. O chumbo é danoso a saúde mesmo em pequenas concentrações, pois provoca acúmulo progressivo no organismo afetando o funcionamento de órgãos e sistemas.

De acordo com Reilly apud Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 141), nutricionistas afirmam que o chumbo está presente nos alimentos e é ingrediente normal em nossa dieta, pois existe em boa parte dos alimentos e bebidas que consumimos. Porém, o chumbo não tem qualquer valor benéfico ao organismo, e na verdade pode ocasionar sérios problemas à nossa saúde.

4.1. Toxicocinética

Segundo SSMT (1988, p. 13), o organismo pode:

- Absorver o chumbo.
- Distribuir o chumbo.
- Acumular o chumbo.
- Eliminar o chumbo.

4.1.1. Absorção do chumbo

Os compostos Inorgânicos (óxidos, sais e outros), são absorvidos pelo organismo principalmente pelas vias respiratórias e digestivas. Já os compostos orgânicos (chumbo tetraetila e tetrametila) são absorvidos através da pele e também pelas vias respiratórias (SSMT, 1988, p. 13).

4.1.1.1. Absorção pelas vias respiratórias

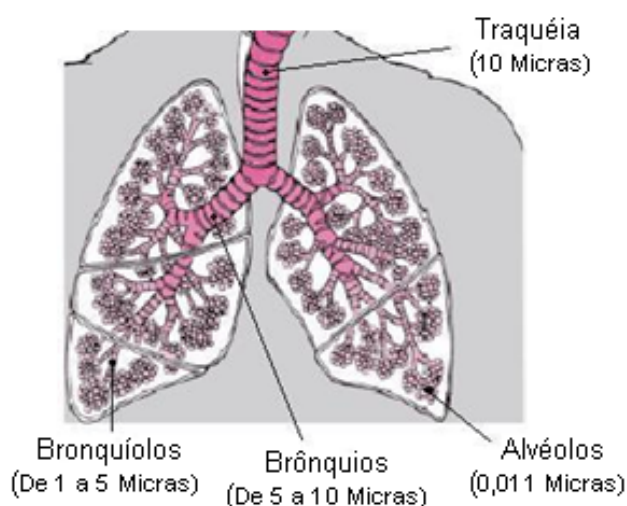
Uma das maneiras do organismo absorver o chumbo é por inalação. Este acesso é feito quando se encontra na forma de poeira, vapor ou fumos. Com a respiração, o chumbo penetra nos pulmões de onde é transferido para o sangue (ANTONAZ, 1992, p. 7).

De acordo com SSMT (1988, p. 18 a 20), o aparelho respiratório absorve cerca de 30 a 50% do chumbo que chega aos pulmões, sendo esta a principal via de entrada no organismo. A absorção do chumbo vai depender também de diversos fatores, como:

- ✓ Quantidade de chumbo no ar: quanto maior a concentração no ar, maior também será a absorção.
- ✓ Tamanho das partículas: o tamanho das partículas é fundamental e diretamente proporcional à absorção pelos pulmões. O quadro 29 mostra os pulmões e os locais de absorção do particulado em função do seu tamanho. Particulados com tamanho igual ou maior que 10

micra, não passam nas vias respiratórias superiores, porém aqueles menores do que 10 micra podem alcançar os alvéolos. Aqueles com tamanho igual ou menor que 1 micron passam para o sangue com extrema facilidade. Segundo Antonaz (1992, p. 7), os particulados maiores da poeira de chumbo que não penetram nos pulmões, se conduzem para o estômago e posteriormente para o intestino.

- ✓ Solubilidade dos compostos de chumbo: compostos mais solúveis são mais tóxicos por se dissolverem com maior facilidade e assim serem mais facilmente absorvidos pela via respiratória.
- ✓ Duração da exposição: quanto maior o tempo de exposição da pessoa maior será a quantidade absorvida.
- ✓ Volume de ar respirado: diante de um esforço físico maior, maior será a necessidade de oxigênio nos pulmões com isso, e estando num ambiente contaminado maior será a quantidade respirada.
- ✓ Estado anatômico e funcional do aparelho respiratório: tudo que diminua as barreiras defensivas e naturais no sistema respiratório, tais como o tabagismo, infecções, etc, vem facilitar a absorção do produto.



Quadro 29 - Interior dos pulmões e o tamanho do particulado.

Fonte - MSD (2007), modificado.

4.1.1.2. Absorção pelo aparelho digestivo

De acordo com SSMT (1988, p. 21), o aparelho digestivo possui três funções fundamentais:

- A. Transportar os alimentos.
- B. Secretar sucos para facilitar a digestão.
- C. Absorver água, alimentos e eletrólitos, etc.

O chumbo chega ao aparelho digestivo através da ingestão de alimentos ou bebidas contaminados. As mãos sujas, o cigarro, as partículas deglutidas provenientes do aparelho respiratório são as principais maneiras de expor o metal ao organismo pelo aparelho digestivo (SSMT, 1988, p. 21). Entre os anos de 1960 e 1980, o tabaco presente nos cigarros com filtro, continha chumbo, sendo sua concentração de 2,4 µg/g de tabaco (WHO, 1995, p.70).

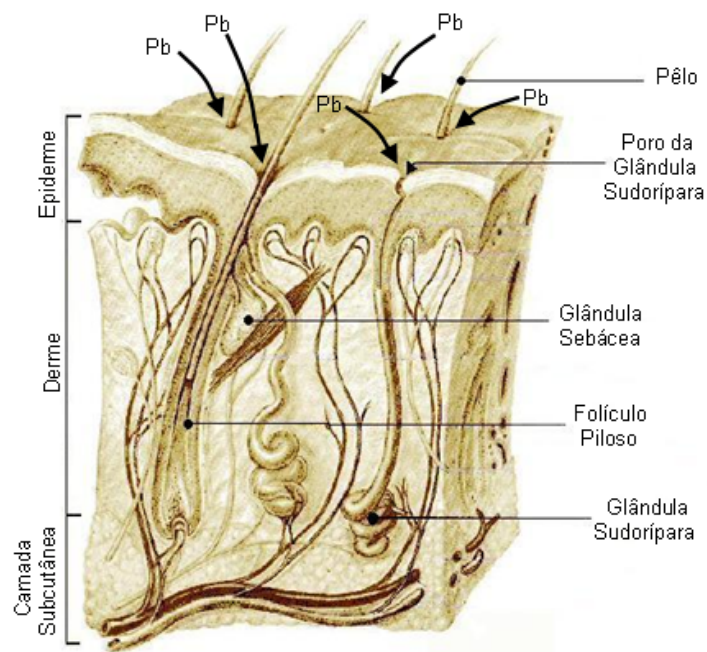
Segundo Fernandez e Roses apud Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 142), a absorção do chumbo é maior quando se encontra associado a líquidos como água e bebidas alcoólicas do que alimentos sólidos, em que uma parte importante estaria retida por outros componentes. Antonaz (1992, p. 13) completa ainda dizendo que o álcool acelera o processo de intoxicação pelo chumbo¹⁷.

Segundo SSMT (1988, p.22), cerca de 6 a 10% do chumbo ingerido é transferido para o sangue pela mucosa digestiva, o restante é eliminado pelas fezes. De acordo com Garhardsson e Skerfving apud Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 142), essa faixa de absorção via aparelho digestivo é maior que a citada por SSMT, chegando a variar de 4 a 21%. Antonaz (1992, p. 7) explica ainda que além da eliminação pelas fezes, o chumbo pode ser eliminado também pela urina e pelo suor. Segundo Delco Remy (1990b, p.9) a eliminação também pode ocorrer através dos cabelos e das unhas.

¹⁷ De acordo com a Australian Academy of Science apud Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 141), estudo identificou como sendo a cerveja a fonte de maior exposição ao chumbo na dieta de um homem adulto. Ela representa 14% do total de chumbo consumido, enquanto que os demais alimentos (vegetais, frutas e sucos de frutas) juntos representam de 50 a 70% do total. Para reforçar esta posição sobre a presença do chumbo na cerveja buscamos outros autores e outros artigos, mas nenhum outro foi encontrado.

4.1.1.3. Absorção pela pele

A penetração de substâncias pela pele é feita através das glândulas sebáceas, sudoríparas e folículos pilosos, e através destes atinge a corrente sanguínea (quadro 30). Mesmo estando em estado íntegro, a pele pode permitir a entrada de compostos orgânicos do chumbo em geral como o tetraetila e o tetrametila, porém se houver a presença de ferimentos, a absorção se torna mais facilitada (SSMT, 1988, p.22 e 23).



Quadro 30 - Vias de contaminação através da pele.

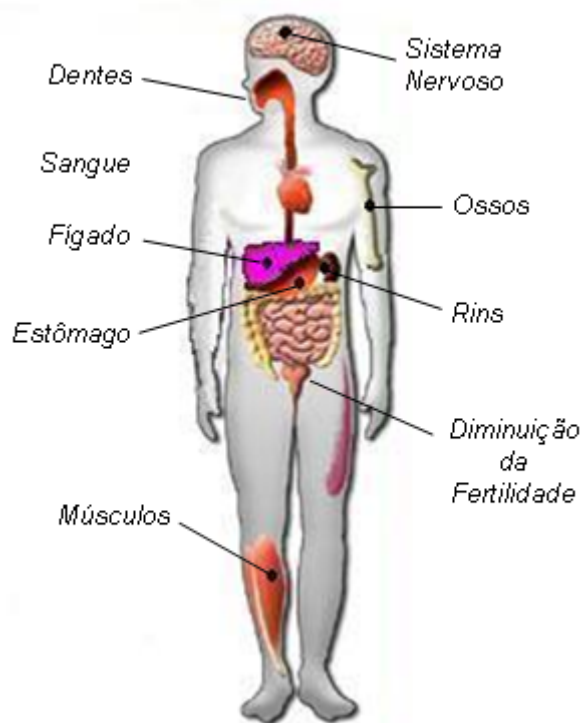
Fonte - Beltramini (2006, p.1), modificado de acordo com SSMT, 1988, p.22.

Segundo afirma Paoliello e Chasin (2001, p.113), a absorção através da pele para os compostos inorgânicos do chumbo é menos significativa quando comparada com a absorção pela via respiratória e oral.

4.1.2. Distribuição do chumbo no corpo humano

Após ser absorvido, o chumbo chega ao sangue e através dele se distribui pelo organismo de três maneiras: nos glóbulos vermelhos, fixado as proteínas e uma pequeníssima quantidade na forma livre. É através desta última forma que provoca alterações e danos ao organismo como diminuição da fertilidade, alterações neurológicas e outras (SSMT, 1988, p.25).

De acordo com WHO (1995, p.110), o chumbo não é distribuído de forma homogênea pelo corpo e permanece preferencialmente nos tecidos moles (sangue, fígado, rins e outros) e nos tecidos rígidos (ossos e dentes), como ilustrado no quadro 31. É nos ossos o local de maior acúmulo no corpo.



Quadro 31 - Distribuição do chumbo pelo organismo.

Fonte - SSMT (1988, p.25), modificado.

4.1.3. Acumulação do chumbo no corpo humano

O chumbo é rapidamente transferido da mãe para o bebê em desenvolvimento durante a gravidez e acumula nos ossos durante a gestação (Barltrop apud WHO, 1995, p.112). Segundo WHO (1995, p.112), a concentração de chumbo no sangue do cordão umbilical varia de 85 a 90% da concentração de chumbo existente no sangue da mãe.

Para cada um dos locais de acumulação, o chumbo possui diferente tempo de permanência, determinado aqui em tempo de meia-vida. No sangue é onde ocorre a maior chance de mudança de concentração, mesmo assim possui uma meia-vida de 36 dias. No tecido mole o chumbo possui uma meia-vida de 40 dias e nos ossos, onde se torna mais estável, possui uma meia-vida bastante longa, cerca de 27 anos (WHO, 1995 p.110).

Em adultos cerca de 94% da carga corpórea de chumbo está nos ossos, para as crianças essa carga é de 73% (BARRY apud WHO, 1995 p.111). Devido ao longo tempo de permanência nos ossos, e após cessar o tempo de exposição ao metal, os ossos podem passar a se tornar fonte de chumbo para outras regiões do organismo. Embora com o passar do tempo a concentração de chumbo nos ossos aumente, há evidências que em alguns deles este acúmulo se estabiliza na meia idade, passando a se reduzir com o avançar do tempo (WHO, 1995 p.111).

4.1.4. Eliminação do chumbo

Em qualquer dieta em que o chumbo não é absorvido pelo trato gastrintestinal, ele é excretado nas fezes. O chumbo proveniente do ar, não absorvido pelas vias aéreas e nem pelo aparelho digestivo, assim como aquele presente no sangue que também não é retido pelo organismo são eliminados pela urina ou pelas fezes. A quantidade eliminada nas fezes é alta quando avaliada numa dieta com consumo de chumbo na água (acetato de chumbo). Para um adulto, numa ingestão de 0,3 a 3,0 mg deste composto, por um período de 4 meses a 4 anos foi observado que cerca de 85% foi eliminado pelo organismo. Destes, cerca de 90% foi eliminado através das fezes (US

EPA apud WHO, 1995, p.113 e GARHARDSSON e SKERFUING apud ALBERTINI, OETTERER e PRADO FILHO, 1997, p. 143).

Rabinowitz et al. apud WHO (1995, p.113) explica que numa absorção a baixa concentração, como 140 a 215 µg/dia, e constante exposição, a excreção do chumbo pela via urinária foi na ordem de 70% do chumbo absorvido. Chamberlain apud WHO (1995, p.114) relatou que de todo chumbo absorvido pelo corpo, 60% é retido e 40% é eliminado por ele.

Conforme explica WHO (1995, p.114), a eliminação do chumbo pelo organismo em função da idade da pessoa, não tem sido estudada com muita profundidade. Porém são apresentados alguns dados provenientes de autores em que alguns avaliaram a sua eliminação em adultos e outros avaliaram a eliminação em crianças. Estes dados apresentam uma sensibilidade maior na criança do que no adulto com relação à retenção do metal, como mostrado na tabela 7.

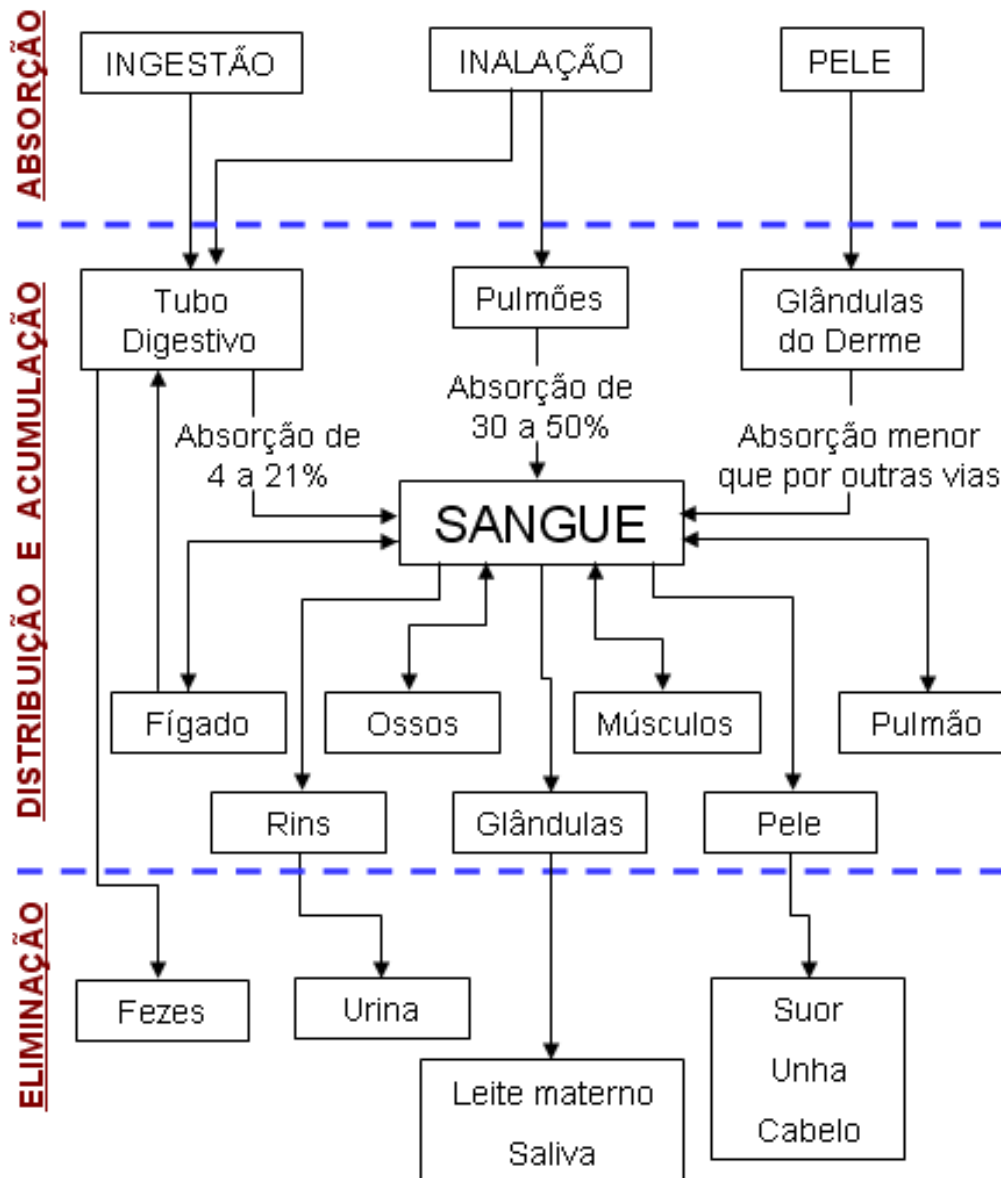
Tabela 7 - Absorção e eliminação do chumbo em adultos e crianças.

Parâmetro	Crianças	Adultos
Chumbo consumido na dieta (µg/Kg).	10,76	3,63
Fração absorvida.	0,55	0,15
Chumbo absorvido da dieta (µg/Kg).	5,92	0,54
Chumbo absorvido pelo ar (µg/Kg).	0,20	0,21
<i>Total absorvido (µg/Kg).</i>	<i>6,12</i>	<i>0,75</i>
Chumbo eliminado via urinária (µg/Kg).	1,00	0,47
Chumbo eliminado pelas fezes (µg/Kg).	1,56	0,24
<i>Total eliminado (µg/Kg).</i>	<i>2,56</i>	<i>0,71</i>
Chumbo Eliminado/ Absorvido.	0,42	0,92
<i>Fração consumida retida.</i>	<i>0,33</i>	<i>0,01</i>

Fonte - US EPA; Ziegler et al.; Rabinowitz et al. apud WHO (1995, p.113).

Além da eliminação pelas fezes e urina, em menor quantidade o chumbo também é eliminado pela bile, pelos cabelos, pelas unhas, pela saliva, pela mucosa bucal, pelo suor e pelo leite materno (SSMT, 1988, p.27). De acordo com Ong et al. apud Paoliello e Chasin (2001, p.115), a concentração de chumbo no leite materno varia de 10 a 30% do nível de chumbo materno.

No quadro 32 observa-se a circulação do chumbo no organismo, iniciando pelas vias de absorção, distribuição, acumulação até a eliminação das partículas não retidas no corpo.



Quadro 32 - Toxicocinética do chumbo no organismo.

Fonte - Preparado a partir de Delco Remy (1990b, p.9); Jost apud Paoliello e Chasin (2001, p.116); SSMT (1988, p.18 a 27); Garhardsson e Skerfuing apud Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 142).

4.2. Efeitos do chumbo ao organismo

“A intoxicação por chumbo pode ter conseqüências gravíssimas sobre a saúde do trabalhador, com efeitos que se refletem de forma intensa, não apenas sobre a sua capacidade de trabalho, mas sobre as suas possibilidades de vida” (ANTONAZ, 1992, p. 3).

4.2.1. Funções afetadas pelo chumbo no organismo humano

Segundo SSMT (1988, p. 27), estas são as funções no organismo em que o chumbo interfere:

- ✓ Altera a formação da hemoglobina dos glóbulos vermelhos, diminuindo o tempo de vida destes, facilitando o surgimento da anemia.
- ✓ Atua diretamente sobre o sistema nervoso.
- ✓ Afeta os rins de diversas formas, o que é crítico por este ser um órgão que participa da eliminação do tóxico.
- ✓ Afeta a musculatura involuntária, produzindo contração excessiva nas arteríolas, intestinos, útero, etc.

4.2.2. Sintomas causados pela intoxicação

De acordo com Antonaz (1992, p. 8), como diversos distúrbios causados pela intoxicação pelo chumbo são genéricos, isoladamente eles podem não representar intoxicação. Porém se esses sintomas forem freqüentes é necessário procurar auxílio médico para melhor avaliação. De modo geral os sintomas e danos podem ser assim classificados:

- ❖ No sangue: Anemia, danos no processo de reprodução do sangue e alteração no metabolismo do ferro.
- ❖ Nos ossos: Dor nas juntas e sensação de dor nos ossos.
- ❖ Nos rins: Endurecimento dos rins e retenção de urina.

- ❖ Na boca, estômago e intestino: Linha cinzenta sobre as gengivas, gastrite, cólicas muito fortes e prisão de ventre.
- ❖ No sistema nervoso: Irritação, insônia, descontrole nervoso, esquecimentos, falta de atenção, tremores e paralisia parcial.
- ❖ Na reprodução: Alterações no desempenho sexual, impotência.
- ❖ Outros sintomas: Falta de apetite, palidez, dor de cabeça, pressão alta, surdez, cansaço e fraqueza generalizada.
- ❖ Em casos muito graves: Dor de cabeça insuportável, paralisia, convulsões, delírio e morte.
- ❖ Efeitos específicos sobre as mulheres: Esterilidade, abortos, partos prematuros, alterações do ciclo menstrual e do ciclo ovulatório e alterações cromossômicas mesmo para exposição ao chumbo em baixas concentrações.

4.2.3. O chumbo e o câncer

A American Cancer Society – ACS (2007) considera que não é forte a evidência de que o chumbo causa câncer e apresenta estudos conduzidos por Steenland e Boffetta em trabalhadores expostos ao chumbo, avaliando os resultados aplicados para diversos tipos de câncer. Para o câncer de pulmão notou-se que houve incidência 30% maior no grupo de trabalhadores expostos, porém esse número poderia estar relacionado com o Arsênio, potencial causador de câncer, existente nas fábricas. Para o câncer de estômago, o estudo não mostrou evidência no grupo de trabalhadores avaliados, mas análises com a população mostraram maior incidência naqueles indivíduos que tiveram alta exposição ao produto. Estudo conduzido na Finlândia identificou que para o grupo de pacientes com câncer de cérebro a parcela das pessoas com alta dosagem de chumbo no sangue era maior do que a do grupo sem a doença. Nos Estados Unidos num levantamento feito em atestados de óbito revelou que no grupo das pessoas falecidas por este tipo de câncer, a quantidade das pessoas que tiveram exposição ao chumbo foi duas vezes

maior do que comparado ao grupo das pessoas que faleceram por outras causas. O câncer de rim é o que está mais diretamente ligado a exposição ao chumbo em animais, porém no grupo de trabalhadores acompanhados não houve evidência do aumento no risco de sua ocorrência. Para o câncer de colo e reto, foi evidenciada uma ocorrência quatro vezes maior em trabalhadores da indústria de manufatura do chumbo tetraetila do que em pessoas não expostas.

O National Toxicological Program apud ACS (2007) avalia que a exposição ao chumbo deva ser cancerígena e classifica a exposição ao acetato de chumbo e ao fosfato de chumbo como “previsível e razoável cancerígeno humano”. O International Agency for Research on Cancer – IARC apud ACS (2007) classifica uma exposição, que pode se tornar cancerígena, em quatro grupos. Inicia-se no grupo 1, que representa as substâncias que são conhecidas como sendo cancerígenas para os humanos, até o grupo 4, que é representado pelas substâncias que provavelmente não são cancerígenas. Diante desses grupos, enquadra o chumbo como sendo: provável cancerígeno humano (grupo 2A).

Os estudos em seres humanos não são conclusivos sobre a relação da contaminação por chumbo e a incidência de câncer. Foram conduzidos quatro grandes estudos a respeito dessa relação. Dois deles não encontraram nenhuma evidência sobre casos de câncer e a exposição ao chumbo, outro encontrou um aumento na incidência de câncer nos rins e no sistema respiratório e o último encontrou uma incidência maior de câncer de estômago e pulmão. Porém tais resultados são limitados e não devem ser considerados, pois, tanto a rota de exposição como os níveis de chumbo, aos quais os trabalhadores foram expostos, não foram reportados. Sendo assim o chumbo é considerado como: provável cancerígeno humano. EPA - Environmental Protection Agency (2000).

4.2.4. O chumbo e a audição

Jacob, Alvarenga e Morata (2002) levantam o risco potencial da exposição ocupacional ao chumbo para o sistema auditivo. Segundo eles existem diversos agentes presentes no ambiente, além do ruído, que podem ser nocivos à saúde auditiva do trabalhador. O chumbo é um desses agentes e seus efeitos vêm sendo

investigados por pesquisadores. Citam estudos realizados em trabalhadores expostos ao chumbo que tiveram correlacionados: níveis de chumbo no sangue, nível de ruído, concentração de chumbo no ar, nível de ruído no local de trabalho e os limiares auditivos além de entrevistas para se obter dados demográficos e história ocupacional. Através de análise estatística de todas essas variáveis, foi evidenciada uma correlação existente entre índices de exposição crônica elevada e limiares auditivos.

4.2.5. O Saturnismo

Segundo Reichert e d'Ávilla (1990, p. 42), o termo Saturnismo vem da Astrologia, seria a influência de Saturno. Aurélio (2004, p.1814) define Saturnismo como sendo um “envenenamento agudo ou crônico produzido pelo chumbo ou por algum de seus compostos”. Larini e Salgado apud Albertini, Oetterer e Prado Filho (1997, p. 144) definem Saturnismo ou Plumbismo como sendo uma moléstia decorrente da intoxicação pelo chumbo a longo prazo. SSMT (1988, p.28) define também como sendo intoxicação causada pelo chumbo ao organismo e explica que pode ocorrer de duas formas:

Aguda: Não ocorre com freqüência. Ocorre acidentalmente. Normalmente não ocorre no local de trabalho.

Crônica: É mais freqüente. Fundamentalmente por exposição profissional, denominada: saturnismo profissional.

4.2.6. Tratamento do saturnismo

O diagnóstico da contaminação por chumbo é feito através de exame clínico e dosagem de chumbo no sangue, urina ou até mesmo no cabelo. Os exames clínicos e laboratoriais devem ser avaliados em conjunto. Às vezes trabalhadores com níveis de chumbo baixos no sangue podem apresentar um quadro clínico relativamente crítico e vice-versa (ANTONAZ, 1992, p. 11).

De acordo com Buschinelli (1990, p. 44), uma vez detectado nível alto de plumbemia a pessoa deve ser afastada da área de exposição e seu índice acompanhado frequentemente até atingir valores aceitáveis. Para valores acima do máximo

permitido (60 µg/100ml de sangue), a pessoa deve ser afastada da área de exposição e encaminhada para tratamento em locais especializados, com acompanhamento clínico rigoroso. A FUNDACENTRO considera antiético e imoral a utilização de medicação quelante por parte das empresas que possuam trabalhadores nestas condições de contaminação.

Segundo Buschinelli (2008), o uso do quelante (EDTACa₂Na₄) oferece riscos e por isso deve ser ministrado em dosagens muito precisas, e, o paciente ser assistido preferencialmente em ambiente hospitalar. Devido aos riscos, ao invés de utilizar o medicamento, os médicos preferem deixar a pessoa excretar naturalmente o metal do organismo, o que leva meses. A consideração de ser antiético e imoral o uso do quelante pelas empresas parte do princípio que poderiam utilizar dosagens acima do necessário com o objetivo de apressar a alta do funcionário e o retorno ao trabalho. Não oferecendo a medicação em ambiente hospitalar, poderiam não seguir corretamente a prescrição ao ministrar o medicamento, o que é muito crítico para a aplicação deste produto. No momento da alta, poderiam não valorizar os danos aos rins, o que levaria a necessidade de auxílio acidente e mudança de função do funcionário no trabalho.

O efeito da intoxicação por chumbo é do tipo lento e cumulativo. Os profissionais expostos a este metal, quando não protegidos por sistemas de proteção coletiva e equipamentos de proteção individual, sofrem com danos graves causados a saúde. Quando a doença profissional é detectada a tempo, com tratamento correto os danos podem ser reversíveis. Porém, diante das dificuldades em se detectar, as seqüelas podem ser definitivas caso o trabalhador não seja tratado em tempo hábil (BUSCHINELLI, 1990, p.44).

4.2.7. Índice de tolerância

Em Brasil (2006, p. 85) são apresentados, através da NR-7 que trata do Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional, os parâmetros para controle biológico da exposição a alguns agentes químicos. A tabela 8 apresenta esses parâmetros para o Chumbo Inorgânico.

Tabela 8 - Parâmetros para controle biológico do chumbo.

Agente Químico	Indicador Biológico		Valor de referência (VR)	Índice Biológico Máximo Permitido (IBMP)
	Material Biológico	Análise		
Chumbo Inorgânico	Sangue	Chumbo	até 40 µg/100ml	60 µg/100ml
	Urina	Ácido delta amino levulínico	até 4,5 mg/g	10 mg/g

Fonte - Brasil (2006, p.85), modificado.

O valor de referência (VR) é um valor possível de ser encontrado em populações não expostas ocupacionalmente, mas serve como atenção para uma contaminação. Já o Índice Biológico Máximo Permitido (IBMP) é o valor máximo em que se supõe que a maioria das pessoas ocupacionalmente expostas não correm riscos de danos a saúde (BRASIL, 2006, p.84).

Na tabela 9 são apresentados níveis de chumbo no sangue praticados por alguns países. No Brasil utiliza-se nível um pouco mais apertado do que a média dos valores aplicados entre esses países, porém, mostra que existe oportunidade para se praticar um valor mais apertado do que aquele usado atualmente.

Segundo OSHA apud Luckhaupt (2004, p. 28), nos Estados Unidos, o empregado deve ser removido do local do trabalho quando o índice de chumbo em uma amostra de sangue for igual ou superior a 60 µg/100ml ou se na média¹⁸ o índice for igual ou superior a 50 µg/100ml. O empregado pode retornar ao local de trabalho quando o nível de chumbo for igual ou inferior a 40 µg/100ml.

Conforme explica Reichert e d'Ávilla (1990, p. 42 e 47), a intoxicação por chumbo no Brasil é alarmante e, em termos de prevenção, ainda há muito para ser feito. Nas

¹⁸ Valor referente à média das últimas três amostras de sangue coletadas ou a média das amostras coletadas nos últimos seis meses, a qual ocorrer primeiro (OSHA, 2008).

fábricas e reformadoras de baterias (quadro 33), muitas vezes é comum ser ultrapassado o índice de tolerância em até 50 vezes¹⁹.



Quadro 33 - Reformadora de bateria, pouca proteção ao trabalhador.

Fonte - Reichert e d'Ávilla (1990, p. 47).

Quando a exposição é maior do que cinco anos o trabalhador é um sério candidato a ter seqüelas irreversíveis no rim. Além disso, toda a sua família pode ser intoxicada através da sua roupa de trabalho, caso essa seja levada para casa e lavada junto com o restante das roupas da família. As crianças, quando intoxicadas, podem ter convulsões e seqüelas mentais da maior gravidade. O grande problema do saturnismo é a dificuldade na sua identificação. Este tipo de intoxicação é lenta e cumulativa sendo que o afastamento do trabalho reduz os sintomas, mas o chumbo continua acumulado no organismo. O retorno ao trabalho agrava novamente o problema. Quando a doença é tratada a tempo, o trabalhador é curado sem seqüelas (BUSCHINELLI, 1990, p.44).

O Anexo N° 11 da NR-15, apresenta o limite de tolerância para uma exposição para o chumbo presente no ar, em jornada de trabalho de até 48 horas semanais, como sendo 100 µg/m³ (BRASIL, 2006, p.199). A concentração de chumbo no ar deve ser mantida abaixo desse limite, porém muitos esforços são necessários para que

¹⁹ No quadro 33 fica evidenciada a falta de cuidado no ambiente de trabalho. Nota-se a ausência de exaustão e de equipamento de proteção para o trabalhador como máscara e óculos de proteção, para o manuseio do chumbo.

usando-se de diversas técnicas e procedimentos seja alcançado esse objetivo (CAMPOS, 2003).

Segundo CDC (2007, p.17), em 1978, o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) determinou que o limite de exposição para o chumbo no ar nos Estados Unidos seria de 100 µg/m³. Porém, entendendo que o teor não era suficiente para a proteção do trabalhador, no ano 2000 estabeleceu o teor de 50 µg/m³ como sendo o novo limite a ser alcançado.

A tabela 9 mostra limites para o nível de chumbo no ar em ambiente de trabalho e no sangue, adotado por alguns países no mundo. O Brasil adota valor inferior a média destes países apresentados, mas é superior a alguns países que praticam limites bem mais baixo.

Tabela 9 - Limite para exposição do chumbo no ar e no sangue por país.

País	Limite no ar para chumbo num ambiente de trabalho. (µg/m ³)	Limite para nível de chumbo no sangue. (µg/100ml)
África do Sul	150	80
Alemanha	100	70
Austrália	200	50
Bélgica	200	50
Brasil	100	60
Dinamarca	100	50
Espanha	150	70
Estados Unidos	50	50
Grécia	150	70
Holanda	100	60
Irlanda	150	70
Israel	100	60
Itália	150	70
Japão	100	60
Marrocos	200	60
Noruega	50	60
Peru	200	60
Reino Unido	150	70
Suécia	100	50
Tailândia	200	70
Média	137	62

Fonte - Okinternational (2006), modificado.

4.2.8. Medidas de redução da contaminação

Segundo SSTM (1988, p. 38), quando não se pode atuar sobre o foco ou as medidas adotadas sejam insuficientes para diminuir a contaminação ambiental até níveis seguros, é necessário adotar medidas higiênicas do tipo pessoal e ambiental, tais como:

- Fornecer ao trabalhador roupa que deve ser de fibra que não retenham pó, evitando em sua confecção as pregas e bolsos.
- A empresa deve encarregar-se da lavagem da roupa de trabalho e fornecer dois tipos de armários, um para a roupa de trabalho e outro para a de passeio;
- A limpeza do maquinário, das ferramentas, do piso, teto, etc é de fundamental importância para evitar que se acumule pó;
- Deve-se evitar o transporte do contaminante de uma área para outra;
- Evitar as correntes de ar no interior do local exposto ao contaminante para que este não circule pelo ar onde estão os trabalhadores;
- Manter em bom estado, os equipamentos de ventilação e exaustão;
- O trabalhador deve receber sempre treinamentos e informações sobre o perigo da exposição do chumbo à sua saúde e as medidas de segurança e higiene a serem tomadas;
- Mudar constantemente o trabalhador entre os postos de trabalho que oferecem maior exposição e os de menor exposição;
- Observar as medidas higiênicas pelos operadores como não fumar, beber ou ingerir alimentos em lugares onde se manipula o chumbo e seus compostos;
- Utilizar equipamentos de proteção como máscaras em locais em que a presença do pó de chumbo no ar é iminente;

- Após jornada de trabalho em contato com o chumbo o trabalhador deve tomar banho para evitar, além da exposição à pele, levar para casa e contaminar também os familiares;
- A separação do local de trabalho é obrigatória para mulheres em períodos de gestação ou lactância;

É importante o controle médico preventivo do nível de chumbo no organismo do trabalhador. Isto está previsto em Portaria do Ministério do Trabalho que indica que todos os trabalhadores devam passar por avaliação de sangue ou urina, ambas realizadas sob supervisão médica (SSTM, 1988, p. 42).

4.3. Revisão de casos brasileiros de intoxicação

Segundo Kirjner et al (1990, p. 8), a primeira intoxicação profissional por chumbo que se tem notícia, foi descrita por Hipócrates em 370 a.C. No Brasil o primeiro relato ocorreu em 1880 e a partir de então outros se iniciaram. Primeiras publicações:

- a) Em 1880, a publicação da tese de Eduardo Feliciano Castilho, realizada na Bahia, marca o início dos estudos sobre intoxicação profissional por chumbo no Brasil.
- b) Em 1906, Azevedo publica sua tese sobre “Águas Potáveis e o Encanamento de Chumbo” (memória histórica do Saturnismo do Recife).
- c) Em 1943, Bueno e Cunha publicaram estudo sobre intoxicação por chumbo na usina de Apiaí em São Paulo, em que são descritos alguns casos típicos de intoxicação crônica pelo metal.
- d) Em 1948, Barreto et al., publicam estudo sobre o risco de intoxicação profissional por chumbo em indústria gráfica.
- e) Em 1953, Fonseca publica estudo sobre Higiene do Trabalho realizado em indústria de Acumuladores Elétricos.

4.3.1. Casos de intoxicação ocorridos no Brasil

Alguns casos relevantes sobre intoxicação por chumbo notificados no Brasil:

1) Intoxicação familiar em Taubaté – SP.

Segundo Silva et al. (1977, p.23 a 26), um acidente com chumbo, ocorrido em uma fábrica pequena, no ano de 1977, levou a óbito um menor de dois anos vítima da contaminação. A família morava em um rancho de dois cômodos ao lado da fábrica, sem qualquer separação de ambientes, permitindo o livre acesso das crianças. O local de fabricação era bastante carente nos aspectos de segurança do trabalho, sendo a iluminação natural razoável e a ventilação natural insuficiente para afastar o perigo da grande quantidade de poeira de chumbo espalhada por toda parte. O óxido de chumbo era armazenado em latas abertas, depositadas no chão. O óxido tem sabor “adocicado”, o que deve ter facilitado sua ingestão pelo menor, que foi apanhado pela mãe com a boca suja do referido pó. O menino deu entrada no Hospital com náuseas, vômitos e diarreia passando a ter crises convulsivas. Dois dias após internação veio ao óbito, após duas paradas cardíacas. Isto ocorreu antes mesmo de receber medicação específica para chumbo, uma vez que esta medicação vinha de outra cidade. Os outros indivíduos expostos (pai, mãe, irmão e outro funcionário) apresentavam grau variado de intoxicação crônica pelo chumbo.

2) Intoxicação em trabalhadores de empresas que comercializam baterias em Ribeirão Preto – SP.

De acordo com Caliento (1992, p.43 e 44), estudo feito para se avaliar a saúde dos trabalhadores em empresas de Ribeirão Preto que além da comercialização realizam desmontagem e montagem de baterias, atividade esta que mantém os trabalhadores em contato permanente com o chumbo. Foram cadastradas 60 empresas que foram vistoriadas por Agentes de Inspeção do Ministério do Trabalho (Médicos do Trabalho e Engenheiros de Segurança). Após vistoria constatou-se que 23 empresas, além da comercialização, realizavam a recuperação de baterias (desmonte e montagem). Dessas 23 empresas foram separados os 59 funcionários para serem submetidos a exames clínicos e laboratoriais. Através de exames foram identificados que destes, 24 (40,7%) estavam com índices de chumbo no sangue acima dos valores

permitidos pela legislação, sendo esses casos catalogados como intoxicação crônica, Saturnismo. Receberam orientação médica sobre a intoxicação e foram afastados do trabalho. O tempo de exposição de cada trabalhador foi muito variado e não mostrou relação proporcional com o chumbo no sangue. Com o afastamento do trabalho, foi observada uma diminuição da taxa de Pb sanguíneo, em quase todos os casos após 90 dias. Estes trabalhadores continuaram a ser acompanhados e receberam toda orientação médica, trabalhista, previdenciária, social, etc. As empresas em que trabalhavam receberam instruções para emissão da Comunicação de Acidente de Trabalho (CAT). Ações de monitoração ambiental foram recomendadas e os Agentes de Inspeção foram postos a campo para acompanhamento destas empresas.

3) Contaminação de Trabalhadores de Minas de Extração de Fundição de Chumbo.

Foi realizado estudo para se analisar o grau de intoxicação por chumbo em duas empresas que utilizam o chumbo como matéria prima, em duas regiões no Estado da Bahia. Estudo estatístico foi conduzido visando a ter maior confiabilidade na avaliação dos dados coletados das populações de trabalhadores. Na indústria de mineração foram escolhidos aleatoriamente 52 trabalhadores e na indústria de fundição 57 empregados. Juntamente com esta amostra de trabalhadores, foram também escolhidas algumas pessoas da população, que não trabalhavam nestas indústrias, para formarem a população de controle que serviram de comparação durante o estudo. Como resultado, foi constatado que os trabalhadores da indústria de mineração do chumbo, não apresentam índice de alteração no teor de chumbo no sangue quando foi comparado com a população não exposta, indicando que esta atividade é de baixo risco de contaminação. Já na indústria de fundição do chumbo, tomando-se como base o teor de chumbo no sangue, foram encontrados cerca de 82% dos trabalhadores com teores acima do máximo aceitável. Como resultado considera-se de elevado risco de intoxicação por chumbo a exposição que ocorre em indústria de fundição deste metal (MENDES, 1975, p. 8 a 49).

4) Intoxicação por Chumbo no Estado do Rio Grande do Sul entre Julho de 1985 a Junho de 1990.

A partir de 1980 surgiram notificações esporádicas de intoxicações profissionais por chumbo no R. G. do Sul. Neste ano de 1980, devido a reclamações de vizinhos, foi realizado o primeiro estudo sobre intoxicação por chumbo numa indústria de chumbo de caça em Porto Alegre. No período de 1981/1982, continuaram as notificações de intoxicações profissionais por chumbo, cujas internações ocorriam no Hospital Conceição de Porto Alegre. Em 1983, a empresa SUMESA teve um grande número de seus trabalhadores intoxicados por chumbo. Isto motivou estudo em que foi detectado que 90% dos trabalhadores da fundição de chumbo na empresa estavam intoxicados. A empresa importou, na ocasião, medicamento específico para auxiliar no tratamento. Diante deste resultado, discutiu-se o fechamento da empresa naquele ano de 1983, porém sendo metalúrgica, foi considerada como empresa do setor estratégico, baseada nas cláusulas da “Lei de Segurança Nacional²⁰” em vigor naquela data. Foi solicitada a empresa que emitisse CAT para esses trabalhadores. No período principal do estudo que foi de Julho de 1985 a Junho de 1990, foram investigados 147 trabalhadores sendo que destes 118 apresentaram intoxicação por chumbo. Do total de 147 trabalhadores, 129 eram provenientes de indústria de fabricação de Bateria e destes 107 estavam contaminados. Neste estudo ficaram evidenciadas as precárias condições nos ambientes de trabalho nestas indústrias de fundição de chumbo e fabricação de baterias (KIRJNER et al., 1990, p. 27 a 40).

5) Avaliação da intoxicação por chumbo em indústrias de acumuladores elétricos em Belo Horizonte.

A Delegacia Regional do Trabalho de Minas Gerais realizou, por meio de médicos do trabalho, um levantamento em 40 indústrias de reforma ou fabricação de acumuladores elétricos, em Belo Horizonte no ano de 1986. Este trabalho foi dirigido para o Chumbo, pelo motivo de ser o responsável por uma das intoxicações profissionais de maior incidência principalmente neste tipo de indústria que é a de acumuladores elétricos. A partir de dados laboratoriais coletados de um total de 154 trabalhadores, foi constatado que 52% estavam intoxicados. Avaliando os locais de trabalho, foram encontradas situações de desinformação total quanto ao perigo da

poeira de chumbo a saúde. Situações básicas como higiene pessoal e industrial, conscientização dos trabalhadores e instalação de equipamentos de proteção coletiva ou individual não eram priorizadas nestes trabalhos e estavam diretamente relacionadas com as intoxicações encontradas (ROCHA e HORTA, 1987, p. 6 a 12).

6) O Controle do Surto Epidêmico de Saturnismo em Franca.

No mês de Maio de 1982, foi detectado um surto de Saturnismo em Franca. Uma equipe foi montada para trabalhar na determinação da causa da contaminação deste grupo de trabalhadores que chegava a 120 indivíduos. Estes operários eram da indústria de calçados e partindo-se desta informação e após pesquisa, chegou-se a conclusão que a contaminação estava partindo das tachinhas usadas no processo de montagem dos calçados. Diante de análise do material das tachinhas, foi observado um alto teor de chumbo na sua composição. A contaminação se dava por via digestiva, pois no processo de trabalho o operário colocava a tachinha na boca antes de utilizá-la no calçado. Esta contaminação ficou conhecida como a “Doença das Tachinhas”. Foi informado o fornecedor deste produto e as tachinhas contaminadas foram devolvidas. Os trabalhadores foram medicados e orientados sobre a contaminação, sendo de qualquer maneira, necessária a mudança de hábito de trabalho no que se refere a colocação da tachinha na boca antes do seu uso (MORRONE, 1982, p.6).

7) Níveis de Plumbemia de um grupo populacional e animais de propriedades vizinhas à indústria Tonolli em Jacareí–SP.

Em 1988 a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) havia sido acionada devido à morte de gado bovino, no Sítio Sol da Mata, próximo a indústria Tonolli localizada próxima a Rodovia D. Pedro I no município de Jacareí (SP) em funcionamento desde 1977, atribuída à contaminação da pastagem por chumbo proveniente da Tonolli. A atividade desta indústria estava relacionada com recuperação de sucata de chumbo para produção de ligas e lingotes²¹. Em 1989 foram analisadas amostras da população e detectados valores acima do normal de chumbo presente no sangue das crianças. Na época também foram analisados: solo, água, peixes e capim do sítio, sendo encontrados valores altos de chumbo. A

²⁰ A lei de segurança nacional vigorou até dezembro de 1983.

CETESB exigiu, sob pena de interdição da fábrica, a instalação de equipamentos de controle, no entanto a indústria esteve paralisada por várias vezes devido à falta de matéria prima, abrindo concordata em 1993. Por solicitação da Diretoria de Controle do Interior da CETESB, o Setor de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental (NPPA) avaliou novamente o grau de exposição da população e de animais ao redor da indústria Tonolli. Foram analisadas amostras de sangue, para determinação da contaminação por chumbo, de 23 pessoas (adultos e crianças) e 17 animais (vacas, bezerros, bois e equino). Os resultados concluíram que na população humana (adultos e crianças) não havia contaminação. Porém na população de animais os resultados mostraram contaminação por chumbo. Valores mais altos foram encontrados naqueles que estavam em áreas distantes a 300 metros da indústria e valores menores foram encontrados em animais de propriedades distantes a 400 e a 600 metros da indústria. A contaminação dos animais se dá através da pastagem, onde o chumbo se apresenta depositado, e através da água e do ar contaminados. Entende-se que mesmo após 6 anos de controle da fonte de contaminação, o ambiente ainda apresenta níveis altos de chumbo. Portanto deve-se realizar controle dos produtos desses locais para o consumo humano (leite, carne e produtos agrícolas) uma vez que foram constatados níveis altos de chumbo nos animais (KUNO, HUMAYTÁ e OLIVEIRA FILHA, 1995, p. 1 a 16).

8) Intoxicação por Chumbo em atividade de instrução de tiro em Minas Gerais.

Um estudo de caso mostrou a intoxicação por chumbo ocorrida com um instrutor de tiro que trabalhava nesta função por 4,5 anos. Neste tempo foi internado por 3 vezes com sintomas típicos da doença, mas a intoxicação por chumbo só foi identificada nesta última internação quando foi submetido a exames apropriados para avaliar o chumbo no sangue. Valores encontrados nesta análise indicaram a contaminação por chumbo. Este instrutor trabalhava 10 horas por dia em salão fechado, sem ventilação natural. O chão do salão era coberto de brita que acumulava grande quantidade de carcaça de chumbo dos projéteis utilizados, os quais eram recolhidos posteriormente e vendidos para reciclagem. Ele também fazia a montagem dos cartuchos dos projéteis das espingardas uma ou duas vezes por semana durante 50 minutos, sendo que esta operação era realizada em local também sem ventilação.

²¹ Lingotes são barras de chumbo oriundas do processo de fundição.

Esta operação liberava poeira proveniente dos grânulos de chumbo. Diversas vezes foi necessário selecionar os grânulos devido a problemas de qualidade que às vezes se apresentavam, aumentando a exposição à poeira contida neles. Era também realizada limpeza nas armas, operação também que o colocava em contato com a poeira de chumbo, pois não utilizava máscara nem luva. Fazia exames periódicos para avaliar a saúde, mas nunca foi avaliado o teor de chumbo no sangue. Após o diagnóstico, foi afastado do trabalho e tratado com medicamentos. Foi emitida a CAT, pelo Ambulatório de Doenças Profissionais do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais, diante da recusa do médico do trabalho da empresa em registrar tal documento (SILVEIRA e FERREIRA, 2003, p. 74 a 76).

9) FUNDACENTRO avalia riscos em empresas de acumuladores elétricos em Bauru.

Em avaliação técnica feita pela FUNDACENTRO na empresa Ajax, em Bauru (SP), no ano de 1986, constatou-se uma situação classificada como risco grave e iminente devido às condições encontradas, e o risco oferecido a saúde do trabalhador. Foi identificado que o potencial de intoxicação pelo chumbo estava presente em quase todas as etapas de fabricação. Foi feita avaliação da presença do pó de chumbo no ar e encontrado níveis acima do permitido. Nos últimos 6 meses daquele ano, cerca de 70 trabalhadores (10% do total da fábrica) foram afastados de suas atividades devido ao diagnóstico médico que indicava saturnismo. Um processo de fiscalização das condições de trabalho nessa empresa já havia se iniciado no mês de julho de 1985 com notificação da Secretaria de Relações do Trabalho recomendando à empresa exames biológicos em 267 trabalhadores. Após a morte de um funcionário (cujo laudo não evidenciou ter sido morte causada pela contaminação) aumentou-se a fiscalização e com ela a confirmação de ter elevado o nível de exposição e contaminação junto aos trabalhadores. Na época foram levantadas muitas oportunidades de melhorias no processo produtivo e foi solicitado à empresa as devidas correções como nos sistemas de ventilação e filtragem do pó presente no ar da fábrica (FUNDACENTRO, 1987, p. 12 e 13).

10) Intoxicação por Chumbo e saúde infantil: ações intersetoriais para o enfrentamento da questão.

Em função da emissão de particulados de chumbo no ar, a CETESB interditou em Janeiro de 2002, a indústria de acumuladores elétricos em Bauru, mesma do item anterior. A fábrica estava em funcionamento desde 1958 em área periférica do município. Foi elaborado um plano para verificar as fontes de exposição ao chumbo, a exposição humana e ambiental desse metal. Optou-se por estudar as crianças, consideradas em grupo de maior risco. Para efeito de estudo comparativo foram avaliadas crianças de um grupo exposto (27 crianças) e também de um grupo não exposto (31 crianças) à região da fábrica. O teor de chumbo no grupo de crianças expostas foi superior ao do grupo comparativo. Isso chamou a atenção e a necessidade de se aprofundar os estudos nessa população. Foi definido um raio de 1000 metros da fábrica e avaliadas 857 crianças. Dessas, 314 (37%) foram identificadas com níveis elevados de chumbo no sangue; 23 crianças com valores muito acima do aceitável realizaram exames complementares para se avaliar alterações neurológicas e foram internadas para tratamento e acompanhamento. Em diversos meses do ano de 2002 foram coletadas amostras de alimentos cultivados nesta área, sendo encontrada contaminação em diversos produtos como: ovos, hortelã, leite, mandioca, etc. Foi estabelecido um programa de trabalho visando a eliminar o contaminante da região através de asfaltamento de ruas de terra, remoção de camada de terra contaminada, limpeza de casas, etc. Estes trabalhos ocorreram entre Novembro de 2002 e Janeiro de 2003. A empresa, com a supervisão da CETESB, deverá continuar com ações de descontaminação para tornar a área habitada sem intercorrências futuras. A empresa continua interditada (PADULA et al., 2006, p. 163 a 170).

11) Contaminação por Chumbo no estado da Bahia.

Santo Amaro da Purificação, cidade localizada no estado da Bahia, possui um triste *record*, é considerada, segundo a conclusão de pesquisadores da Universidade Federal da Bahia - UFBA, como sendo a cidade com a maior contaminação por chumbo do mundo. Até hoje 271 pessoas já morreram devido a contaminação pelo metal, todas elas trabalhavam na mineradora "Plumbum" que chegou a ser a maior do país em beneficiamento de chumbo. A empresa se instalou no local em 1960 e

no auge da produção chegou a ter 2.200 funcionários, parando de funcionar em 1993. Ao redor da empresa ficaram estocadas, por mais de uma década, cerca de quinhentas toneladas de escória proveniente do processo produtivo da mineradora. Parte dessa escória na época foi doada para a prefeitura, que a utilizava como produto para pavimentação, como ocorreu no Bairro de Sacramento onde todas as ruas foram pavimentadas com esse resíduo tóxico proveniente da fábrica. Atualmente essas ruas receberam calçamento, mas é só abrir algum buraco no calçamento que é possível observar a camada de escória cerca de 20 centímetro abaixo da superfície (FANTÁSTICO, 2007).

Muitas pessoas levaram a escória para suas casas utilizando-a como aterro. Crianças brincavam com o material como se brincassem com terra e muitas se contaminaram. Os sintomas relatados por elas são: dores de cabeça, dores nas mãos e sangramento pelas narinas. Segundo pesquisadores da UFBA, na população infantil foi notado, através de acompanhamentos feitos em vários momentos do tempo, redução da hemoglobina, que é a anemia e alteração da síntese do sangue. Já nas mulheres foi notado alteração do patrimônio genético. Em uma família todos os filhos (no total de quatro) e o marido faleceram, todos trabalhavam na empresa. A viúva descobriu que também se encontra contaminada, o que ocorreu pelo fato de lavar a roupa de trabalho dos filhos e do marido (FANTÁSTICO, 2007).

Segundo os pesquisadores, a fábrica tentou esconder os riscos da contaminação, forjando um limite de chumbo de $80\mu\text{g}/100\text{ml}$ de sangue, como sendo um nível aceitável. Segundo os mesmos pesquisadores o nível tolerável de chumbo no organismo é zero (FANTÁSTICO, 2007). Porém é apresentado, através da NR-7, que o índice biológico máximo permitido de chumbo é de $60\mu\text{g}/100\text{ml}$ de sangue (BRASIL, 2006, p.85).

Quando se instalou, a empresa era controlada por empresários franceses que abriram outra fábrica na cidade de Adrianópolis no estado do Paraná. Antes de fechar foi vendida para o grupo Trevo, estabelecido no sul do país. O grupo está sendo investigado pelo Ministério Público Federal, sendo que na justiça do trabalho existem cerca de 1.000 processos por danos à saúde que aguardam julgamento há 13 anos (FANTÁSTICO, 2007).

12) Risco de contaminação e intoxicação de trabalhadores através da inalação de fumos metálicos de chumbo, originados no processo fabricação de jóias em Limeira.

Através da inspeção realizada pelo CEREST (centro de referência de saúde do trabalhador) de Piracicaba, em empresas de produção artesanal de jóias em Limeira, foi evidenciada uma situação de risco grave e iminente aos trabalhadores, ocasionada pela inalação de fumos metálicos originados no processo de fusão, moldagem e solda de peças de chumbo em ambiente aberto e sem monitoramento da exposição ambiental. No processo de fusão, quando o chumbo atinge temperatura de 500°C, ocorre a evaporação de substâncias tóxicas, as quais entram no corpo através das vias respiratórias e se distribuem no organismo por meio do sangue. O local estava desprovido de medidas de proteção coletiva ou individual e não era realizada avaliação dos indicadores biológicos (exames de sangue e urina) podendo já haver contaminação cumulativa no organismo dos trabalhadores. Foi sugerida a adoção de coleta de sangue através do CEREST em conjunto com o Programa de Saúde do Trabalhador de Limeira para monitorar os indicadores biológicos de exposição. Além do risco de contaminação e intoxicação do trabalhador, outros riscos estavam presentes naqueles locais como amputação e esmagamento em prensas desprotegidas, explosão de botijão de gás, choque elétrico através de tomadas improvisadas, exposição de trabalhador menor de 18 anos em local de alto risco, contaminação ambiental por meio de vapores de ácido nítrico usado no banho do produto e outros (VILELA e LACORTE, 2008).

5. A RECICLAGEM DO CHUMBO

Desde que surgiram no planeta os seres vivos, entre eles o homem, extraem da terra o necessário para sua subsistência. Porém, nos padrões atuais de vida para o homem, existe a necessidade cada vez maior em se produzir tudo o que se consome, deixando de consumir somente o que se encontra naturalmente pronto na natureza. Para tanto são utilizados processos industriais, em que são feitas as transformações. Estes processos geralmente consomem muita energia, geram desperdícios e os produtos gerados muitas vezes, após o uso, são descartados sem que haja qualquer tipo de reaproveitamento. Não há uma preocupação em relação à velocidade em que tais recursos são extraídos e pouco se faz para que se garanta que no futuro ainda haja o que se extrair. Uma das maneiras de prolongar a vida desses recursos e permitir com que o nosso planeta continue habitável é a reciclagem dos produtos que nos servem (NAPOLES, 2008).

5.1. A valoração do chumbo no mercado

O preço do chumbo nos anos de 1988 até 2000 apresentou pequena e contínua queda com valor de aproximadamente 6% ao ano, motivada pelo aumento no reaproveitamento da sucata dos produtos que contém chumbo em sua composição, reaproveitamento este que passou a crescer em todos os países (SILVA, 2001).

De acordo com Gabby (2005, p.95), durante o ano de 2004 o preço do chumbo refinado aumentou no mercado mundial. Na bolsa de metal de Londres o aumento atingiu 66% quando se compara a média dos 12 meses de 2003 com a média dos 8 primeiros meses de 2004. Este aumento foi atribuído a alguns fatores como a expansão do mercado de veículos na China com uma produção maior de baterias automotivas, ao investimento em telecomunicação e na tecnologia da informação.

O chumbo era um produto que não possuía grandes variações de preço, sendo relativamente estável no mercado mundial deste metal. Porém, principalmente a partir de 2006, houve um aumento significativo no seu valor, como demonstrado no quadro 34. No período de julho de 2006 até julho de 2007, o aumento de preço foi de 300% quando então teve uma pequena queda. Impacto maior desse aumento foi

atribuído à demanda dos mercados chinês e indiano, com a expansão da frota de veículos nesses dois países. Outra parcela deste aumento é também atribuída às compras especulativas que ocorreram por parte de investidores mundiais motivados pela valoração do produto e a possibilidade de permanecer com valor em alta. Diante desse aumento, o principal produto na aplicação do chumbo, que é a bateria automotiva, tem também seu custo aumentado. Antes dessa alta dramática no preço, o chumbo era responsável por pouco menos de 50% do custo de manufatura de uma bateria, mas agora corresponde a cerca de 60% deste custo. Com o aumento do preço do chumbo, cresce também a importância e incentivo maior ao seu processo de reciclagem (CENTURYUASA, 2007).

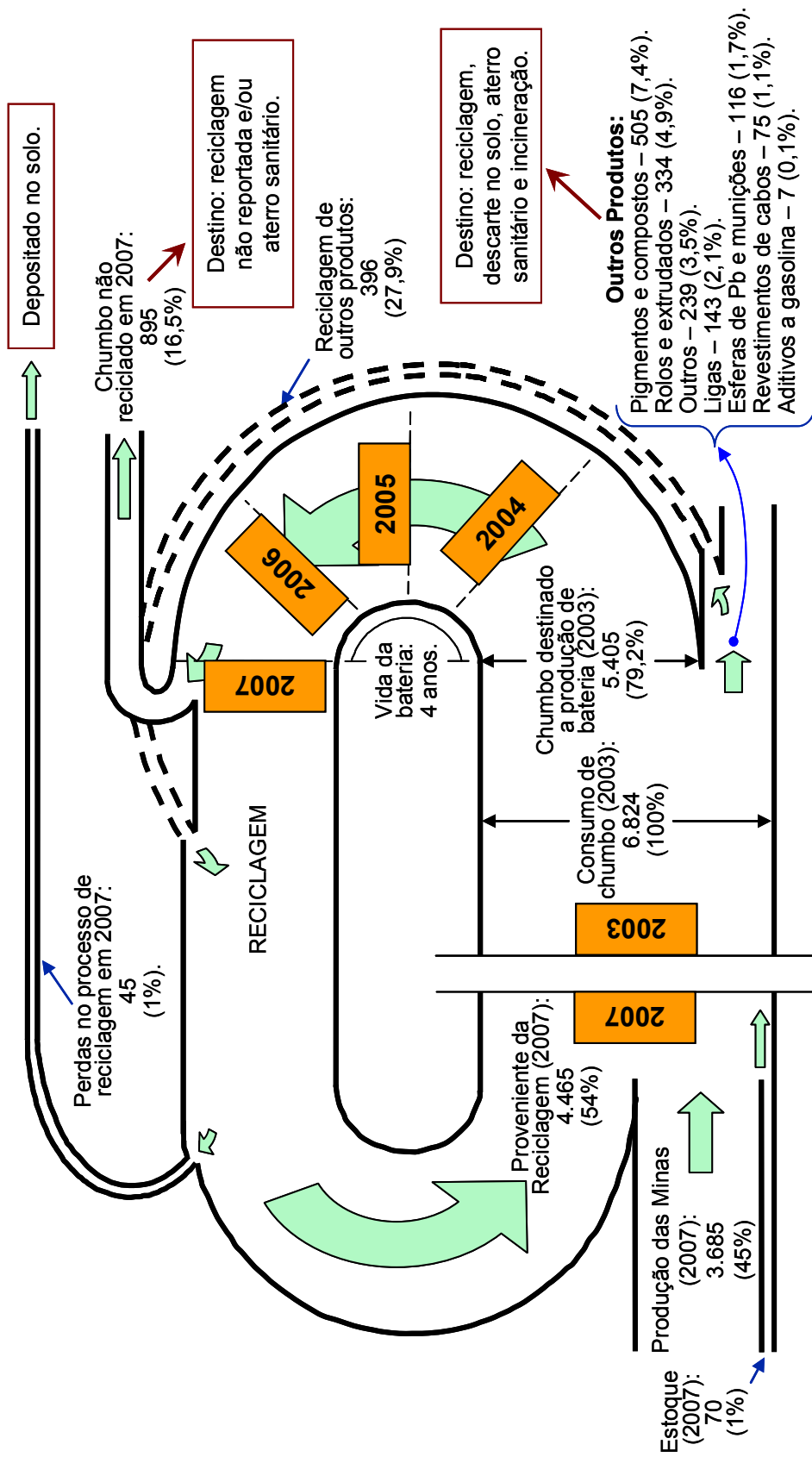


Quadro 34 – Variação de preço do chumbo nos últimos anos.

Fonte – LME (2008).

5.2. O fluxo do chumbo no mercado

O quadro 35 mostra o fluxo do chumbo no mercado mundial para os anos de 2003 até 2007. A figura não forma um círculo fechado pelo fato da vida da bateria não terminar no período de um ano, mas em aproximadamente quatro anos (LAVE, RUSSELL, HENDRICKSON e McMICHAEL apud SOCOLOW e THOMAS, 1997, p.15).



Quadro 35 – Fluxo do chumbo no mercado mundial, de 2003 até 2007 (x1000 toneladas).

Fonte - Elaborado a partir de Wilson (2006, p.24), ILZSG (2008), Socolow e Thomas (1997, p.24) e Lave, Russell, Hendrickson e McMichael apud Socolow e Thomas (1997, p. 15).

A linha tracejada no quadro 35 refere-se ao reaproveitamento estimado de outros produtos que consomem chumbo, além das baterias chumbo-ácido.

A produção de bateria neste período consumiu a maior parte do chumbo produzido, compreendendo uma parcela de 79,2%, e o complemento foi dedicado à produção de outros produtos que compreendem uma parcela cada vez menor do seu consumo. A reciclagem destes produtos não ocorre como as baterias, dentro do mesmo ano de fabricação, mas é feita uma estimativa do seu fluxo, identificado com linha tracejada. Este fluxo de modo geral, é bastante similar de um país para o outro, apresentando algumas diferenças em alguns pontos como no caso da quantidade das baterias que não são recicladas e na quantidade de chumbo destinada a cada aplicação. Desconsiderando as baterias, parte dos produtos que empregam o chumbo em sua composição, não são reciclados, pois tem a sua recuperação muito difícil de acontecer como é o caso do chumbo presente em pigmentos de tintas e seus compostos, em munições e do chumbo adicionado à gasolina, os quais acabam sendo depositados no solo. No processo de reciclagem do chumbo as perdas chegam a 1%, portanto, para a quantidade de bateria que passou pela reciclagem no ano de 2007, essa perda é de 45.000 toneladas, que são depositadas em valas abertas em terreno próximo das plantas de reciclagem (SOCOLOW e THOMAS, 1997, p. 23 a 25).

Destaque é a quantidade de chumbo que é perdida no processo de reciclagem que, apesar de ser 1%, representou 45.000 toneladas em 2007 e também a quantidade de chumbo que não é reaproveitado das baterias, atingindo uma parcela de 16,5% ou 895.000 toneladas neste mesmo ano. O Sr. José A. Souza²², gerente da divisão de compras estratégicas da empresa Johnson Controls, em entrevista concedida em 15 de maio de 2008 (Anexo I), explica que boa parte desta parcela de 16,5% que aparenta não ser reciclada, retorna ao processo como chumbo primário, através da reciclagem da bateria feita pela própria mineradora. Dessa maneira a bateria ocupa o lugar da Galena e o chumbo recuperado acaba sendo vendido como chumbo primário.

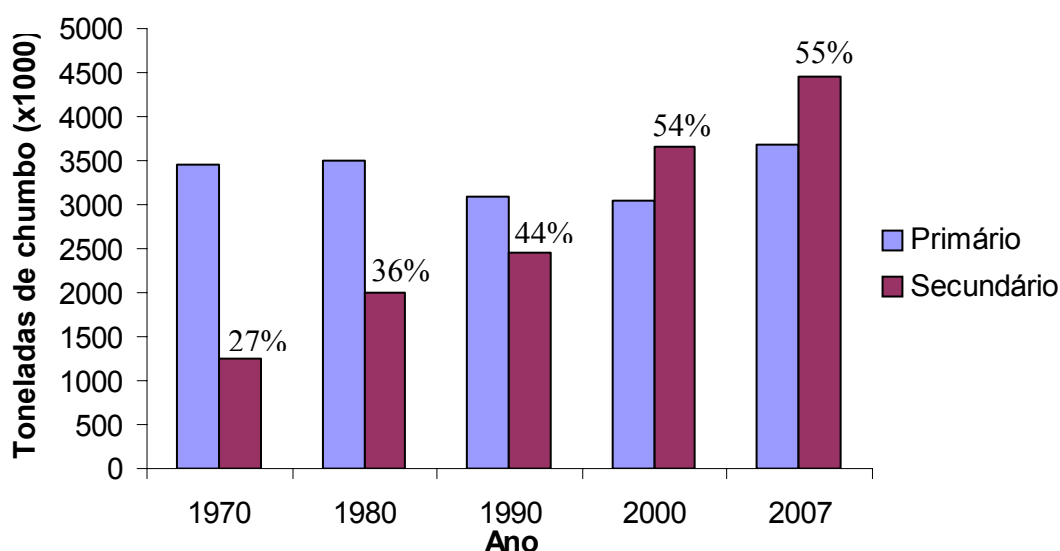
²² O Sr. José A. de Souza é gerente da divisão de compras estratégicas da empresa Johnson Controls de Sorocaba atuando a 12 anos na área que envolve a aquisição do chumbo. As informações foram obtidas por meio de entrevista verbal em seu departamento na empresa no dia 15 de maio de 2008.

Os cálculos realizados para determinação das quantidades e percentagens de chumbo do quadro 35 estão descritos no Anexo II.

5.3. A reciclagem dos produtos associados com chumbo

O chumbo é um material que tem um processo bastante fácil de reciclagem podendo ser reciclado quantas vezes forem necessárias. Num processo adequado de remoção de impurezas o chumbo obtido na reciclagem, denominado chumbo secundário, torna-se indistinguível do chumbo primário, proveniente do minério. Alguns países se destacam atingindo uma taxa maior de material a ser consumido proveniente de reaproveitamento, como é o caso dos países do oeste europeu onde cerca de 60% do chumbo produzido é proveniente da reciclagem. Nos Estados Unidos esta parcela é maior, atingindo 70% do chumbo produzido naquele país (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001).

A parcela correspondente ao chumbo reciclado vem aumentando nos últimos anos como mostra o quadro 36. Em 1970 representava cerca de 27% do total mundial produzido. Na década de 90 ultrapassa a quantidade proveniente de chumbo primário chegando ao ano de 2007 representando 55% do total produzido.



Quadro 36 – Evolução da produção do chumbo secundário em relação ao primário.

Fonte – LDAI (2008) para 1970 a 2000 e ILZSG (2008) para o ano de 2007.

Segundo Thornton, Rautiu e Brush (2001), a reciclagem ocorre devido à existência de leis ou por motivação econômica para a indústria. O chumbo oferece esta

motivação econômica pois, além de ser mais fácil, consome bem menos energia intensiva do que a produção de chumbo primário. No processo de reaproveitamento de chumbo a energia consumida corresponde a cerca de 35 a 40% da energia consumida no processo de produção do chumbo primário, proveniente do minério. Na reciclagem, a dispersão de chumbo no ambiente também é menor e é através dela que se torna possível prolongar a durabilidade das reservas. De todo o chumbo consumido em suas diversas aplicações, é estimado que 85% poderiam ser reciclados, porém na prática esta parcela é menor.

5.3.1. Alguns motivos para se reciclar o chumbo

O setor industrial, quando comparado com o setor agrícola e com o setor da agroindústria, é aquele que contribui com a maior parcela dos impactos ambientais da atualidade devido sua destacada geração de resíduos. O chamado “desenvolvimento”, impulsionado pela dinâmica do setor produtivo, normalmente se contradiz com a situação socioambiental percebida no planeta principalmente a partir da Revolução Industrial quando diversos fatores passaram a ser destaque, como o crescente aumento do consumo de bens e o acelerado crescimento demográfico. Esses fatores acarretaram uma grande extração de recursos naturais sendo muitos deles não renováveis, e um aumento na geração de resíduos decorrentes desses processos industriais, resíduos estes que muitas vezes acabam se concentrando no solo e na água (FIGUEIREDO, 1995, p. 160 a 162).

De acordo com Wilson (2000, p.8 e 9), os recursos do planeta, não importa o quanto abundante são, são finitos e preciosos. Porém devido ao seu manuseio, muitos podem causar contaminação da água, do ar e conseqüentemente contaminarem a cadeia de alimentos em que os seres vivos fazem parte. Mantendo o ambiente limpo, motivando a reutilização, o reaproveitamento dos recursos e incentivando a reciclagem da maior quantidade possível de sucata que geramos ao invés do descarte, beneficiará a todos, principalmente no caso do chumbo que tem um potencial grande em termos de contaminação. Alguns benefícios da reciclagem do chumbo se destacam como sendo:

- ❖ Redução da extração nas minas: Com a produção a partir de material reciclado a extração das minas é reduzida.
- ❖ Economia de energia: Se consome bem menos energia quando se produz chumbo secundário do que o chumbo primário.
- ❖ Menor poluição do ar e da água: Na maioria dos casos, através da reciclagem polui menos ar e água do que quando se processa material virgem.
- ❖ Disponibiliza espaço nos aterros: Com a reciclagem do material, maior espaço fica disponibilizado nos aterros sanitários.
- ❖ Economiza dinheiro e cria trabalho: A operação de reciclagem gera muito mais trabalho do que é gerado nos aterros ou incineradores quando da disposição do produto pós consumo, e, proporciona normalmente a maneira mais econômica de gerenciar o lixo das cidades.

5.3.2. Produtos que contém chumbo

Segundo Thornton, Rautiu e Brush (2001, p.75 e 76), é feito o reaproveitamento do chumbo presente em diversos outros componentes além da bateria, porém não existem dados precisos sobre a quantidade reaproveitada. O chumbo está presente na cobertura de muitos cabos de cobre e isso faz com que seja reciclado, não pelo chumbo presente nesta aplicação, mas pelo interesse ao cobre, que possui maior valor de mercado. Está presente nos veículos em pequenas peças e também na proteção do tanque de combustível onde forma liga com outros materiais com o objetivo de proteger o tanque contra a corrosão. Diversas peças do carro possuem o chumbo em sua composição, pois sua presença melhora o comportamento do produto contra esforços mecânicos. Está presente no balanceamento das rodas, na cobertura de algumas peças do freio, em soldas elétricas e eletrônicas, nas ligas de alumínio fundido, na composição do vidro e na cobertura protetora aplicada ao próprio vidro e aos pistões do motor. É utilizado também no tratamento a quente do aço galvanizado e na construção das placas de circuito impresso.

Para efeito de comparação podemos considerar que se uma bateria possui 10kg, em massa de chumbo, a soma de todos os outros componentes juntos no veículo

totalizam 2,5kg de chumbo. Estes componentes se distribuem como sendo: 1kg contido na fração ferrosa (ferro e aço), 1kg contido na liga com metais não ferrosos e 0,5kg agregados a peças não metálicas. O chumbo que está na fração ferrosa é recuperado quando estas peças são fundidas em fornos. Nesse instante o chumbo é sugado pelo sistema de exaustão e filtragem quando então a poeira contendo o metal é separada. Através de outro processo pode ser fundido e refinado voltando assim para o mercado para ser reutilizado. A fração que está na forma de liga com os metais não ferrosos também pode ser separada em empresas de recuperação. O chumbo presente nas peças não metálicas não pode ser separado, pois essas peças são conduzidas à incineração. Esse procedimento contribui com a emissão de chumbo no ar atmosférico, mesmo quando se utilizam equipamentos eficientes de controle da poluição (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.75 e 76).

O Tubo de Raio Catódico (TRC), do monitor de TV e de computadores, também carrega certa quantidade de chumbo, na forma de óxido de chumbo. Este produto quando chega ao consumidor final, acaba sendo de difícil controle e administração para ser disposto adequadamente oferecendo riscos quanto aos resíduos que pode gerar (NORDIC COUNCIL OF MINISTERS apud RODRIGUES, 2007, p. 25). A geração de resíduos do pós-consumo não é menos grave que a geração no processo produtivo. Porém para o processo produtivo existe uma quantidade grande de diretrizes e normas ambientais que forçam as indústrias a se enquadrarem nos níveis de emissões, enquanto que para os produtos do pós-consumo não há um rígido controle, uma vez que muitos acabam fazendo parte dos resíduos domiciliares (RODRIGUES, 2007, p.25).

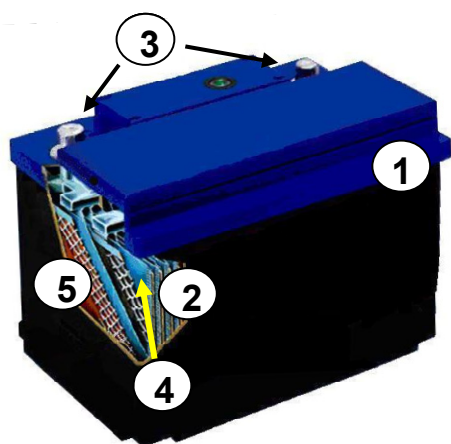
O chumbo também está presente nos componentes elétricos e eletrônicos. É largamente utilizado em solda de componentes, formando liga com o estanho. Na reciclagem, essa sucata é picada em pequenas partes e posteriormente dividida em categorias, momento em que o chumbo é classificado junto com a fração dos metais não ferrosos. O reaproveitamento deste material é feito normalmente pelo interesse por materiais mais valiosos como é o caso do cobre e dos metais preciosos, mas com isso o chumbo também acaba sendo separado (THORNTON, RAUTIU e BRUSH, 2001, p.75 e 76).

De acordo com Rodrigues (2007, p.247), verifica-se uma preocupação no mundo todo quanto aos cuidados com a gestão dos produtos elétricos e eletrônicos, do qual o chumbo faz parte. Isso vem forçando países a tomarem iniciativas, através de medidas que incentivem o projeto de produtos sustentáveis, porém a implementação de tais medidas depende das empresas, dos governos e da sociedade.

5.3.2.1. A reciclagem da bateria tipo chumbo-ácido

O fluxo da reciclagem das baterias tem mudado significativamente nos últimos 10 anos, motivado principalmente por alguns fatores como: normas ambientais, mudança de tecnologia no processamento da bateria, mudança na venda e distribuição das baterias, mudança da tecnologia da fundição do chumbo e mudança nas ligas empregadas na constituição da bateria (KEYTOMETALS, 2008).

Segundo Wilson (2000), todas as baterias do tipo chumbo-ácido são recicladas independente de sua forma. Fisicamente elas não oferecem qualquer empecilho para deixar de fazer parte do fluxo do chumbo no mercado após uso, dependendo exclusivamente das pessoas, dos governantes e da indústria na promoção e desenvolvimento de infra-estrutura para incentivar e facilitar a reciclagem do produto. A bateria atualmente tem em sua montagem, componentes que facilitam sua reciclagem. Sendo assim são divididas em cinco partes, identificadas no quadro 37:



1. Caixa plástica.
2. Placas de chumbo.
3. Terminais de chumbo.
4. Separador das placas.
5. Eletrólito.

Quadro 37 - Bateria montada e seus principais componentes.

Fonte - Delphi (2000, p.23).

Caixa plástica: É produzida em polipropileno e normalmente compõe-se do conjunto caixa e tampa na bateria. Depois de desmontada e separada do chumbo essas peças são lavadas, trituradas e encaminhadas para empresas recicladoras de plástico onde são derretidas e extrudadas em forma granulada, ficando assim prontas para serem reutilizadas. Dependendo do produto a que se destina podem ser utilizadas totalmente ou misturadas com material virgem em função da qualidade exigida no produto final.

Placas e terminais de chumbo: São encaminhados para fornos onde são derretidos e refinados. Armazenados na forma de lingotes seguem novamente, em sua maioria, para a manufatura da bateria.

Separador das placas: É produzido na maioria das vezes em polietileno, mas também pode ser de fibra de vidro ou PVC. Pode ser utilizado como combustível complementar nos fornos ou utilizado na indústria da reciclagem do plástico, no caso do polietileno.

Eletrólito: pode ser reaproveitado de quatro maneiras diferentes:

1. Pode ser neutralizado, até se enquadrar na especificação da localidade para ser disposto no sistema de água público.
2. Poder ser recuperado e receber a adição de ácido puro para ser posteriormente usado em baterias novas.
3. Pode ser tratado ou convertido em fertilizante agrícola, com adição de amônia, ou em sulfato de sódio para uso na produção têxtil ou de vidro. Pode ser ainda usado como complemento ou estabilizante na produção de detergente residencial.
4. Convertido em gipso para a produção de cimento ou produção de placas de fibra.

No sentido de reduzir os custos a indústria busca alternativas que muitas vezes se contradizem com a busca por um desenho ecológico de produto. A bateria é um exemplo de produto em que se pode aplicar o conceito de desenho ecológico,

utilizando técnicas e materiais que favoreçam sua desmontagem e reaproveitamento. A caixa plástica deve sempre ser de polipropileno ao invés de material emborrachado ou metálico. O eletrólito ácido ser de solução ácida aquosa ao invés de eletrólito na forma de gel. As placas serem constituídas por chumbo puro e não utilizar outros elementos formando ligas tóxicas, e, o separador constituído de material poroso biodegradável e não em PVC. Sendo assim é possível minimizar os impactos ambientais oferecendo melhoria real e sustentável para uma produção limpa (WILSON, 2000, p.14 a16).

5.4. A coleta de baterias usadas

De acordo com Abinee (2008), todos os estabelecimentos que comercializam baterias automotivas são obrigados a aceitar a bateria usada proveniente do cliente final e a cuidar para que a solução ácida não seja descartada em esgoto e nem diluída com outro produto. O objetivo é atender a legislação ambiental, estabelecida pela Resolução n.257 (Anexo III), de 30 de Junho de 1999 e que passou a vigorar a partir de 22 de Julho de 1999, promulgada pela Comissão Nacional para o Meio Ambiente (CONAMA). Tais estabelecimentos, quando da coleta da bateria, devem providenciar seu correto armazenamento para evitar vazamento do eletrólito utilizando de local coberto, protegido, que contenha canaleta para contenção de líquidos e longe de baterias novas e dos outros produtos. Para o transporte das baterias usadas é necessário estar de acordo com a Lei n. 96.044 de 18 de maio de 1988, que trata do transporte rodoviário de tais produtos perigosos e legislações e normas como:

- Os veículos deverão ter afixados painéis de segurança (placas contendo número de identificação do risco do produto e numero do produto: 88/2794) e rótulos de risco (Placa de Corrosivo), conforme NBR 8500;
- O Motorista deverá ser credenciado para o transporte de produtos perigosos;
- O transporte deverá ser com carga protegida por lona, quando não for veículo baú.

Para o transporte desse tipo de produto perigoso o veículo deve possuir kit de emergência e equipamento de proteção individual (EPI) para ser utilizado em caso

de acidente ou vazamento. O motorista deverá possuir envelope com ficha de emergência com instruções e procedimentos em caso de acidente como: vazamento, incêndio, ingestão ou inalação do produto bem como telefone para contato em caso de emergência (ABINEE, 2008).

5.5. O processo na recicladora de chumbo

Neste tópico é descrito o processo de reciclagem de chumbo em visita feita à indústria Frey & Stuchi Ltda²³, em 26 de Março de 2008. Trata-se de uma planta que recicla baterias usadas e sucatas provenientes do processo de fabricação das baterias como óxido de chumbo e pasta de chumbo. A recicladora destina cerca de 85% da sua produção à Johnson Controls, que é a maior fabricante de baterias do Brasil e do mundo. A Frey & Stuchi Ltda tem sua fábrica localizada dentro de um sítio de 25 alqueires, ocupando 15.000 m² desta área.

Informações sobre o processo de refino do chumbo foram obtidas através de entrevista (Anexo IV) feita com o Sr. Euclides A. Dotta Júnior²⁴, consultor da área de chumbo junto à empresa Johnson Controls de Sorocaba. Entrevista realizada em 21 de maio de 2008.

5.5.1. Etapas do processo

O processo de reciclagem na Frey & Stuchi Ltda, compõe-se das seguintes etapas: Pesagem das baterias, separação dos materiais, purificação do chumbo.

Quando chega à empresa, o caminhão com a carga de baterias é pesado para controle da quantidade a ser processada. O maior cliente da Frey & Stuchi, é quem cuida da coleta e fornecimento à empresa das baterias, restando a Frey & Stuchi a tarefa de cuidar do processo de reciclagem propriamente dito. Depois de pesadas as

²³ A Frey & Stuchi Ltda localiza-se em um sítio de 25 alqueires, destinando 15.000m² a área fabril. Situa-se próxima a rodovia Washington Luis, dentro do município de Pindorama no estado de São Paulo.

²⁴ O Sr. Euclides Arnaldo Dotta Júnior é consultor da área de chumbo atuando na empresa Johnson Controls em Sorocaba. Possui 26 anos de experiência em processo de refino do chumbo. As informações foram obtidas por meio de entrevista verbal em sua sala dentro da empresa Johnson Controls, em 21 de maio de 2008.

baterias são encaminhadas a outro setor onde é feito o corte, através de serra elétrica, da tampa para remoção das partes contendo chumbo e também para remoção do eletrólito. O eletrólito escorre pelo chão por meio de desnivelamento do piso e segue através de canaleta até um tanque de fibra, externo ao prédio, onde é neutralizado com Cal e posteriormente descartado.

O chumbo e o material plástico da bateria são separados por meio de processo manual. O plástico é triturado e lavado seguindo posteriormente para empresas externas onde se transforma novamente em matéria prima para injeção de novas peças. O processo de redução do chumbo consiste em isolar o chumbo metálico da mistura proveniente da bateria. Mistura que consiste de: chumbo metálico (Pb^0), óxido de chumbo (PbO), sulfato de chumbo ($PbSO_4$), além de outros materiais como cálcio, prata, cobre, antimônio, arsênio e estanho. Aos materiais provenientes da bateria são adicionados cavaco de ferro e carvão, que são agentes redutores. Todos esses componentes, após mistura, seguem para o forno. A empresa utiliza forno do tipo rotativo que é mantido em temperatura de $1.100^{\circ}C$ durante o processamento, que é feito por batelada.

Durante o processo de separação do chumbo metálico no forno, o ferro, proveniente do cavaco de ferro, se liga ao sulfato da sucata de chumbo ($PbSO_4$), formando sulfato de ferro ($FeSO_4$), que se concentra na escória. O carbono, proveniente do carvão, se liga ao oxigênio dos óxidos de chumbo (PbO e PbO_2), formando gases de carbono (CO e CO_2). Como resultado dessas reações o chumbo metálico vai para a parte baixa do forno quando é retirado em formas, e a escória permanece na parte superior sendo removida posteriormente ao chumbo. O forno tem capacidade de receber 13 toneladas da mistura, tendo um tempo de processamento de $10\frac{1}{2}$ horas, tempo necessário para que todas as reações se completem. A escória obtida é granulada e se constitui de 95% de sulfeto de ferro (FeS) e 5% de óxidos de chumbo, estanho, antimônio e outros. Esta escória não pode ser reaproveitada em outros processos devido seu teor de chumbo e por isso é encaminhada para aterro onde é depositada em valas fechadas e revestidas com lonas impermeáveis e paredes de cimento.

A Frey & Stuchi Ltda construiu recentemente um total de 18 caixas, cada uma com largura de 5 metros, comprimento de 25 metros e profundidade de 6 metros para depósito da escória obtida no processo. A empresa possui um passivo ambiental, que fica coberto com lona plástica, que é resultado de diversos anos de operação desta planta. Este material forma uma montanha de escória do lado externo da fábrica. Neste ano a empresa começará a transferir este material para as valas de cimento, que foram construídas recentemente.

De acordo com Kreuzsch (2005), através de um investimento maior em pesquisa, poderemos obter a chamada escória verde, que é uma escória com reduzido teor de chumbo, que poderia ser utilizada em outros processos sem a necessidade de ser contida em aterros específicos, como ocorre atualmente.

O chumbo retirado do forno rotativo, depois de resfriado é conduzido a recipientes denominados cadinhos, onde será feito seu processo de refino. A empresa possui 9 cadinhos para essa operação e neles são preparadas diversas ligas diferentes de chumbo, como: liga de chumbo-cálcio, chumbo-cálcio e estanho, chumbo-estanho, chumbo-prata, chumbo puro, chumbo-antimônio e diversos teores dessas ligas. Ao todo a empresa possui em sua planilha de processo 80 tipos diferentes de ligas de chumbo, que são produzidas e acordo com as solicitações dos clientes.

5.5.1.1. Processo de refino do chumbo

O Sr. Euclides A. Dotta Júnior, consultor da área de chumbo, em entrevista realizada em 21 de maio de 2008, explica que o chumbo obtido no forno rotativo, denominado chumbo de bica corrida, possui muitas impurezas, havendo a necessidade de sua purificação. Explica que os materiais que contaminam o chumbo basicamente são: arsênio, antimônio, cobre, estanho, ferro, níquel, zinco e outros em menores quantidades. Com a eliminação dos contaminantes, obtém-se chumbo puro (também chamado de chumbo mole) ou as ligas de chumbo. Para maior eficiência num processo de refino, é importante que a empresa de reciclagem tenha um planejamento inicial para saber as quantidades de chumbo puro e de ligas e quais ligas terá que produzir. Isso evita desperdício de tempo e de insumos na produção

do chumbo puro, que venha a receber novamente os elementos de liga que haviam sido previamente removidos.

Na obtenção do chumbo puro, o processo de refino começa com a retirada do cobre, explica o Sr. Euclides A. Dotta Júnior. Esta remoção é feita através de reação química com o enxofre, que é depositado sobre o chumbo derretido e após homogeneização, ocorrerá a formação de um sobrenadante a base de sulfeto de cobre na superfície da mistura. No sobrenadante estará o cobre que estava misturado ao chumbo. Os demais elementos contaminantes são removidos numa, segunda etapa, por meio de oxidação que consiste em elevar a temperatura do chumbo até 600°C e inserir um tubo perfurado para liberação de oxigênio dentro do cadinho com chumbo derretido. O sobrenadante que começa a ser formado vai sendo removido aos poucos, pois contém os elementos que desejamos remover do chumbo. São feitas análises espectrográficas com amostras da mistura, para avaliar o teor dos componentes ali contidos e assim poder saber o momento de se interromper o processo ou a quantidade de insumos a serem empregados. O tempo nesta etapa irá depender do teor de antimônio encontrado na análise das amostras, pois normalmente é mais alto do que os demais elementos contaminantes. Quando se atinge um valor esperado para o teor deste elemento, o processo é interrompido, devido ser muito mais demorado conseguir baixar o nível de antimônio além daquele valor. Então se utiliza de soda cáustica que, quando misturada ao chumbo, reage com o antimônio, arrastando-o para o sobrenadante. Normalmente para se obter uma batelada de chumbo puro demora-se ao redor de 24 horas.

Na obtenção das ligas de chumbo o Sr. Euclides A. Dotta Júnior, explica que são adicionados ao chumbo puro os elementos que irão formar a liga desejada. Esses elementos normalmente são cálcio, estanho, alumínio, prata e outros, que são adicionados próximos a haste de agitação, no centro do cadinho. Durante este processo de preparo, frequentemente são analisadas amostras para se avaliar o teor de cada elemento até que se atinja a especificação exigida de cada cliente.

5.5.2. Rendimentos dos processos de recuperação do chumbo

O rendimento obtido no processo de reciclagem difere em razão do material a ser reprocessado. A tabela 10 indica a parcela de chumbo obtida pela Frey & Stuchi, na reciclagem de diversos produtos a base de chumbo.

Tabela 10 – Rendimentos do processo em função do material de origem.

Fonte de chumbo:	Recuperação do chumbo:
Baterias usadas	51,6%
Óxido de chumbo	80 a 90%
Pasta de chumbo úmida	50%
Pasta de chumbo seca	65 a 70%

Fonte – Elaboração própria a partir de visita feita a empresa Frey & Stuchi em 26 de Março de 2008.

Da sucata proveniente das baterias usadas 51,6% é convertido novamente em chumbo, o restante se divide em plástico, ácido, escória do processo, fumo metálico²⁵ e gases. A quantidade de escória obtida quando se recicla bateria usada, varia de 30 a 35% sobre a quantidade de chumbo recuperada. É na reciclagem do óxido de chumbo que se obtém a maior taxa de reaproveitamento, sendo esta fonte proveniente do processo de produção das baterias e dos filtros de ar existentes na empresa. A pasta de chumbo se compõe basicamente de sulfato de chumbo e sua taxa de conversão está diretamente ligada a umidade em que chega para ser reciclada.

²⁵ Fumo metálico é uma forma de poeira muito fina que se origina com a evaporação do chumbo quando aquecido em temperaturas superiores a 500°C.

5.5.3. Energia consumida no processo de reciclagem

A empresa utiliza óleo de xisto²⁶ e energia elétrica para alimentar equipamentos e gerar aquecimento no processo de fundição e refino do chumbo. O consumo de energia está vinculado a quantidade produzida, que atinge 1.000 toneladas por mês na Frey & Stuchi, e está distribuído conforme a tabela 11.

Tabela 11 – Consumo de energia na recicladora Frey & Stuchi.

<u>Fonte de energia:</u>	<u>Local do consumo:</u>	<u>Quantidade consumida:</u>
Óleo de Xisto.	Fundição e refino.	3,84x10 ⁹ kJ/mês.
Energia elétrica.	Fundição e refino.	240 MWh/mês.

Fonte – Elaboração própria a partir de visita feita a empresa Frey & Stuchi em 26 de Março de 2008.

A energia elétrica se divide entre o consumo na fundição do chumbo que é de 200MWh/mês e o consumo no refino que é de 40MWh/mês. O óleo de xisto, cujo consumo é de 100.000 litros por mês (considerando produção atual de 1.000 toneladas de chumbo reciclado ao mês), é utilizado no aquecimento do forno rotativo da fundição, através de chama direta, e também no aquecimento do cadinho, através de chama de óleo indireta.

5.5.4. Pontos de contaminação ao ambiente e aos trabalhadores da área

O processo de reciclagem do chumbo oferece diversos pontos para contaminação do ambiente e dos funcionários que trabalham na empresa. Na questão ambiental a contaminação pode ocorrer em água superficial e subterrânea, com contaminação do lençol freático. A coleta e análise de amostras dessas águas são feitas em uma frequência semestral. O ar também é monitorado através de análise das chaminés

²⁶ Para a conversão da quantidade de óleo de xisto em energia foi considerado o consumo mensal de 100.000 litros, densidade do óleo de xisto de 940 Kg/m³ e poder calorífico de 9.750 Kcal/Kg. Considerado que 1 Kcal equivale a 4,19 kJ.

dos sistemas de exaustão em frequência semestral e também através de análise de poeira fugitiva em pontos ao redor da fábrica, com um acompanhamento mensal. A CETESB é quem acompanha a empresa na coleta e análise dos dados obtidos com as amostras.

Diversos pontos no processo oferecem riscos à saúde do trabalhador como a separação das partes da bateria, que é feita de forma manual, a mistura da sucata de chumbo com a sucata de ferro e carvão e o acompanhamento do processo de fundição e refino do chumbo. Em todos os setores notou-se o uso de máscara para retenção de particulados no ar e luvas para manuseio do produto. A empresa faz acompanhamento do teor de chumbo no organismo através de exame de sangue e urina. A frequência em que são avaliados é a cada quatro meses para todos os funcionários da empresa. A Frey & Stuchi segue os parâmetros estabelecidos pela NR-7 para efetuar o controle biológico de exposição ao chumbo sobre os funcionários.

5.6. A reciclagem do chumbo no Brasil

De acordo com o Sr. José A. de Souza, gerente da divisão de compras estratégicas da empresa Johnson Controls, em entrevista concedida em 15 de maio de 2008, comenta que a bateria do tipo chumbo-ácido é muito procurada, chegando a um índice de reciclagem no Brasil, ao redor de 100%, conforme tabela 12. Segundo ele, a falta de minas para extração/produção do chumbo primário faz aumentar a procura pela sucata de chumbo. Outro fator estimulador dessa procura é a dificuldade que pequenos fabricantes de bateria encontram em fazer a importação do material primário, buscando sempre pelo chumbo que é reciclado internamente.

O Sr. José A. de Souza explica que 64% do chumbo utilizado no Brasil em 2007 foi proveniente de material reciclado e que o uso em outras aplicações, além da bateria tipo chumbo-ácido, foi de 5% do total consumido no país (estimativa dos fabricantes de baterias). Este valor é bem inferior aos 20,8% consumido mundialmente nas demais aplicações, de acordo com Wilson (2006, p.24).

Com o estímulo do preço alto do chumbo no mercado mundial, o percentual de reaproveitamento é bastante alto há vários anos no Brasil, conforme explica o Sr. José A. Souza. Muitas vezes este percentual ultrapassa a 100% devido é a manobra que ocorre com o estoque da sucata de chumbo. Neste reaproveitamento o papel do sucateiro, que era aquela pessoa que recolhia as baterias usadas e deixadas nos auto-elétricos para depois revender, praticamente não existe mais, pois os próprios fabricantes se encarregam da coleta do produto usado quando da entrega de novas baterias para seus distribuidores. Isso só não ocorre para as baterias destinadas à exportação e nem para aquelas destinadas às montadoras, pois nestes casos a troca por outra usada não acontece.

Tabela 12 – Percentual de baterias recicladas no Brasil nos últimos 9 anos.

Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Média
Baterias coletadas	101,7%	91,7%	97,5%	95,5%	116,6%	98,3%	115,4%	96,8%	99,5%	101,4%

Fonte – Elaboração própria a partir da entrevista com o Sr. José A. Souza em 15 de Maio de 2008.

O Sr. José A. Souza comenta que a Johnson Controls do Brasil não utiliza somente chumbo reciclado em seu processo produtivo por não haver reciclado suficiente para suprir toda a demanda de bateria. De todo chumbo que a empresa consome em sua fábrica no Brasil, cerca de 40% provém de material reciclado, o que representou em 2007 uma parcela de 18% do chumbo reciclado disponível no país.

5.7. O fluxo em países americanos das baterias usadas

Num projeto ambicioso, conforme explica Wilson (2003, p.2 e 3), nove países do continente americano, entre eles México, El Salvador, Costa Rica, Panamá, Colômbia, Venezuela, Trinidad e Tobago, Santa Lúcia e a República Dominicana, se uniram com os seguintes objetivos:

- ❖ Revisar o sistema de gerenciamento das baterias usadas tipo chumbo-ácido que circulam entre esses países;
- ❖ Incluir instrumentos econômicos e regulatórios aplicáveis para sua coleta e reciclagem;
- ❖ Incluir requisitos técnicos, ambientais e práticas ocupacionais;
- ❖ Buscar parceria entre o sistema público e privado;
- ❖ Adequar a movimentação das baterias usadas e dos rejeitos de chumbo entre as fronteiras desses países;
- ❖ Discutir as práticas para prevenção de desperdícios;
- ❖ Garantir aumento nas quantidades de baterias usadas que devem ir para a reciclagem;
- ❖ Minimizar os impactos ambientais causados pelas baterias usadas que se encaminham para a reciclagem;

Como parte do estudo, foi realizado um levantamento das rotas que as baterias usadas percorrem após seu uso, atravessando as fronteiras desses países, como mostrado no quadro 38. Essas rotas segundo Wilson (2003, p. 5) são:

- Dos Estados Unidos para o México;
- Da Guatemala, Honduras, Nicarágua e Costa Rica para El Salvador;
- Da Costa Rica para o Panamá;
- Do Panamá para a Colômbia;
- De Trinidad e Tobago, Santa Lúcia e República Dominicana para a Venezuela;



Quadro 38 - Rotas das baterias a serem recicladas em países americanos.

Fonte - Wilson (2003, p. 5).

Conforme explica Wilson (2003, p. 5), diversos problemas foram detectados durante o projeto, entre eles destaca-se que:

- ✓ Nem todas as rotas seguiam os acordos estabelecidos pela Convenção da Basileia, para este tipo de material;
- ✓ Aparentemente diversos embarques eram ilegais especialmente aqueles que se destinavam a fundições não licenciadas no Panamá e Colômbia;
- ✓ Existiam dois setores industriais distintos: o formal, que segue as normas legais para funcionamento, e o informal, setor em que muitas empresas não estão licenciadas ou não estão comprometidas com o atendimento às normas legais;
- ✓ No setor formal encontram-se empresas que são focadas na reciclagem e normalmente pertencem a grandes grupos empresariais. No setor informal ocorre uma mistura de diversos distribuidores que encaminham baterias usadas para recicladores e também para pequenas empresas que recondicionam essas baterias, mas que muitas vezes liberam o ácido e o chumbo no próprio sistema de esgoto da cidade.

Atualmente mais de 400 milhões de toneladas de resíduos perigosos são gerados pelo mundo sendo que cerca de 10% desta quantidade cruza as fronteiras entre países (PNUMA, 2008).

6. O FUTURO DO CHUMBO

O chumbo é um material que vem sofrendo concorrência bastante grande com outros materiais em diversas aplicações causada principalmente por ser um material com potencial tóxico para o ambiente e para as pessoas (SILVA, 2001).

6.1. O uso do carro elétrico contendo bateria de chumbo

Uma possibilidade de aumento do uso do chumbo é no emprego das baterias que venham a abastecer o carro elétrico que utilizam baterias do tipo chumbo-ácido, pois a quantidade de bateria empregada por veículo é muito grande. Um carro a combustão como os atuais, carrega uma bateria com massa de chumbo de cerca de 8 Kg enquanto que no carro elétrico a massa em chumbo é de 325 Kg, portanto 40 vezes maior. Além disso, no carro elétrico elas duram metade da vida da bateria no veículo a combustão que fica em torno de 4 anos, assim a diferença passa a ser de 80 vezes. Porém a questão de contaminação do ar é um aspecto que volta a se tornar relevante, pois a reciclagem deste montante de chumbo aplicado no veículo acarretaria em elevadas quantidades de chumbo no ar atmosférico resultante do processo industrial. Sendo assim, o conceito de veículo elétrico usando baterias de chumbo, ameaçaria a volta da contaminação do ar ambiente, que vem sendo reduzida com a eliminação do teor de chumbo na gasolina. Foi possível chegar a essa conclusão considerando-se que no processo de reciclagem da bateria existe uma fração de chumbo que escapa para o ar, considerada estar na ordem de 1%. Como nesse conceito de veículo a quantidade de chumbo é grande, durante a reciclagem a emissão de particulados para a atmosfera também será alta, atingindo índice três vezes maior do que valores encontrados em épocas de elevada taxa de chumbo adicionado à gasolina (LAVE, RUSSELL, HENDRICKSON e McMICHAEL apud SOCOLOW e THOMAS, 1997, p.15).

6.2. Substituições ocorridas

O chumbo vem sendo substituído nos produtos que o utilizam e em diversos setores da indústria. Na indústria eletrônica, o chumbo tem sido substituído por ligas de

solda isentas do metal, possuindo atualmente composições variando entre estanho, bismuto, prata e cobre (GABBY, 2007).

No setor da construção civil utiliza-se o PVC no seu lugar, e, no setor de materiais para embalagem, o alumínio e alguns tipos de plásticos ocupam seu espaço. O plástico também o substitui em revestimentos para cabos elétricos na proteção contra corrosão, também foi drasticamente reduzido ou eliminado em muitos países da adição à gasolina para minimizar sua concentração no ar atmosférico e assim diminuir a contaminação que causava às pessoas e ao ambiente. O aparecimento de novas aplicações para o chumbo é muito pequeno quando comparado com outros produtos (SILVA, 2001).

6.3. Opções no armazenamento de energia elétrica

A aplicação automotiva é bastante atrativa para as baterias recarregáveis, sendo que outros dois conceitos de bateria possuem vantagens para fazer parte deste mercado que são: as baterias de Níquel Metal Hidreto e as baterias de Íons de Lítio. Essas baterias são sérias candidatas a abastecerem os veículos elétricos (Electrical Vehicles – EV²⁷) e os veículos elétricos híbridos (Híbrid Electrical Vehicles – HEV²⁸) no futuro. O emprego das baterias de Níquel e Lítio cresceu bastante nos anos 90 e a partir de então passaram a ocupar largamente o mercado das baterias portáteis, abastecendo celulares, computadores portáteis e outros dispositivos eletrônicos. No emprego automotivo possuem vantagens sobre a bateria tipo chumbo-ácido, como mostra o quadro 39, onde a bateria de Lítio se destaca por apresentar a maior densidade de energia quando comparada com as demais tecnologias, porém tem custo elevado (CEOLATO, 2001).

²⁷ Electrical Vehicles – utilizam baterias recarregáveis que alimentam motores elétricos ao invés de combustíveis tradicionais que alimentam os motores a combustão. Possuem taxa de emissão zero.

²⁸ Híbrid Electrical Vehicles – combina o motor de combustão interna convencional com a bateria e o motor de um veículo elétrico (CEOLATO, 2001).

6.3.1. Os supercapacitores

De acordo com Miller (2007, p.61 a 78), o capacitor eletroquímico ou supercapacitor ou ultracapacitor é um componente com conceito para armazenar energia, estabelecido desde 1800. Na época em sua construção os eletrodos ficavam imersos dentro de um recipiente com eletrólito, o que deixava sua comercialização impraticável, mas foram notados os valores altos de capacitância que estes dispositivos poderiam alcançar. Possuem a característica de armazenar energia em camadas elétricas duplas, envolvendo um eletrólito e a superfície das camadas que o protegem. Nessa construção adquirem uma grande área de superfície de reação com uma espessura bastante fina de cada camada, características importantes que conferem a ele um ciclo de vida ilimitado entre carga e descarga. Nos últimos anos, os supercapacitores, com uma construção que possibilitou o uso em escala comercial, vêm tendo diversas aplicações, como no uso em dispositivos de alimentação de emergência que contém memória volátil que não pode ficar sem energia, uso em telefone para comunicação sem fio e uso na melhoria da qualidade da energia fornecida pelos sistemas de geração. Armazena ainda, com alta eficiência, energia para veículos elétricos e veículos elétricos híbridos e substitui ou complementa o ponto fraco de outros dispositivos de armazenamento de energia como é o caso das baterias e das células a combustível.

Na década de 90 muitas demonstrações ocorreram usando os supercapacitores, como partida de caminhões a diesel e uso em veículos híbridos. Em 1993 foi apresentado um grande capacitor para uso na partida de motor diesel de locomotiva de 3000 CV. Este possuía diâmetro de 230 mm e altura de 610 mm. Alguns pequenos capacitores substituem pequenas baterias em dispositivos solares, como relógios, pois além de oferecer uma vida ilimitada, permite que não haja tampa para troca de bateria. Nesta aplicação, um sistema fotovoltaico pode carregar o capacitor em poucos minutos sob a luz do sol ou necessitar de poucas horas sob luz fraca em sala para depois operar 24 horas sem qualquer luz para recarga. Alguns conceitos de capacitores são específicos para pulso como é o caso da partida de motores, outros denominados capacitores para potência intermediária tem emprego em veículos híbridos e os de tração são desenhados para veículos como empilhadeiras e utilitários. Muitos desses conceitos podem ser recarregados em 12 a 15 minutos

mas se descarregam em uma ou mais horas de operação. Possuem alta densidade de energia, mas ainda é menor do que as baterias de chumbo-ácido. Seu desenvolvimento permanece ainda como um desafio tendo diversos objetivos a serem alcançados, como a redução do custo, porém ainda tem um longo caminho para avançar em termos técnicos e de aplicabilidade (MILLER, 2007, p.61 a 78).

6.3.2. A célula a combustível

A célula a combustível é um dispositivo eletroquímico que combina o hidrogênio e o oxigênio para gerar eletricidade, tendo a água como subproduto além do aquecimento gerado. Esta conversão ocorre sem que haja combustão, sendo um processo limpo, silencioso e mais eficiente do que o feito pela queima de combustível. No armazenamento de energia, a micro célula a combustível pode substituir as baterias recarregáveis usadas em celulares, câmeras digitais, laptops e outros aparelhos eletrônicos que normalmente empregam a tecnologia níquel cádmio. Substitui também a bateria utilizada no fornecimento de energia para o motor do veículo elétrico proporcionando vantagens como a eliminação do tempo de recarga das baterias. A célula a combustível fornece energia por tanto tempo quanto for fornecido o hidrogênio (TOFCIR, 2008).

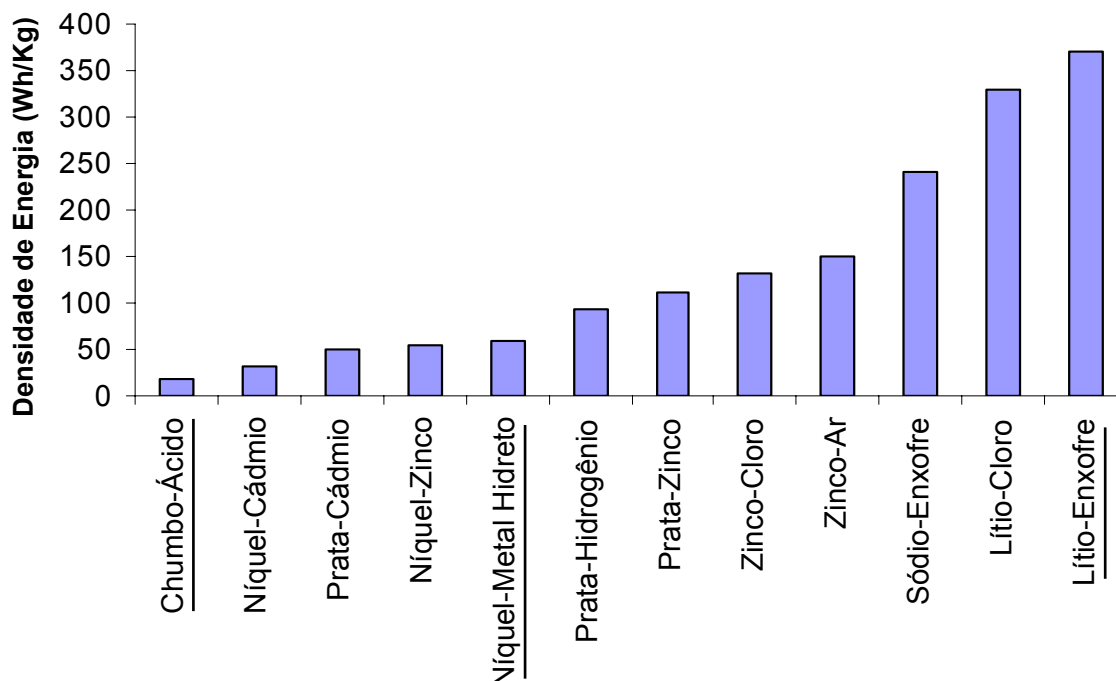
Segundo Rose (2008), a Toyota se destaca como líder mundial na pesquisa e desenvolvimento com a célula a combustível e entende como sendo uma solução essencial a longo prazo para as questões ambientais e para os desafios do consumo de energia do setor automobilístico. Comparando-se com o veículo híbrido, a célula a combustível ainda está em fase de pesquisa enquanto que o híbrido está sendo produzido. Na geração de hidrogênio através de gás natural, a emissão dos gases causadores do efeito estufa é 60% menor do que em um veículo convencional movido a gasolina e 25% menor do que um veículo híbrido que utiliza motor elétrico e motor a combustão.

A célula a combustível está ainda em desenvolvimento e possui alguns desafios a transpor como é o caso do seu custo que ainda é alto, a obtenção do hidrogênio é cara e complexa, opera com baixa tensão sendo necessária a conversão para alta tensão e exigente bastante quanto aos requisitos de pureza do combustível. É

sensível a altas temperaturas o que causa tempo longo para início do processo e degradação de componentes, sendo necessário o uso de materiais especiais (AIE, 2008).

6.3.3. Baterias de níquel e de íons de lítio

Com o objetivo de popularizar os chamados carros verdes, designados assim por não liberarem fumaça, as baterias de níquel e de íons de lítio surgem como importante alternativa na substituição das baterias de chumbo-ácido no armazenamento de energia, e, com isso, podem contribuir para aumentar a utilização deste tipo de veículo pela sociedade. Os carros verdes são veículos híbridos, por possuírem motor elétrico e motor a combustão, como o que foi lançado pela Toyota em 1997, porém este possuía um ponto que foi considerado fraco, a bateria de níquel. Esta bateria tem pouca capacidade de armazenamento, é pesada e possui vida útil curta, com isso a bateria de íons de lítio passa a ser interessante e a possuir mais vantagens na aplicação automotiva (ORSOLINI, 2008, p. 82 e 83).



Quadro 39 – Densidade de energia para diversas tecnologias de baterias.

Fonte – Ceolato (2001).

Algumas vantagens e desvantagens da bateria de íons de lítio sobre as de níquel são descritas na tabela 13. Dentre as desvantagens a questão do seu aquecimento excessivo é uma das limitações não resolvidas ainda, porém a Mercedes desenvolveu um sistema que a mantém em temperatura entre 15 a 35 graus, o que lhe confere outras vantagens, além da prevenção contra incêndios, que são: aumento do rendimento e durabilidade. As baterias de íons de lítio para os veículos são formadas por pequenos módulos, diferente daquelas que equipam laptops e celulares, onde um único módulo é usado. Como somente agora se conseguiu desenvolver baterias de íons de lítio que pudessem mover um carro, a Mercedes-Benz lançará em 2009, o primeiro carro híbrido a ser produzido em série com essas baterias. A Toyota também anunciou o lançamento de uma linha de modelos equipados com essas baterias para o ano de 2010 e para isso fará uma parceria com a Panasonic para que juntos consigam reduzir os custos deste produto com sua fabricação em larga escala. A General Motors também pretende lançar seu veículo equipado com as baterias de íons de lítio e tem como objetivo o ano de 2010 para que isso ocorra. O lançamento será feito sobre um modelo de carro híbrido que difere dos demais da categoria por usar o motor a combustão não para mover o veículo, mas sim como gerador para carregar a bateria quando não há tomada por perto (ORSOLINI, 2008, p. 82 e 83).

Tabela 13 – Vantagens e desvantagens da bateria de íons de lítio sobre as de níquel.

<u>Vantagens</u>	<u>Desvantagens</u>
- Armazenam duas vezes mais energia.	- Esquentam muito, o que aumenta o risco de incêndio.
- São 30% mais leves.	- Não funcionam bem com tempo muito frio.
- Têm metade do tamanho.	
- Duram duas vezes mais.	- Sua produção ainda é muito cara.

Fonte – Orsolini (2008, p.82).

A Renault está planejando investir no desenvolvimento do projeto do seu veículo elétrico, tendo como objetivo colocá-lo no mercado para venda em 2011. Foi feita uma parceria com outra empresa para este projeto e com isso pretende desenvolver carros movidos a bateria de íons de lítio-fósforo, a qual tem capacidade de fornecer

ao veículo energia para um desempenho de 160 quilômetros sem necessitar de recarga (WOOLF, 2008, p.16).

6.3.3.1. Aquecimento excessivo da bateria de íons de lítio em Laptop

O risco de um aquecimento excessivo nas baterias com tecnologia de íons de lítio é evidente e perigoso. Isto foi notado na aplicação em Laptop que devido à falha na produção desta bateria provocou superaquecimento seguido de explosão em diversas unidades comercializadas. Segundo a Sony, fabricante das baterias, o defeito neste caso foi proveniente de uma microscópica partícula de metal que por erro na manufatura, ficou alojada no interior da bateria e com isso pode causar seu aquecimento e explosão. Diversas ocorrências já aconteceram pelo mundo com incêndio do Laptop, inclusive no Brasil, onde foi registrado um dos primeiros casos envolvendo este lote de bateria. A Sony está realizando junto aos clientes uma maciça busca e posterior troca das baterias com este risco potencial, e vem buscando melhorar seu processo para prevenir as baterias contra o superaquecimento (WOOLF, 2007, p.16).

6.3.3.2. Os problemas com a produção do níquel

O veículo híbrido produzido pela Toyota em 1997, possuía bateria de níquel para locomoção juntamente com o motor a combustão. Todo o níquel utilizado na produção desta bateria tem sido extraído e fundido em uma planta localizada no Canadá. Esta planta tem causado muitos danos ambientais na área ao seu redor onde até mesmo a NASA aproveita a área para realizar seus testes, pois é totalmente desprovida de vida por quilômetros de extensão. A mineração localizada na cidade de Sudbury no Canadá espalha dióxido de enxofre na região norte de Ontário e causa a chuva ácida, a qual destrói plantações e contamina solo e água. Além disso, o níquel percorre um longo caminho até chegar a se transformar na bateria de níquel que abastece este carro da Toyota. É encaminhado dentro de *containers* e por meio de transporte marítimo chega à Europa onde é refinado. Da Europa o níquel segue para a China onde é transformado em espuma de níquel quando então segue para o Japão onde se produz a bateria de níquel. Depois de pronta as baterias seguem para os Estados Unidos onde é montada no veículo da

Toyota, terminando assim o longo passeio ao redor do mundo para se produzir cada unidade da bateria. Dessa maneira este veículo vem sendo considerado pela classe ambientalista como uma farsa no que diz respeito à proteção ambiental (DEMORRO, 2007).

6.3.4. A aplicação da bateria de níquel metal hidreto

A Toyota decidiu adiar a aplicação da bateria com tecnologia de íons de lítio na versão inicial da próxima geração do seu veículo híbrido, programada para 2008, devido às preocupações com a questão de segurança que esta bateria oferece. A bateria que estava programada para fazer parte deste veículo era a de óxido de cobalto e lítio, mas apresentou tendência em aquecer e incendiar. Diante disso a Toyota decidiu utilizar uma versão mais avançada da bateria de níquel metal hidreto no lançamento desta terceira geração do veículo, mas espera mesmo é utilizar a bateria de íons de lítio para poder aplicar suas vantagens no veículo como menor tamanho, redução de preço do carro híbrido, redução de peso e aumento na economia de combustível. A montadora irá introduzir a bateria de íons de lítio, uma vez que esteja totalmente qualificada para produção comercial, o que se espera que ocorra no lançamento da próxima versão do seu veículo híbrido (WOOLF, 2007, p.19).

6.4. Início da produção da bateria de íons de lítio

Numa junção entre a empresa americana Johnson Controls e a francesa Saft, iniciou-se em Fevereiro de 2008, no oeste da França, a primeira produção de bateria de íons de lítio para a indústria automotiva. Com isso essas empresas largam na frente neste mercado de baterias, deixando para trás concorrentes fortes como a Panasonic. A aplicação desta bateria será no Mercedes S-Class, um carro híbrido que se torna o primeiro carro produzido em série que usa a tecnologia de Íon-Lítio. A fábrica para manufatura desta bateria na França produzirá inicialmente de 5.000 a 10.000 baterias por ano que abastecerão os veículos híbridos, mas a previsão para os próximos 3 a 4 anos é aumentar a produção para 100.000 baterias por ano. A Johnson Control e a Saft consideram importante investir no produto, pois estimam que para o ano de 2015 o mercado mundial de carro híbrido será de 4 milhões de unidades (FLÖRECKE, 2008).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

7.1. Considerações finais

A produção de chumbo é crescente, motivada pelo contínuo aumento do seu consumo no mundo. Diante desse consumo e das quantidades de chumbo presentes nas reservas, foi possível identificar que seu esgotamento se dará em 19 anos. Um aumento da durabilidade das reservas seria possível se novas minas forem descobertas, se a extração passar a ser viável nas jazidas em que hoje não são, se os produtos que o utilizam tiverem uma vida maior ou se houver redução do seu consumo. Porém tal fato parece estar longe de acontecer, pois nota-se um aumento constante da frota de veículos e as tendências sempre de crescimento para o setor.

O principal produto que utiliza o chumbo são, em destaque, as baterias do tipo chumbo-ácido que têm como principal aplicação o uso em veículos. A aplicação em pigmentos e tintas compreende uma parcela importante do consumo, depois das baterias, e destaca-se negativamente por ser uma aplicação em que o chumbo não é possível de ser recuperado, sendo assim depositado no ambiente. Substitutos para o chumbo nas tintas existem e são usados, mas alguns tipos específicos ainda utilizam chumbo. Sua eliminação nas tintas pode ocorrer, mas com muitas perdas nas propriedades do produto final. Para as demais aplicações a situação é parecida, pois nos produtos que ainda permanecem contendo o metal sua substituição é complicada, refletindo em perda de qualidade, ocasionando alto custo do produto final e algumas vezes implicando uso de outros produtos tóxicos danosos ao ambiente e a saúde das pessoas que o manuseiam.

A contaminação por chumbo ainda é preocupante principalmente em regiões em que existem passivos ambientais deixados por empresas de épocas em que o poder contaminante do chumbo não era muito conhecido e divulgado. A produção das baterias normalmente ocorre em grandes empresas, que são obrigadas a seguirem uma série de normas de saúde e segurança para proteção do trabalhador, como uso de equipamentos de proteção coletiva e individual e realização de exames

laboratoriais no acompanhamento do teor de chumbo no sangue. Porém em pequenas empresas que efetuam trabalhos manuseando o chumbo e seus compostos a contaminação é evidente, havendo falta de controle e de acompanhamento da saúde do empregado, numa época em que o poder contaminante do chumbo já é conhecido.

Em relação à questão ambiental a situação não muda, pois grandes empresas que trabalham com o produto, como os fabricantes de baterias e as recicladoras de chumbo, são obrigadas por lei a se enquadrarem nas normas estabelecidas para suas emissões e geração de resíduos e são acompanhadas por órgãos governamentais quanto ao atendimento a estas normas. Porém pequenas empresas que processam produtos como as baterias, não atendem os cuidados para proteção ambiental, pois normalmente não possuem equipamentos de exaustão para retenção de particulados e não tratam os resíduos de maneira apropriada, utilizando na maioria das vezes o esgoto da cidade e o aterro sanitário para fazer o descarte.

A reciclagem do chumbo é alta por todo o mundo, motivada principalmente pelo seu alto custo de mercado. No Brasil, seu reaproveitamento chega ao redor de 100%, o que não difere muito de outros países. Além de aumentar a durabilidade das reservas, a reciclagem proporciona economia de energia quando comparada com a energia consumida na extração do material virgem. Entretanto, há a oportunidade para se reaproveitar o chumbo em produtos nos quais é encontrado junto com materiais que não favorecem seu reaproveitamento tendo como destino, muitas vezes, a incineração. Uma mudança do conceito construtivo poderia favorecer a separação e conseqüente seu reaproveitamento nas recicladoras.

Com as informações obtidas na realização deste trabalho, foi possível identificar diversas novas tecnologias que podem ocupar o lugar do chumbo no armazenamento de energia elétrica, que é o destino da maior parte deste recurso. Porém no momento não há um substituto para o chumbo que atenda às características necessárias para essa substituição. A bateria com a tecnologia de íons de lítio tem um destaque maior para emprego nos veículos, mas a questão que envolve segurança vem limitando seu uso em larga escala. Algumas montadoras arriscam a dizer que passarão a utilizá-la nos próximos anos, enquanto outras

preferem adiar seu uso e utilizar outra tecnologia, com algumas perdas, para não correrem os riscos pertinentes a esse produto.

Foi possível notar também que o estímulo para as montadoras de veículos na busca de uma nova tecnologia para as baterias não é pelo fato do escasseamento do chumbo ou seu custo atual, mas sim a busca por um veículo elétrico ou híbrido, veículos em que o uso do chumbo tem implicações técnicas e ambientais. Com esses veículos objetiva-se eliminar ou reduzir bastante o emprego do motor a combustão que, através da queima de combustíveis fósseis, é um dos principais causadores do efeito estufa.

7.2. Recomendações para trabalhos futuros

Há muitas possibilidades para trabalhos futuros referentes ao ciclo do chumbo na sociedade. Entre elas merecem destaque:

- Avaliar as questões que envolvem o ciclo do lítio e do níquel, possíveis substitutos do chumbo nas baterias automotivas, compreendendo suas reservas, reciclagem, saúde e meio ambiente.
- Pesquisar sobre a quantidade que se consome de chumbo no Brasil para as aplicações além das baterias tipo chumbo-ácido, pois atualmente esta quantidade é estimada.
- Levantar as ocorrências de contaminação por chumbo nas pessoas, ocorridas no Brasil nos últimos anos, para identificar sua tendência.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE. **Fabricantes e estabelecimentos que comercializam baterias automotivas e suas obrigações para preservação do meio ambiente.** Associação Brasileira para a Indústria Elétrica e Eletrônica. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/programas/prog07b.htm> Acesso em: 04 Maio 2008.

AIE. **Fuel Cell.** Australian Institute of Energy. Disponível em: http://www.aie.org.au/national/factsheet/FS14_FUEL%20CELLS.pdf Acesso em: 27 Abril 2008.

ALBERTINI, S.; OETTERER, M.; PRADO FILHO, L.G. **Fontes de contaminação e toxicologia por chumbo.** In: Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Artigo Técnico. Campinas. Volume 31. 1997. p. 137 – 147.

AMERICAN CANCER SOCIETY (ACS). **Lead.** 2007. Disponível em: http://www.cancer.org/docroot/PED/content/PED_1_3X_Lead.asp?sitearea=PED Acesso em: 12 Março 2008.

ANFAVEA. **Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira.** Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores. Edição 2007. 181 p. Disponível em: http://www.anfavea.com.br/anuario2007/Cap00_2007.pdf Acesso em: 07 Outubro 2007.

ANTONAZ, D. **Não fique chumbado.** A contaminação por chumbo e os trabalhadores telefônicos. SINTTEL. Sindicato dos Telefônicos do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1992. 19 p.

AURÉLIO, Dicionário. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa.** 3ª Edição. Editora Positivo. Curitiba. 2004. 2120 p.

BARSA, NOVA ENCICLOPÉDIA. Enciclopédia Britânica do Brasil Publicações. Rio de Janeiro e São Paulo. Volume 4. 1997. p. 167 e 168.

BATTERYSTUFF. **Battery Tutorial.** Disponível em: http://www.batterystuff.com/tutorial_battery.html#8 Acesso em: 16/10/2007.

BELTRAMINI, L.M. **Pele.** Capítulo 2. Parte 4. 2006. 7 p. Disponível em: <http://biologia.if.sc.usp.br/bio1/capitulos/cp2parte4.pdf> Acesso em: 01 Janeiro 2008.

BERTOLDO, A. **O conhecimento geológico no Brasil.** Revista Brasil Mineral. Ano XXIII. Nº 256. Novembro de 2006. p. 94 a 105.

BRASIL. **Mineração no Brasil: informações básicas para o investidor.** Departamento Nacional de Produção Mineral. Brasília – DF. 1996. 85 p.

_____. **Serviço Geológico do Brasil.** Programa Geologia do Brasil. CPRM-Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 2006. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=79&sid=26> Acesso em: 22 Abril 2007.

_____. **Segurança e Medicina do Trabalho. Lei N° 6.514, de 22 de Dezembro de 1977.** Normas Regulamentadoras — NR-1 a 32, Portaria N° 3.214, de 08 Junho 1978. Editora Atlas S.A. São Paulo. 59ª Edição. 2006.

BUSCHINELLI, J.T.; BARBOSA, C.Q.; TRIVELATO, G.C. **Chumbo x Trabalhadores, um jogo lento e fatal.** Revista Proteção, Volume 2, nº7. 1990. p. 42-50.

BUSCHINELLI, J.T. **Entrevista feita com o médico da Unimed Paulistana.** Texto arquivado em meio eletrônico. 2008. Documento extensão .doc com o nome “Contaminação por chumbo”. Data: 19 Março 2008.

CALIENTO, C.R. **Intoxicação por chumbo em trabalhadores de empresas que comercializam baterias.** In: Revista CIPA. Ano XIII, N° 148, volume 13. 1992. p. 43 e 44.

CAMPOS, S. **Prevenção da contaminação pelo chumbo.** Medicina avançada. 2003. Disponível em <http://www.drashirleydecampos.com.br/noticias/3134> Acesso em: 07 Janeiro 2007.

CDC. **NIOSH Health Hazard Evaluation Report.** Centers for Disease Control and Prevention. 2007. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2006-0006-3039.pdf> Acesso em: 21 Março 2008.

CENTURYUASA. **World lead price impacts on australian motorists...** 2007. 2 p. Disponível em: <http://www.centuryuasa.com.au/data/portal/00005062/content/87108001186701063715.pdf> Acesso em: 01 Maio 2008.

CEOLATO, N.R. **Tendências para os sistemas elétricos automotivos e as novas tecnologias de baterias.** Apresentação mantida em arquivo eletrônico de nome: Apresentação AEA 11_10_01. 2001.

CERVO, A.L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica.** São Paulo. Pearson Prentice Hall, 2002.

COTTRELL, A.H. **Introdução à Metalurgia.** Ed. da Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa. Terceira Edição. 1993. 813 p.

DELCO REMY. **Baterias Freedom.** Manual de Treinamento. Volume 1. 1990a. 16 p.

_____. **Saturnismo.** Manual de treinamento. 1990b. 15 p.

DELPHI. **Baterias Automotivas e a ISO 14001.** Apresentação mantida em meio eletrônico com extensão .ppt e nome do arquivo: “Bateria e ISO14001”. 2000. 37 p.

DELTA, EDITORA S.A. Volume 4. 1985.

DEMORRO, C. **Prius outdoes Hummer in environmental damage.** Central Connecticut State University. 2007. Disponível em: http://clubs.ccsu.edu/Recorder/editorial/editorial_item.asp?NewsID=188 Acesso em: 20 Abril 2008.

DiFRANCESCO, C. A.; SMITH, G. R. **Lead Statistics**. United States Geological Survey. USA. 2006. Disponível em <<http://minerals.usgs.gov/ds/2005/140/lead.xls>>. Acesso em: 01 Abril 2007.

ENVIRONMENTAL, G.; **Elemental Lead**. 2007. Disponível em: http://www.grayenvironmental.com/lead_background.htm#Back%20to%20the%20Top Acesso em: 10 Fev. 2008.

EPA. **Controlling Lead in drinking water for schools and day care facilities: A summary of state programs**. United States Environmental Protection Agency. USA. 2004. 29 p. Disponível em http://www.epa.gov/safewater/lcrrm/pdfs/report_lcrrm_schoolsummary.pdf Acesso em: 19 Maio 2007.

EPA. **Lead compounds**. 2000. Disponível em: <http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/lead.html> Acesso em: 15 Março 2008.

FANTÁSTICO. **Contaminação por chumbo na cidade de Dona Canô**. Reportagem apresentada pelo repórter José Raimundo e exibida pela Rede Globo de Televisão durante o programa Fantástico, em 16 Setembro 2007. Disponível em: <http://fantastico.globo.com/Jornalismo/Fantastico/0,,AA1633989-4005-731712-0-16092007,00.html> Acesso: 16 Setembro 2007.

FIGUEIREDO, P.J.M. **A Sociedade do Lixo: Os resíduos, a questão energética e a crise ambiental**. 2ª edição. Piracicaba-SP. Ed. UNIMEP. 1995. 240 p.

FLÖRECKE, K.D. **Lithium-Ionen-Batterien für Autos**. Revista semanal: Automobilwoche. Data: 11 de Fevereiro de 2008. Editada na Alemanha.

FUNDACENTRO. **Fundacentro avalia riscos em empresas de acumuladores elétricos em Bauru**. Fundacentro, atualidades em prevenção de acidentes. Volume 18, Nº 205. 1987. 2p.

DINIZ, E.P.H; SAMPAIO, M.R. **O chumbo e as formas de controle**. Ministério do Trabalho e Emprego. FUNDACENTRO. São Paulo. 2001. 42 p. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/dominios/CERS-01/anexos/OChumboeasFormasdeControle.pdf> Acesso em: 11 Maio 2008.

GABBY, P.N. **Mineral Commodity Summary**. U.S. Geological Survey. 2005. p. 92 e 93. Disponível em: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lead/lead_mcs05.pdf Acesso em: 01 Maio 2008.

_____. **Mineral Commodity Summary**. U.S. Geological Survey. 2007. p. 92 e 93. Disponível em: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2007/mcs2007.pdf> Acesso em: 01 Maio 2008.

GRANDJEAN, P. **Lead in Danes**. In: GRIFFIN, T.B.; KNELSON J.H. **Lead**. EQS, Environmental Quality and Safety. Stuttgart: Georgy Thieme Publishers, 1975. p. 6-75.

HAAR, G.T. **Lead in the Environmental** – Origins, Pathways and Sinks. In: GRIFFIN, T.B.; KNELSON J.H. **Lead**. EQS, Environmental Quality and Safety. Stuttgart: Georgy Thieme Publishers, 1975. p. 76-94.

HAMMEL, R.O.; SALKIND, A.J.; LINDEN, D. **Sealed Lead-Acid Batteries**. In: LINDEN, D. **Handbook of Batteries**. Second Edition. USA. Editora: MacGraw-Hill. 1994.

HODES, G.; THOMAS, V.; WILLIAMS, A. **A Strategy to Phase-Out Lead in African Gasoline**. Renewable Energy for Development. Stockholm Environment Institute. Vol. 16, Nº 3. 2003. 4 p. Disponível em: <http://www.princeton.edu/~vmthomas/red.pdf>
Acesso em: 01 Setembro 2007.

HOFMANN, W. **Lead and Lead Alloys**. Properties and Technology. Berlin/Heidelberg: Springer - Verlag, 1970. 551 p.

ILZSG. **Lead Statistics**. International Lead and Zinc Study Group. Disponível em: <http://www.ilzsg.org/> Acesso em 07 Março 2008.

JACOB, L.C.B.; ALVARENGA, K.F.; MORATA, T.C. **Os efeitos da exposição ocupacional ao chumbo sobre o sistema auditivo: uma revisão da literatura**. Revista Brasileira de Otorrinolaringologia. Vol.68, Nº4. São Paulo. 2002. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-72992002000400018
Acesso em: 11 Março 2008.

JURAS, I.A.G.M. **Conseqüências do uso do chumbo na pesca**. Consultoria legislativa. Câmara dos deputados. 10p. 2006. Disponível em: http://apache.camara.gov.br/portal/arquivos/Camara/internet/publicacoes/estnottec/tema14/2006_3611.pdf Acesso em: 23 Maio 2008.

KEYTOMETALS. **Production of recycled lead**. Key to metals nonferrous. Disponível: <http://www.key-to-nonferrous.com/default.aspx?ID=CheckArticle&LN=EN&NM=151>
Acesso em: 04 Maio 2008.

KIRJNER, G.; BOER, J.M.; TORRES, J.B.; VASCONCELLOS, J.A.S.; TOCCHETTO, N.R.K; TESSER, R. **Intoxicação profissional por chumbo no Rio Grande do Sul, Julho de 1985 a Junho de 1990**. Monografia de conclusão do II Curso de Especialização em Medicina e I Curso de Especialização em Saúde e Trabalho. Faculdade de Medicina, UFRS, Rio Grande do Sul, 1990. 51p.

KREUSCH, M.A. **Avaliação com proposta de melhoria do processo industrial de reciclagem do chumbo e indicação de aplicabilidade para a escória gerada**. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia de materiais e processos da universidade federal do Paraná. 2005. 129 p. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/defesas/Marcio%20K%20-%202005v19.pdf> Acesso em: 09 Maio 2008.

KUNO, R.; HUMAYTÁ, M. H. R.; OLIVEIRA FILHA, M. T. O. **Níveis de plumbemia de um grupo populacional e animais de propriedades vizinha à indústria Tonolli S/A, em Jacareí – SP**. CETESB – Departamento de Qualidade Ambiental. 1995. 20 p.

LANDRIGAN P.J. **The worldwide problem of lead in petrol.** Bulletin of World Health Organization. 2002. p.768. LDAI. Lead Development Association International. Technical Notes. Disponível em: <http://www.ldaint.org/technotes4.htm#Introduction> Acesso em: 27 Setembro 2007.

LDAI. **Lead products and their uses.** Lead Development Association International. Technical Notes. Disponível em: <http://www.ldaint.org/technotes4.htm#Introduction> Acesso em: 27 Setembro 2007.

_____. **Lead.** Lead Development Association International. Disponível em: <http://www.ldaint.org/information.htm> Acesso em: 07 Abril 2008.

LEHMAN, R.L. **Lead glazes for ceramic foodware.** Rutgers university. The international lead management center. USA. 2002. 206 p. Disponível em: <http://www.ilmc.org/Publications/ILMCFinalCombo8-02B.pdf> Acesso em: 23 Maio 2008.

LINDEN, D. **Handbook of Batteries.** Second Edition. USA. Editora: MacGraw-Hill. 1994.

LME. **Lead price.** London Metal Exchange. Disponível em: https://secure.lme.com/Data/community/Dataprices_pricegraphs.aspx Acesso em: 27 Abril 2008.

LUCKHAUPT, S. **Lead Exposure Among Females of Childbearing Age – United States, 2004.** USA. 32 p. Disponível em: http://www.cdc.gov/niosh/topics/ABLES/CSTE_2007_Luckhaupt.ppt Acesso em: 21 Março 2008.

MACHADO, I.P. **Avaliação Ambiental do Processo de Reciclagem de Chumbo.** Tese de Mestrado. Unicamp. 2002. 144 p.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Técnicas de Pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.

MENDES, R. **Efeitos da exposição profissional ao chumbo em trabalhadores de duas regiões do estado da Bahia.** Departamento de Medicina Preventiva da Escola Paulista de Medicina. Trabalho manuscrito. 1975. 59 p.

MILLER, J. **A brief history of supercapacitors.** Revista: Batteries & Energy Storage Technology. United Kingdom. Número: 18. 2007. 160p.

MIRADOR INTERNACIONAL. Enciclopédia Britânica do Brasil Publicações Ltda. São Paulo/ Rio de Janeiro. 1981. Volume 5. De p.1845 até p.2448. Volume 8. De p.3673 até p.4292.

MME. **Anuário Mineral Brasileiro 2006.** DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2006a. 147 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/substancia%20a-e.pdf> Acesso em: 09 Dezembro 2007.

_____. **Apêndice.** DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2006b. 14 p. Disponível em:

<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/Apendices.pdf> Acesso em: 10 Novembro 2007.

_____. **Sumário Mineral 2006**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2006c. 326 p. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1006 Acesso em: 27 Fevereiro 2008.

_____. **Anuário Mineral Brasileiro 2005**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2005. 143 p. Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2005/PartellI_Substancia/substancia%20a-e.pdf Acesso em: 09 Dezembro 2007.

_____. **Anuário Mineral Brasileiro 2004**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2004. 130 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2004/substancia%20a-e.pdf> Acesso em: 09 Dezembro 2007.

_____. **Anuário Mineral Brasileiro 2003**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2003. 135 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2003/substancia%20a-e.pdf> Acesso em: 09 Dezembro 2007.

_____. **Anuário Mineral Brasileiro 2002**. DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 2002. 112 p. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2002/substancia%20a-e.pdf> Acesso em: 09 Dezembro 2007.

MORRONE, L.C. **O Controle do Surto Epidêmico de Saturnismo em Franca**. In: Funcacentro, atualidades em prevenção de acidentes. Vol. 13, Nº151. 1982. 1 p.

MSD. **Distúrbio dos Pulmões e das Vias Aéreas**. Merck Shark & Dohme. Seção 4. Capítulo 31 – Biologia dos Pulmões e das Vias Aéreas. Disponível em: http://www.msd-brazil.com/msdbrazil/patients/manual_Merck/mm_sec4_31.html#top Acesso em: 31 Dezembro 2007.

MSPC. **Artigos e informações, periodicamente ampliadas ou atualizadas, sobre áreas técnicas diversas**. Disponível em: http://www.mspc.eng.br/quim1/quim1_082.asp#aplic Acesso em 29 Setembro 2007.

NAPOLES. **A importância de reciclar**. Disponível em: http://www.napoles.com.br/importanciasocial_reciclar.asp Acesso: 27 Abril 2008.

OKINTERNATIONAL. **Summary of Lead Regulatory Levels and Proposed Standards (March 2006)**. Occupational Knowledge International. 2006. Disponível em: http://www.okinternational.org/public_documents.html Acesso em: 22 Março 2008.

ORSOLINI, M. – **Do laptop para os híbridos**. Revista Veja. Edição 2051. Ano 41. Nº10. Editora Abril. 12 de Março de 2008. 98 p.

OSHA. **Lead.- 1910.1025.** Occupational Safety & Health Administration. U.S. Department of Labor. 2008. Tópico: 1910.1025(k)(1)(i)(B). Disponível em: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=10030

OSSE, J.S. **Indústria automobilística volta a quebrar recordes.** Valor Online. 2007, p.1. Disponível em: http://ultimosegundo.ig.com.br/economia/2007/10/04/industria_automobilistica_volta_a_quebrar_recordes_mas_nao_deve_manter_ritmo_em_2008_diz_anfavea_1032144.html Acesso em: 08 Outubro 2007.

PADULA, N.A.M.R.; ABREU, M.H.; MIYAZAKI, L.C.Y.; TOMITA, N.E.; **Intoxicação por chumbo e saúde infantil: ações intersectoriais para o enfrentamento da questão.** In: Caderno de saúde pública. Rio de Janeiro, 22 (1). 2006. p. 163 a 171. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v22n1/17.pdf> Acesso em: 22 Março 2008.

PAOLIELLO, M.M.B.; CHASIN, A.A.M. **Ecotoxicologia do Chumbo e seus Compostos.** 2001. Centro de Recursos Ambientais. Série Cadernos de Referência Ambiental, Vol.3. 144 p. Disponível em: <http://web.cena.usp.br/apostilas/Regina/Pg/CEN%205738%20Ecotoxicologia/Chumbo.pdf> Acesso em: 30 Novembro 2007.

PETROBRAS. **Gasolina BR.** PETROBRAS Distribuidora S.A. 2002. Disponível em: <http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf#http://www.br.com.br/portalbr/calandra.nsf/0/2D5DEA50BF8503FE03256E69004E1150?OpenDocument&SDuvidas> Acesso em: 05 Maio 2007.

_____. **Entrevista feita com engenheiro da Petrobras.** Petrobras Distribuidora S.A. Texto arquivado em meio eletrônico. 2007. Documento extensão .doc com o nome "Petrobras_Chumbo na gasolina". Data: 07 Maio 2007.

PNUMA. **Convenção da Basiléia.** Instituto Brasil PNUMA. Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Disponível em: http://www.brasilpnuma.org.br/pordentro/artigos_002.htm Acesso em: 13 Janeiro 2008.

PONTES, L; **O combustível automotivo no Brasil, Qualidade e preço. Por que tanta confusão?** Universidade de Salvador. 2002. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/petroleo/pet18.shtml> Acesso em: 05 Maio 2007.

RAUSH, D.O.; MARIACHER, B.C. **AIME World Symposium on Mining & Metallurgy of Lead & Zinc.** American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers. 1970. New York.

REICHERT, E.A.; d'ÁVILLA, J.F.L. **Chumbo x Trabalhadores, um jogo lento e fatal.** In: Saturnismo. Revista: Proteção. Vol. 02, Nº 07. 1990. p. 42 e 43.

RICH, V. **The International Lead Trade.** Woodhead Publishing Limited. Cambridge England. 1994. 315 p. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=pWQsKEsDTBoC&pg=PR3&dq=world+lead+co>

nsumption+1960+year&source=gbs_selected_pages&cad=0_2&sig=H-BmU6BRVARgZJkbwlphQ5xsGmM#PPR7,M1 Acesso em: 08 Março 2008.

ROCHA, A.J.D. **Perfil Analítico do Chumbo**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Ministério das minas e energia. Rio de Janeiro. Boletim nº8. 1973. 76 p.

ROCHA, L.A.R.; HORTA, G.O. **Avaliação da intoxicação profissional por chumbo em indústrias de acumuladores elétricos na Grande Belo Horizonte**. In: Revista Brasileira de Saúde Ocupacional. Vol. 15, Nº 60. 1987. p. 6 a 12.

RODRIGUES, A. C. **Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos de elétricos e eletrônicos: Estudo da cadeia pós-consumo no Brasil**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. Escola UNIMEP. Santa Bárbara d'Oeste – SP. 2007. 321 p.

ROMIEU, I. **Epidemiological studies of health effects arising from motor vehicle air pollution**. In: WHO - World Health Organization. Urban Traffic Pollution. London. 1999. p.9-69.

ROSE, R. **Questions and answers about hydrogen and fuel cells**. Breakthrough Technologies Institute. Disponível em:
<http://www.fuelcells.org/info/library/QuestionsandAnswers.pdf> Acesso em: 27 Abril 2008.

SALKIND, A.J.; KELLEY, J.J.; CANNONE, A.G. Lead-Acid Batteries. In: LINDEN, D. **Handbook of Batteries**. Second Edition. USA. Editora: MacGraw-Hill. 1994.

SILVA, B.C.E. **Chumbo. Balanço Mineral Brasileiro 2001**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Ministério das minas e energia. 2001. 19p. Disponível em:
<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/chumbo.pdf>
Acesso em: 10 Fevereiro 2008.

SILVA, G.D.C.; SUPINO, E.; BERTOLI, C.J.; LEITE, R.N.F. **Intoxicação familiar por chumbo em fábrica de baterias**. In: Revista brasileira de saúde ocupacional. Vol. V, Nº 20. 1977. p.23-29.

SILVA, M.A.M.; SCHREIBER, B.C.; SANTOS, C.L. **Evaporitos como recursos minerais**. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 18, São Paulo. 2000. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2000000300011
Acesso em: 25 Fevereiro 2008.

SILVEIRA, A.M.; FERREIRA, L.R.; **Intoxicação por chumbo em atividade de instrução de tiro**. In: Relato de Caso. Revista Brasileira de Medicina do Trabalho. Vol. 1, Nº1. 2003. p.74-76.

SINDIPEÇAS. **Desempenho do setor de autopeças de 2007**. Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. 2007a. 62p. Disp. em:
http://www.sindipecas.org.br/paginas_NETCDM/modelo_detalhe_generico.asp?ID_CANAL=103&ID=35747 Acesso em: 10 Outubro 2007.

_____. **O crescimento das Motos.** Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores. Informativo do Sindipeças. 2007b. 4p. Disponível em: http://www.sindipecas.org.br/paginas_NETCDM/modelo_detalhe_generico.asp?id_canal=105&id=36117 Acesso em: 04 Outubro 2007.

SOCLOW, R.; THOMAS, V. **The industrial ecology of lead and electric vehicles.** Journal of Industrial Ecology. Volume 1. Nº 1. 1997. 24 p. Disponível em: <http://www.princeton.edu/~vmthomas/publications.html> Acesso em: 29 Março 2008.

SSMT. **O chumbo e a nossa saúde.** Caderno de Divulgação. Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho. Traduzido por Aluísio Oliveira de Queiroga. Tradução autorizada pelo Instituto Nacional de Segurança e Higiene do Trabalho da Espanha. 1988. 46 p.

TEIXEIRA, V.G.; COUTINHO, F.M.B.; GOMES, A.S. **Resinas poliméricas para separação e pré-concentração de chumbo.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004. 9p. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n5/a15v27n5.pdf> Acesso em: 26 Maio 2007.

THOMAS, V.M.; KWONG, A. **Ethanol as a lead replacement: phasing out leaded gasoline in Africa.** Princeton University, New Jersey. Energy Policy 29, 2001. Publicação: Elsevier. p. 1133 a 1143.

THORNTON, I.; RAUTIU, R.; BRUSH, S. **Lead the facts.** IC Consultants Ltda. London, UK. 2001. 184 p. Disponível em: http://www.ila-lead.org/fact_book.html Acesso: 04 Abril 2008.

TOFCIR. **What is a fuel cell ?** The Online Fuel Cell Information Resource. Disponível em: <http://www.fuelcells.org/> Acesso: 26 Abril 2008.

UNEP. **Phasing lead out of gasoline: An examination of policy approaches in different countries.** United Nations Environmental Program. 1999. 14 p. Disponível em: <http://www.unep.fr/energy/act/tp/ldgas/index.htm> Acesso em: 03 Maio 2007.

USGS. **Lead.** United States Geological Survey. Mineral Commodity Summaries. USA. 2007. p. 92 e 93. Apêndice C - p. 191 e 192. Disponível em: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lead/lead_mcs07.pdf Acesso em: 04 Novembro 2007.

VARELLA, J.A.; LONGO, E. **Chumbada ecológica.** Disponível em: <http://www.inova.unicamp.br/inventabrasil/chumbada.htm> Acesso em: 22 Maio 2008.

VILELA, R.A.G.; LACORTE, L.E.C. **Relatório Técnico de Inspeção.** Prefeitura do município de Piracicaba. CEREST – Centro de Referência de Saúde do trabalhador. Piracicaba. Relatório arquivado em meio eletrônico. Documento extensão .doc com o nome “Relatório jóias bijuterias”. Data: 30 Junho 2008.

WALSH, M.P. **Motor vehicle emission control measures.** In: WHO - World Health Organization. Urban Traffic Pollution. London. 1999. p.133-174.

WHO. **Inorganic Lead - Environmental Health Criteria 165**. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization. Geneva. 1995. 300 p.

_____. **Lead – Environmental Aspects**. Environmental Health Criteria 85. International Programme on Chemical Safety. World Health Organization. Geneva. 1989. 106 p.

WILSON, B. **Battery design for cleaner production**. The international lead management center. Third APRCP Conference. Manila. 2000. 18 p. Disponível em: http://www.ilmc.org/training/manila2/manila_notes.pdf Acesso em: 23 Setembro 2007.

WILSON, B. **Recycling of ULAB in Central America and Caribbean**. 14^a International Lead Conference. Basel Convention Regional Project. 2003. 22 p. Disponível em: <http://www.ilmc.org/Presentations/Web%20page/EMS%20of%20ULAB%20in%20Central%20America%20and%20the%20Caribbean.pdf> Acesso: 23 Setembro 2007.

WILSON, D.N. **Beyond Batteries: Other Trends in the Demand for Lead**. Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. Volume 58, Nº10, p.24. 2006. Disponível em: [http://doc.tms.org/ezMerchant/prodtms.nsf/ProductLookupItemID/JOM-0610-24/\\$FILE/JOM-0610-24F.pdf?OpenElement](http://doc.tms.org/ezMerchant/prodtms.nsf/ProductLookupItemID/JOM-0610-24/$FILE/JOM-0610-24F.pdf?OpenElement) Acesso: 26 Setembro 2007. O link não abre o documento mais, verificar isso e pedir o link por e-mail.

WOOLF, G. – **China is the world leader on Pb battery manufacture**. Revista: Batteries & Energy Storage Technology. United Kingdom. Número: 17. 2007. 165p.

WOOLF, G. – **Renault EV plan**. Revista: Batteries & Energy Storage Technology. United Kingdom. Número: 19. 2008. 162p.

ANEXO I
ROTEIRO DE ENTREVISTA

Nome:

Cargo:

Nome da empresa:

Produto fabricado:

Perguntas:

1. De todo o chumbo usado no Brasil, qual é o percentual do chumbo secundário?
2. Das baterias usadas no Brasil quantas são recicladas?
3. Quanto se tem de chumbo reciclado disponível para a Johnson Controls no Brasil?
4. Por que a Johnson Controls não utiliza 100% de chumbo reciclado no seu processo produtivo de baterias?
5. Qual o valor da tonelada de chumbo primário e do chumbo secundário?
6. Como funciona a coleta de baterias usadas no Brasil?

ANEXO II

PLANILHA DE CÁLCULO PARA FLUXO DA RECICLAGEM MUNDIAL DE CHUMBO.

Considerações:

1. Uma bateria tipo chumbo-ácido automotiva, que é a maior parte da produção em baterias, tem vida média de 4 anos (LAVE, RUSSELL, HENDRICKSON e McMICHAEL apud SOCOLOW e THOMAS, 1997, p.15).
2. Consumo total de chumbo em 2003: 6.824.000 (ILZSG, 2008).
3. Consumo total de chumbo em 2007: 8.220.000 (ILZSG, 2008).
4. Produção do metal em 2007: 8.150.000 (ILZSG, 2008).
5. Produção do metal nas minas em 2007: 3.685.000 (ILZSG, 2008).
6. Percentual para cada aplicação do chumbo proveniente de Wilson (2006, p.24), sendo:
 - a. Produção de bateria: 79,2%.
 - b. Pigmentos e compostos: 7,4%.
 - c. Rolos e extrudados: 4,9%.
 - d. Outros: 3,5%.
 - e. Ligas: 2,1%.
 - f. Esferas de chumbo e munições: 1,7%.
 - g. Revestimentos de cabos: 1,1%.
 - h. Aditivo a gasolina: 0,1%.
7. Estimado que 50% do chumbo empregado em algumas aplicações retornam ao processo para ser reciclado. Essas aplicações são: rolos e extrudados, outros, ligas e revestimentos de cabos.
8. Perda no processo de reciclagem é de 1% (SOCOLOW e THOMAS, 1997, p.24).

Cálculos:

9. Chumbo destinado a produção de bateria em 2003 = (2) * (6a)
Chumbo destinado a produção de bateria em 2003 = 5.405.000 toneladas

10. Pigmentos e compostos = (2) * (6b)
Pigmentos e compostos = 505.000 toneladas

11. Rolos e extrudados = (2) * (6c)

Rolos e extrudados = 334.000 toneladas

12. Outros = (2) * (6d)

Outros = 239.000 toneladas

13. Ligas = (2) * (6e)

Ligas = 143.000 toneladas

14. Esferas de chumbo e munições = (2) * (6f)

Esferas de chumbo e munições = 116.000 toneladas

15. Revestimento de cabos = (2) * (6g)

Revestimento de cabos = 75.000 toneladas

16. Aditivos a gasolina = (2) * (6h)

Aditivos a gasolina = 7.000 toneladas

17. Reciclagem de outros produtos = ((11) + (12) + (13) + (15)) * (7)

Reciclagem de outros produtos = 396.000 toneladas

% = ((17) / ((2) - (9))) * 100 = 27,9%

18. Proveniente da reciclagem em 2007 = (4) - (5)

Proveniente da reciclagem em 2007 = 4.465.000 toneladas

% = ((18) / (3)) * 100 = 54%

19. Estoque = (3) - (4)

Estoque = 70.000 toneladas

% = ((19) / (3)) * 100 = 1%

20. Perdas no processo de reciclagem em 2007 = ((18) / (100% - (8))) - (18)

Perdas no processo de reciclagem em 2007 = 45.000 toneladas

% = ((20) / ((18) + (20))) * 100 = 1%

21. Chumbo não reciclado em 2007 = (9) – ((18) + (20))

Chumbo não reciclado em 2007 = 895.000 toneladas

% = (((9) - ((18) + (20))) / (9)) * 100 = 16,5%

% produção do metal nas minas = ((5) / ((5) + (18) + (19))) * 100 = 45%

ANEXO III

RESOLUÇÃO CONAMA No 257, de 30 de junho de 1999 Publicada no D.O.U. em 22 de julho de 1999

Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=257>

Correlações:

Alterada pela Resolução n. 263/99 (acrescentado inciso IV no art.6).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no uso das atribuições e competências que lhe são conferidas pela Lei nr 6938, de 31 de agosto de 1981 e pelo Decreto nr 99.274, de 06 de junho de 1990, e conforme o disposto em seu Regimento Interno e considerando os impactos negativos causados ao meio ambiente pelo descarte inadequado de pilhas e baterias usadas, considerando a necessidade de se disciplinar o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias usadas, no que tange à coleta, reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final, considerando que tais resíduos além de continuarem sem destinação adequada e contaminando o ambiente necessitam, por suas especificidades, de procedimentos especiais ou diferenciados, resolve:

Art. 1o As pilhas e baterias que contenham em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, destinadas a quaisquer tipos de aparelhos, veículos ou sistemas, móveis ou fixos, que as requeiram para o seu pleno funcionamento, bem como os produtos eletro-eletrônicos que as contenham integradas em sua estrutura de forma não substituível deverão, após seu esgotamento energético, ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que as comercializam ou à rede de assistência técnica autorizada pelas respectivas indústrias, para repasse aos fabricantes ou importadores, para que estes adotem, diretamente ou através de terceiros, os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final ambientalmente adequada.

Parágrafo Único As baterias industriais constituídas de chumbo, cádmio e seus compostos, destinadas a telecomunicações, usinas elétricas, sistemas ininterruptos de fornecimento de energia, alarme, segurança, movimentação de cargas ou pessoas, partida de motores diesel e uso geral industrial, após seu esgotamento energético, deverão ser entregues pelo usuário ao fabricante ou ao importador ou ao

distribuidor da bateria, observado o mesmo sistema químico, para os procedimentos referidos no caput deste artigo.

Art. 2º Para os efeitos desta resolução, considera-se:

I. Bateria: Conjunto de pilhas ou acumuladores recarregáveis interligados convenientemente (NBR 7039/87).

II. Pilha: Gerador eletroquímico de energia elétrica, mediante conversão geralmente irreversível de energia química (NBR 7039/87).

III. Acumulador chumbo-ácido: Acumulador no qual o material ativo das placas positivas é constituído por compostos de chumbo, e os das placas negativas essencialmente por chumbo, sendo o eletrólito uma solução de ácido sulfúrico (NBR 7039/87).

IV. Acumulador (elétrico): Dispositivo eletroquímico constituído de um elemento, eletrólito e caixa, que armazena, sob forma de energia química a energia elétrica que lhe seja fornecida e que a restitui quando ligado a um circuito consumidor (NBR 7039/87).

V. Baterias industriais: São consideradas baterias de aplicação industrial, aquelas que se destinam a aplicações estacionárias, tais como telecomunicações, usinas elétricas, sistemas ininterruptos de fornecimento de energia, alarme e segurança, uso geral industrial e para partidas de motores diesel, ou ainda tracionárias, tais como as utilizadas para movimentação de cargas ou pessoas e carros elétricos.

VI. Baterias veiculares: São consideradas baterias de aplicação veicular aquelas utilizadas para partidas de sistemas propulsores e/ou como principal fonte de energia em veículos automotores de locomoção em meio terrestre, aquático e aéreo, inclusive de tratores, equipamentos de construção, cadeiras de roda e assemelhados.

VII. Pilhas e baterias portáteis: São consideradas pilhas e baterias portáteis aquelas utilizadas em telefonia e equipamentos eletro-eletrônicos, tais como jogos, brinquedos, ferramentas elétricas portáteis, informáticas, lanternas, equipamentos fotográficos, rádios, aparelhos de som, relógios, agendas eletrônicas, barbeadores, instrumentos de medição, de aferição, equipamentos médicos e outros.

VIII. Pilhas e baterias de aplicação especial: São consideradas pilhas e baterias de aplicação especial aquelas utilizadas em aplicações específicas de caráter científico, médico ou militar e aquelas que sejam parte integrante de circuitos eletro-eletrônicos

para exercer funções que requeiram energia elétrica ininterrupta em caso de fonte de energia primária sofrer alguma falha ou flutuação momentânea.

Art. 3o Os estabelecimentos que comercializam os produtos descritos no Art. 1o, bem como a rede de assistência técnica autorizada pelos fabricantes e importadores desses produtos, ficam obrigados a aceitar dos usuários a devolução das unidades usadas, cujas características sejam similares às aquelas comercializadas, com vistas aos procedimentos referidos no Art. 1o.

Art. 4o As pilhas e baterias recebidas na forma do artigo anterior serão acondicionadas adequadamente e armazenadas de forma segregada, obedecidas as normas ambientais e de saúde pública pertinentes, bem como as recomendações definidas pelos fabricantes ou importadores, até o seu repasse a estes últimos.

Art. 5o A partir de 1o de janeiro de 2000, a fabricação, importação e comercialização de pilhas e baterias deverão atender aos limites estabelecidos a seguir:

- I. com até 0,025% em peso de mercúrio, quando forem do tipo zinco-manganês e alcalina-manganês;
- II. com até 0,025% em peso de cádmio, quando forem do tipo zinco-manganês e alcalina-manganês;
- III. com até 0,400% em peso de chumbo, quando forem do tipo zinco-manganês e alcalina-manganês;
- IV. com até 25mg de mercúrio por elemento, quando forem do tipo pilhas miniaturas e botão.

Art. 6o A partir de 1o de janeiro de 2001, a fabricação, importação e comercialização de pilhas e baterias deverão atender aos limites estabelecidos a seguir:

- I. com até 0,010% em peso de mercúrio, quando forem do tipo zinco-manganês e alcalina-manganês;
- II. com até 0,015% em peso de cádmio, quando forem dos tipos alcalina-manganês e zinco-manganês;
- III. com até 0,200% em peso de chumbo, quando forem dos tipos alcalina-manganês e zinco-manganês;
- IV. com até 25mg de mercúrio por elemento, quando forem do tipo pilhas miniaturas e botão. *(inciso acrescentado pela Resolução CONAMA n.263/99).*

Art. 7o Os fabricantes dos produtos abrangidos por esta resolução deverão conduzir estudos para substituir as substâncias tóxicas potencialmente perigosas neles

contidas ou reduzir o teor das mesmas, até os valores mais baixos viáveis tecnologicamente.

Art. 8º Ficam proibidas as seguintes formas de destinação final de pilhas e baterias usadas de quaisquer tipos ou características;

- Lançamento "in natura" a céu aberto, tanto em áreas urbanas como rurais;
- Queima a céu aberto ou em recipientes, instalações ou equipamentos não adequados, conforme legislação vigente;
- Lançamento em corpos d'água, praias, manguezais, terrenos baldios, peças ou cacimbas, cavidades subterrâneas, em redes de drenagem de águas pluviais, esgotos, eletricidade ou telefone, mesmo que abandonadas, ou em áreas sujeitas à inundação.

Art. 9º No prazo de um ano a partir da data de vigência desta resolução, nas matérias publicitárias, bem como nas embalagens ou produtos descritos no artigo 1º, deverão constar, de forma visível, as advertências sobre os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, bem como a necessidade de, após seu uso, serem devolvidos aos revendedores ou à rede de assistência técnica autorizada, para repasse aos fabricantes ou importadores.

Art. 10 Os fabricantes devem proceder gestões no sentido de que a incorporação de pilhas e baterias, em determinados aparelhos, somente seja efetivada nas condições de poderem ser facilmente substituídas pelos consumidores após sua utilização, possibilitando o seu descarte independentemente dos aparelhos.

Art. 11 Os fabricantes, os importadores, a rede autorizada de assistência técnica e os comerciantes de pilhas e baterias descritas no Art. 1º ficam obrigados a, no prazo de 12 (doze) meses contados a partir da vigência desta resolução, implantar os mecanismos operacionais para a coleta, transporte e armazenamento.

Art. 12 Os fabricantes e os importadores de pilhas e baterias descritas no Art. 1º ficam obrigados a, no prazo de 24 meses, contados a partir da vigência desta Resolução, implantar os sistemas de reutilização, reciclagem, tratamento e/ou disposição final, obedecida a legislação em vigor.

Art. 13 As pilhas e baterias que atenderem aos limites previstos no artigo 6º, poderão ser dispostas, juntamente com os resíduos domiciliares, em aterros sanitários licenciados.

Parágrafo Único Os fabricantes e importadores deverão identificar os produtos descritos no caput deste artigo, mediante a aposição nas embalagens e, quando

couber, nos produtos, de símbolo que permita ao usuário distingui-los dos demais tipos de pilhas e baterias comercializados.

Art. 14 A reutilização, reciclagem, tratamento ou a disposição final das pilhas e baterias abrangidas por esta resolução, realizadas diretamente pelo fabricante ou por terceiros, deverão ser processadas de forma tecnicamente segura e adequada, com vistas a evitar riscos à saúde humana e ao meio ambiente, principalmente no que tange ao manuseio dos resíduos pelos seres humanos, filtragem do ar, tratamento de efluentes e cuidados com o solo, observadas as normas ambientais, especialmente no que se refere ao licenciamento da atividade.

Parágrafo Único Na impossibilidade de reutilização ou reciclagem das pilhas e baterias descritas no artigo 1o, a destinação final por destruição térmica deverá obedecer as condições técnicas previstas na NBR-11175 - Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos - e os padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA No 003, de 28 de junho de 1990.

Art. 15 Compete aos órgãos integrantes do SISNAMA, dentro do limite de suas competências, a fiscalização relativa ao cumprimento das disposições desta resolução.

Art. 16 O não cumprimento das obrigações previstas nesta Resolução sujeitará os infratores às penalidades previstas nas Leis nr 6938, de 31 de agosto de 1981, e nr 9605, de 12 de fevereiro de 1998.

Art. 17 Esta Resolução entre em vigor na data da sua publicação.

ANEXO IV
ROTEIRO DE ENTREVISTA

Nome:

Cargo:

Nome da empresa:

Produto fabricado:

Perguntas:

1. Quais são os contaminantes a serem eliminados da mistura com o chumbo no processo de refino?
2. Quais são os produtos utilizados no processo de refino do chumbo?
3. Como são os processos para obtenção do chumbo puro e do chumbo em forma de liga com outros materiais?
4. Qual o tempo necessário para se obter o chumbo puro?
5. Que tipo de análise é feita para identificação dos teores de cada elemento presente na mistura com chumbo?