



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Ciências e Tecnologia
Unidade Acadêmica de Engenharia Química
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

AVALIAÇÃO DO USO DE CO-PRODUTO (FINOS DE CARVÃO) NA OBTENÇÃO DO CHUMBO ATRAVÉS DE SUCATAS DE BATERIAS

Orientadores: Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo.
Prof. Dr. Romildo Pereira Brito.

Mestrando: Gustavo Gomes Sampaio Cursino

Campina Grande
Abril/2007

*AVALIAÇÃO DO USO DE CO-PRODUTO (FINOS DE CARVÃO) NA OBTENÇÃO
DO CHUMBO ATRAVÉS DE SUCATAS DE BATERIAS*

Gustavo Gomes Sampaio Cursino

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA QUÍMICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE, COMO PARTE DOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM
ENGENHARIA QUÍMICA.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: OPERAÇÕES E PROCESSOS

ORIENTADORES: PROF. DR. GILMAR TRINDADE DE ARÁÚJO
PROF. DR. ROMILDO PEREIRA BRITO

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

ABRIL/2007



C977a Cursino, Gustavo Gomes Sampaio
Avaliacao do uso de co-produto (finos de carvao) na
obtencao do chumbo atraves de sucatas de baterias / Gustavo
Gomes Sampaio Cursino.- Campina Grande, 2007.
56 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Quimica) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias
e Tecnologia.

1. Chumbo 2. Fino de Carvao 3. Poluicao 4. Baterias 5.
Alumina 6. Processo Bayer 7. Dissertacao I. Araujo, Gilmar
Trindade de, Dr. II. Brito, Romildo Pereira, Dr. III.
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande
(PB) IV. Título

CDU 669.4(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado
DO ALUNO PAULO GUSTAVO GOMES SAMPAIO CURSINO**

**Título: Análise Térmico-Eletrica do Conjunto Bloco Catódico e Barra
Coletora**

COMISSÃO EXAMINADORA	CONCEITO
Prof. Dr. Romildo Pereira Brito (Doutor) <hr/> <i>[Assinatura]</i> (Orientador)	<u>APROVADO</u>
Prof. Dr. Gilmar Trindade de Araújo (Doutor) <hr/> <i>[Assinatura]</i> (Orientador)	<u>APROVADO</u>
Prof. Dr. André Luiz Fiquene de Brito (Doutor) <hr/> <i>[Assinatura]</i> (Examinador Externo)	<u>APROVADO</u>
Profa. Dra. Ana Paula T. Rocha (Doutor) <hr/> <i>[Assinatura]</i> (Examinadora Externa)	<u>APROVADO</u>

Campina Grande, 24 de abril de 2007

*Dedico esta conquista a minha família por todo amor,
compreensão e apoio.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar meus passos assim como o Sol ilumina o amanhecer.

A meus pais Maria de Lourdes e Moacir Cursino e meus irmãos Júnior e Michelle, os quais considero meu porto seguro, base e razão da minha vida. E toda minha família em especial meus sobrinhos Didinho e Pedrinho, tio Gugu ama vocês.

Aos meus grandes amigos Silene Vendrasco, Eduardo Frota, Wener Miranda pela paciência, apoio, ajuda e pela dedicação em tornar possível a realização deste trabalho.

Aos professores do programa, que souberam entender o ritmo alucinante que vivemos na Alumar, especialmente, aos professores Gilmar Trindade de Araújo e Romildo Pereira Brito, pela orientação, incentivo e motivação para realização deste trabalho.

A Domingos Campos, Antonio Sousa (Sousinha) e a empresa Acumuladores Moura S.A. em Belo Jardim - Pernambuco por acreditarem no projeto e terem ajudado a transformá-lo em um projeto de provável escala industrial.

Ao pessoal do laboratório representado na pessoal de Cássio, sem deixar de agradecer, principalmente, a Silma, Lenda, Jonnathas pelo apoio com as análises.

À ALUMAR, onde representarei por Julio Diniz, o grande incentivador do programa de pós-graduação Universidade / Empresa, Heloisa que sempre esteve a frente de tudo e cuidando para que tudo estivesse em ordem, além de agradecer por todo o programa, pela oportunidade e pelo apoio financeiro.

A todos que fizeram parte da primeira turma de mestrado da Alumar, em especial Luciano "bigode" (Pernambucano, fundador do grupo "tri-metil boiando", amigo de Rufino, bebedor de meropeia, grande usuário do "simulink" e criador do jargão "Vainessa") e todos que de alguma forma me apoiaram e acreditaram que poderiam me ajudar.

RESUMO

A maior parcela do chumbo atualmente consumido no mundo destina-se à fabricação de baterias ou acumuladores chumbo-ácido para diferentes fins. Quando essas baterias chegam ao final de sua vida útil devem ser coletadas e enviadas para unidades de recuperação e reciclagem. Não há um substituto economicamente interessante para o chumbo das baterias automotivas chumbo-ácido. Estima-se que das 5,5 milhões de toneladas do metal produzido anualmente no mundo, cerca de 50 % são devidas à produção secundária, ou seja, devidas à reciclagem propriamente dita. (CEMPRE)

Normalmente, no processo de reciclagem é utilizado carbono sólido (coque de petróleo) como redutor carbotérmico. O carbono tem a função de reduzir o chumbo presente na forma de sulfatos e óxidos a chumbo metálico.

Logo, se avaliou a viabilidade da substituição parcial do coque (combustível derivado de petróleo) por finos de carvão, que é co-produto das caldeiras da refinaria da Alumar (Alumínio do Maranhão). A refinaria faz parte do consórcio de alumínio do Maranhão, um dos maiores complexos de produção de alumínio (Redução) e alumina (Refinaria) do mundo.

Testes em laboratório, onde foram analisados em duplicata, os teores de carbono fco, enxofre e poder calorífico foram realizados com o intuito de determinar a melhor proporção do "blend"¹, finos de carvão do 3 pontos diferentes de coleta da caldeira e coque de petróleo, e os melhores resultados foram o da proporção 75% coque de petróleo x 25% finos de carvão.

Palavras-chave: Reciclagem, Baterias ou acumuladores, co-produto, redutor carbotérmico, chumbo.

1 - Blend = Mistura / combinação / mistura de diversas coisas

ABSTRACT

Most part of lead consumed in the world nowadays is for the manufacturing of batteries or acid-lead accumulators used for different purposes. When the shelf life of those batteries expires, they must be discarded in recovery or recycling units. There is no substitute for lead being used in acid-lead batteries that could be interesting from the economic perspective. Today, 50% of the 5.5 million tons of metal yearly produced in the world is estimated to result from secondary production, i.e., they derive from the recycling process itself. (CEMPRE)

Usually, solid carbon (petroleum coke) is used in the recycling process as a carbothermal reductor. Carbon serves to reduce lead in the form of sulphate and oxide into metallic lead.

Soon, ideas emerged as to the feasibility to partially substitute coke (a petroleum byproduct) for coal fines, a co-product from the boilers at Alumar refinery, which is a member of the aluminum consortium in the state of Maranhão, one of the largest aluminum (Smelting) and alumina (Refinery) production complexes in the world.

Laboratory tests were conducted aiming at determining the best blend ratio and the best results were 75% petroleum coke x 25% coal fines.

Key words: Recycling, Batteries or accumulators, co-product, carbothermal reductor, lead.

SUMÁRIO

Resumo	
Abstract	
Lista de Tabelas	
Lista de Quadros	
Lista de Figuras	
Lista de Equações	
Lista de Siglas	
Lista de Símbolos	
1	Introdução----- 1
2	Breve descrição do processo de obtenção do chumbo metálico através da reciclagem de baterias automotivas----- 3
	2.1 Separação dos Componentes da Bateria----- 3
	2.2 Fornos----- 4
	2.3 Filtro Manga----- 5
	2.4 Panelas----- 5
3	Obtenção dos finos de carvão na Alumar----- 7
4	Objetivos e Metas----- 9
5	Fundamentação teórica----- 10
	5.1 Coque de Petróleo----- 12
	5.2 Carvão Mineral----- 13
6	Procedimento metodológico----- 15
	6.1 Preparação das amostras----- 15
	6.2 Caracterização ou classificação do fino de carvão----- 16
	6.3 Análises realizadas----- 21
7	Resultados e discussão----- 23
	7.1 Testes realizados na Alumar----- 23
	7.2 Testes realizados na Moura----- 35
8	Conclusões----- 36

9	Sugestão para Trabalhos Futuros-----	38
10	Bibliografia-----	39
11	Anexos-----	41
	11.1 Laudo de classificação da CETREL S.A.-----	41
	11.2 Procedimento de preparação das amostras utilizado pela Alumar-----	49
	11.3 Análises realizadas-----	50
	11.4 E-mail resposta do departamento técnico da empresa Moura-----	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação do Coque de petróleo utilizado pela Moura-----	6
Tabela 2 - Especificação do Chumbo Bruto (Espectrômetro)-----	6
Tabela 3 - Consumo / produção / Reservas de Carvão Mineral-----	14
Tabela 4 - Amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)-----	17
Tabela 5 - Amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)-----	17
Tabela 6 - Amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)-----	17
Tabela 7 - Resultado amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)-----	24
Tabela 8 - Resultado amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)-----	27
Tabela 9 - Resultado amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)-----	30
Tabela 10- Seleção dos Canais / unidades no calorímetro Parr-----	51
Tabela 11 - Seleção dos canais de calibração no LECO-----	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados dos equipamentos para cada análise.....	21
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Localização da Alumar-----	1
Figura 2-	Alimentação do moinho de quebra de bateria - Acumuladores Moura ---	4
Figura 3-	Escória (Redução feita no laboratório da Alumar)-----	5
Figura 4-	Pontos de acúmulo de finos de carvão nas caldeiras da Alumar-----	8
Figura 5-	Produção de finos na Alumar-----	8
Figura 6-	Acumulador de chumbo (bateria automotiva)-----	12
Figura 7-	Amostras das misturas-----	16
Figura 8-	Calorímetro Parr 1261-----	19
Figura 9-	Equipamento utilizado para análise de enxofre: LECO-----	21
Figura 10-	Seqüência da simulação do processo de redução do chumbo em laboratório-----	23
Figura 11-	Poder calorífico das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)-----	24
Figura 12-	Teor de enxofre amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)--	25
Figura 13-	Teor de carbono das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)-----	26
Figura 14-	Teor de carbono normalizado das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)-----	26
Figura 15-	Poder calorífico das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)-----	28
Figura 16-	Teor de enxofre das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)-----	28
Figura 17-	Teor de carbono das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)-----	29
Figura 18-	Teor de carbono normalizado das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)-----	29

Figura 19-	Poder calorífico das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo14)-----	31
Figura 20-	Teor de enxofre amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)-----	31
Figura 21-	Teor de carbono amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)-----	32
Figura 22-	Teor de carbono normalizado amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)-----	32
Figura 23-	Poder calorífico das amostras das misturas coque e finos de carvão-----	33
Figura 24-	Teor de enxofre amostras das misturas coque e finos de carvão-----	34
Figura 25-	Montagem dos tubos de vidro do LECO-----	55
Figura 26-	Montagem dos tubos de reagentes do LECO-----	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1-	Formação do chumbo metálico a partir do sulfato de chumbo-----	11
Equação 2-	Reação do sulfato de chumbo com o carbono-----	11
Equação 3-	Reação do ferro com o enxofre-----	11
Equação 4-	Cálculo do poder calorífico-----	22

LISTA DE SIGLAS

NBR	Normas Brasileiras Regulatórias
ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
CVP	Coque Verde de Petróleo
UCR	Unidade de Coqueamento Retardado
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
S.A.	Sociedade Anônima
FCC	Craqueamento Catalítico em Leito Fluidizado
EUA	Estados Unidos da América
IEA	Internacional Energy Agency
MA	Maranhão
PE	Pernambuco
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão
REPLAN	Refinaria de Paulínia
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REFAP	Refinaria Alberto Pasqualini

LISTA DE SÍMBOLOS

Pb	Chumbo
Ag	Prata
Sb	Antimônio
Te	Telúrio
As	Arsênio
Ni	Níquel
Sn	Estanho
Bi	Bismuto
Cu	Cobre
Zn	Zinco
Fe	Ferro
PbO	Monóxido de Chumbo
PbO ₂	Dióxido de Chumbo
PbSO ₄	Sulfato de Chumbo
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SO ₃	Trióxido de Enxofre
Na ₂ CO ₃	Carbonato de Sódio
CO ₂	Dióxido de Carbono
FeS	Sulfeto de Ferro
≥	Maior ou Igual a

1. INTRODUÇÃO

O Consórcio de Alumínio do Maranhão, Alumar, é um dos maiores complexos de produção de alumínio (Redução) e alumina (Refinaria) do mundo. Começou a ser implantado em julho de 1980 e, desde então, tem desempenhado papel importante na transformação do perfil industrial do Maranhão. O valor do investimento, US\$ 1,7 bilhão, e as milhares de toneladas de alumínio e alumina, produzidas em 22 anos de história dão a dimensão do negócio.

O complexo foi instalado na Ilha de São Luís (Figura 1) e desde que entrou em operação, em maio de 1984, até os dias de hoje, as relações da Alumar com a comunidade se aprofundaram. A empresa gerou emprego e renda - 92% dos seus empregados foram recrutados no Maranhão e dos US\$ 430 milhões que movimenta anualmente, uma fatia considerável fica aqui mesmo, na forma de impostos, salários, compras e serviços, gerando negócios em cadeia e assim movendo a economia. (ALUMAR)



Figura 1 – Localização da Alumar.

A refinaria da Alumar esta sendo ampliada e em consequência de tal expansão a produção de alumina irá mais que duplicar e conseqüentemente a geração de finos de carvão triplicar. Entretanto esse aumento da geração de finos ajuda a fomentar a necessidade de desenvolver um trabalho, até então pioneiro, que possibilitará a reutilização desse co-produto como substituto parcial do coque de petróleo na obtenção do chumbo metálico através da reciclagem das baterias automotivas.

Do ponto de vista econômico, o co-processamento é uma ótima oportunidade, uma vez que hoje os finos de carvão, só tem utilidade em média a cada 7 anos. Atualmente, a única aplicação deste material é no processo de recuperação e reflorestamento dos lagos de bauxita da Alumar. Com a produção atual, tais lagos têm uma vida útil de 7 anos.

Durante todo esse tempo os finos de carvão ficam sendo armazenados no pátio de cinzas, como é conhecido na Alumar. O que significa custos de: Manutenção, mão de obra e logística que envolve o transporte desse material da área das caldeiras para o pátio. Além de evitar possível construção de um novo pátio, já que será triplicada a geração de finos de carvão com a expansão da refinaria.

Todos esses custos, atividades e projetos poderão ser minimizados por meio de um contrato de venda entre a Alumar e empresas parceiras. A metalúrgica acumuladores Moura SA já demonstrou interesse em adquirir tal produto para fazer testes em planta, uma vez que os testes em laboratório realizados na própria empresa apresentaram resultados positivos.

Tal interesse deve-se pelo reconhecimento de um grande potencial de ganho e lucro para as metalúrgicas, uma vez que as mesmas estariam consumindo menos coque de petróleo. Material este que tem um custo de cerca de 2 a 3 vezes maior que o custo do co-produto das caldeiras da Alumar, ou seja, finos de carvão.

Mesmo estando embutido todos os custos de operação e transporte para levar os finos de carvão de São Luis – MA para Belo Jardim – PE a substituição parcial do coque de petróleo por finos de carvão apresenta-se como uma estratégia viável, lucrativa e pioneira para esta aplicação.

2. BREVE DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE OBTENÇÃO DO CHUMBO METÁLICO ATRAVÉS DA RECICLAGEM DE BATERIAS AUTOMOTIVAS

Nesse capítulo é apresentada uma breve descrição das etapas do processo de obtenção de chumbo metálico; mais especificamente, é abordado o processo empregado na empresa Acumuladores Moura.

2.1 A Separação dos Componentes da Bateria

É utilizado um triturador ou moinho, que é um equipamento que separa o óxido de chumbo, o chumbo, a parte plástica (polipropileno) e o separador (polietileno).

A alimentação do moinho de quebra de bateria (figura 2) é feita com auxílio de uma esteira de alimentação. Adiciona-se água para separar o óxido, o qual vai para um tanque enquanto o metal (chumbo), o separador (polietileno) e a parte plástica (polipropileno) cai em uma esteira. Esta segunda esteira leva-os para outro tanque com água onde o metal é separado. A separação é feita através da diferença de densidade. Em seguida o separador e a parte plástica vão para outra esteira que são direcionadas para outro tanque com água e são separados pela diferença de densidade dos materiais.

A parte plástica é armazenada em uma baía e posteriormente vai para a reciclagem de plástico para ser produzida a caixa para as baterias. O óxido e o separador são armazenados numa outra baía, onde ficam de 8 a 10 dias secando para serem utilizados nos fornos para obtenção do chumbo. O metal é misturado cerca de 20% na carga de óxido que vai para o forno. (Processo reciclagem baterias automotivas)

2.2 Fornos

Os fornos são os equipamentos que produzem o chumbo bruto. Eles recebem em torno de 13000 kg de carga de matéria prima (80% da carga total do forno) e 2990 Kg de fundentes (20% da carga total do forno) totalizando uma carga de 15990Kg (carga total do forno).



Figura 2 – Alimentação do moinho de quebra de bateria - Acumuladores Moura.

A carga de matéria prima é composta de 56% de pasta de óxido proveniente do moinho de quebra de bateria, 16% de chumbo metálico também proveniente do moinho de quebra e 8% pó de filtro vindos dos filtros manga (exaustores).

Os fundentes são 10% de ferro metálico (cascalho), 3% barrilha (Na_2CO_3) e 7% de *coque de petróleo*. (Vide Tabela 1)

Dos 13000 Kg de matéria prima adicionadas ao forno cerca de 60% será transformado em chumbo metálico, 5% será pó de filtro e o restante 35% será escória.

A escória produzida no forno de fundição do chumbo é classificada como resíduo perigoso, segundo a norma brasileira NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT), tendo como destino final a disposição em aterros industriais para resíduos perigosos.

A escória gerada nos fornos de fundição de chumbo tem o ferro como elemento principal. Os outros elementos de maior concentração são o enxofre, o sódio e o chumbo em menores quantidades (Lewis, A. E., Beaument, C.). Logo após a sua geração, a escória (figura 3) possui uma coloração preta, caracterizada pela presença de óxido de ferro, FeO , e é altamente básica. Após um período de armazenamento de mais ou menos 6 semanas, ela passa a ter uma coloração marrom devido à oxidação do ferro e a sua basicidade diminui.



Figura 3 – Escória (Redução feita no laboratório da Alumar).

2.3 Filtro Manga

Os filtros servem para capturar o PbO (óxido de chumbo) que são liberados pelos gases da fundição nos fornos. O pó desses filtros contém em sua composição cerca de 50% de chumbo, por isso é tão importante que tal material seja adicionado ao processo.

2.4 Panelas

As panelas são os equipamentos que fazem o refino do chumbo, ou seja, é onde será preparado o chumbo mole com 99,99% composto pelo metal ou pelas ligas desejadas.

Elas têm a capacidade de refinar em torno de 30000 Kg de chumbo. Tanto o tempo quanto a temperatura do refino irão variar de acordo com a liga desejada, mas uma média é em torno de 35 horas e a uma temperatura em torno de 500 °C.

Depois de serem feitas as análises pelo espectrômetro e tendo sido atendidas as especificações (Tabela 2) o metal está liberado para o lingotamento, aonde são lingotados em moldes de 35 kg.

Tabela 1 – Especificação do Coque de petróleo utilizado pela Moura.

Análise Imediata	
Umidade (%)	8 - 10
Material Volatil (%)	10 - 13
Teor Cinzas (%)	0,3 - 0,7
PCI (Kcal/Kg)	7.850
PCS (Kcal/Kg)	8.200
Análise Elementar	
Carbono total (%)	81-85
Hidrogênio(%)	3,6
Nitrogênio (%)	1,77
Enxofre (%)	4,5 - 6,0
Cloretos(%)	< 0,0001
Oxigênio(%)	1

Fonte: Especificação Acumuladores Moura S.A.

Tabela 2 – Especificação do Chumbo Bruto (Espectrômetro).

Especificação Chumbo Bruto (máximos)	
Pb (%)	96,4
Ag (%)	0,3
Sb (%)	2,9
Te(ppm)	4,2
As(%)	0,2
Ni(ppm)	5,3
Sn(%)	0,2
Bi(ppm)	73,8
Cu(ppm)	365,2
Zn(ppm)	3,6

Fonte: Dados históricos Acumuladores Moura S.A.

3. OBTENÇÃO DOS FINOS DE CARVÃO NA ALUMAR

Em toda a área da Refinaria da Alumar é utilizado vapor produzido em suas caldeiras. A Alumar possui atualmente 03 (três) caldeiras à carvão, com capacidade de geração de vapor de 70 t/h por caldeira. Com o advento da expansão tais caldeiras serão substituídas (em 2008) por 02 (duas) novas caldeiras de leito fluidizado, também a carvão, que juntas possuirão a capacidade de produzir 560 t/h de vapor.

Hoje a alimentação do carvão nas caldeiras é feita por quatro alimentadores-espalhadores e a queima se processa, parte em suspensão (partículas finas), parte sobre a grelha rotativa.

Entre os pontos de acúmulo de finos de carvão nas caldeiras da Alumar (figura 4) destacam-se os finos de carvão gerados pela grelha que são armazenados numa moega frontal, que retém 75% do total de finos produzidos. Há ainda 2 moegas de fundo da grelha, que coletam 1% do total dos finos. O restante se compõe de finos volantes.

Antes que os gases saiam pela chaminé, devem-se remover as partículas de finos. As partículas maiores que 40 micra são coletadas por dois ciclones (paralelos) e depositadas em moegas. O ciclone primário retém cerca de 90% dos finos transportados, e o secundário cerca de 8%. Destas 4 moegas, 4 válvulas rotativas despejam os finos (volantes) no sistema de reinjeção de finos, pois por serem praticamente carvão com baixa granulométrica e possuir um alto poder calorífico, são reciclados novamente nas caldeiras.

Há ainda o filtro de mangas, capaz de reter as partículas inferiores a 40 micra e responsável pela coleta de 2% dos finos transportadas. É formado por 8 compartimentos cada qual podendo funcionar independente um do outro.

Após o filtro há um ventilador de tiragem induzida que succiona os gases de combustão, a fim de manter a fornalha sob uma pressão de 2 mm.c.a. Daí, os gases já podem ser expelidos pela chaminé.

Os finos, com exceção dos acumulados no ciclone (onde parte são reinjetados), são então transportados pelo sistema de vácuo, gerado por um conjunto de bombas de vácuo, para o silo de estocagem (Silo 14) com capacidade para 350 toneladas. O transporte de finos volantes e de fundo é interligado.

Em seguida, os finos do Silo 14 e dos Ciclones são transportados e dispostos em um pátio específico para estocagem. (Reuso de Fino de Carvão em Cimenteira)

Atualmente tem-se uma geração média de 2143,6 ton/mês de finos; com a Expansão da Refinaria teremos uma geração de 7200 ton/mês de finos, como pode ser visto na projeção da produção de finos da Alumar (Figura 5).

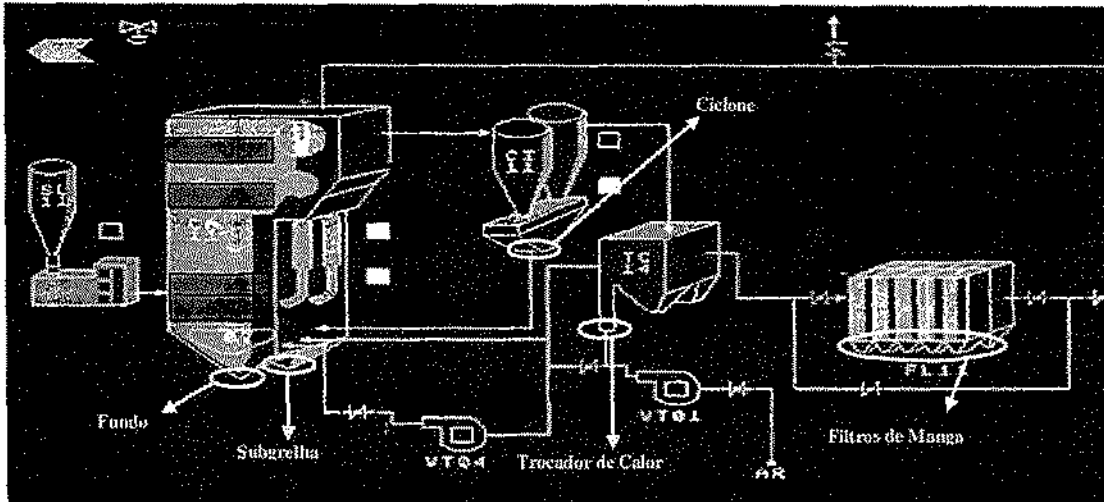


Figura 4 – Pontos de acúmulo de finos de carvão nas caldeiras da Alumar

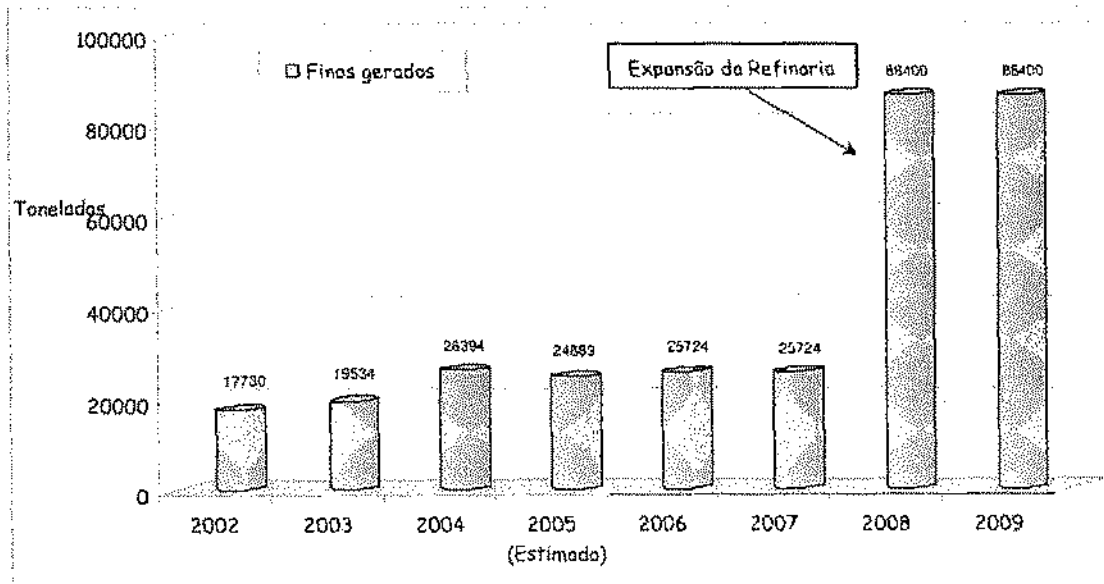


Figura 5 – Produção de finos na Alumar.

4. OBJETIVOS E METAS

O objetivo desta dissertação de mestrado foi avaliar a viabilidade da substituição parcial do coque (combustível derivado de petróleo) por finos de carvão, co-produto das caldeiras da Refinaria da Alumar, rico em carbono. Foi utilizado finos de carvão como redutor carbotérmico no processo de obtenção do chumbo metálico através da redução do chumbo presente na forma de sulfatos e óxidos ($PbSO_4$, PbO_2 e PbO) nas baterias automotivas.

Para alcançar o objetivo acima citado, as seguintes atividades foram desenvolvidas:

- ✓ Classificação dos finos de carvão conforme metodologia da Associação Brasileira de Normas Técnicas, (ABNT 10.004 de 2005) e a caracterização físico-química foi realizada com base no Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 20ª edição de 1998. Tendo o laudo sido realizado pela empresa Cetrel S.A. empresa de proteção ambiental, localizada em Camaçari, Bahia.
- ✓ Quantificar os teores de carbono fixo, enxofre e poder calorífico de diferentes composições e percentuais da mistura entre o coque e os finos de carvão, com intuito de determinar a melhor proporção.
- ✓ Determinar a melhor proporção coque e finos de carvão para o processo de redução do chumbo através da reciclagem das baterias automotivas.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

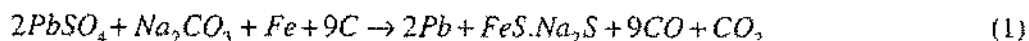
A principal matéria-prima para a indústria de chumbo secundário é a bateria ácido-chumbo descarregada (figura 6). Quando chega ao final do seu ciclo de vida, esse tipo de bateria se torna um resíduo perigoso e deve ser reciclado. A primeira etapa é a trituração das baterias ácido-chumbo e separação dos seus diferentes componentes. Dessa primeira etapa obtêm-se:

- Pasta descarregada: massa ativa da bateria que foi descarregada, contendo, como composto principal sulfato de chumbo, mas também contendo óxidos de chumbo;
- Grade e conectores triturados: materiais constituídos principalmente pelo chumbo metálico da bateria;
- Eletrólito: solução eletrolítica de ácido sulfúrico que é estocada e neutralizada (mistura de cal para iniciar processo de destilação), filtrado para recuperação dos óxidos e a solução retorna para reutilização;
- Separadores: material constituído de polietileno, borracha, papel ou madeira que evita o contato entre as placas positivas e negativas. Esse material compõe a carga do forno rotativo contribuindo com valor energético na sua operação;
- Polipropileno: material que forma a carcaça da bateria, sendo vendido, reciclado e posteriormente reutilizado na produção de caixas e tampa de novas baterias.

A pasta descarregada, a grade e conectores triturados e os separadores seguem para a etapa de recuperação do chumbo, através da redução em um forno rotativo. O chumbo segue o processo de: separação, fundição, refino, lingotamento até a fabricação de novas baterias. Alguns materiais são adicionados para compor a carga do forno e promover as condições necessárias para que ocorra a redução e recuperação do chumbo.

Normalmente, é utilizado carbono sólido (coque) como redutor carbotérmico. O carbono tem a função de reduzir o chumbo presente na forma de sulfato de chumbo ($PbSO_4$) dióxido de chumbo (PbO_2) e monóxido de chumbo (PbO) a chumbo metálico (Pb). O material adicionado que mais contribui para a formação da escória é o ferro. Ele age como coletor do enxofre, fixando-o e formando sulfeto de ferro (FeS), além de servir como um receptor das impurezas presentes na matéria-prima. O material mais comumente utilizado como fundente é o carbonato de sódio, Na_2CO_3 . Ele tem a função de baixar o ponto de

fusão e diminuir a viscosidade da escória. A combustão entre oxigênio e gás natural, ou óleo combustível, é usualmente utilizada para fornecer o calor necessário para o processo. (Queneau, P.B.) descreveram a reação dos compostos de chumbo de acordo com diferentes relações com os fundentes e a distribuição dos diferentes produtos obtidos. A reação abaixo descreve a formação do chumbo metálico a partir do $PbSO_4$.



(O'Connell, G.J.) sugerem que a reação inicial que ocorre com o $PbSO_4$ ao reagir com o carbono é:



Posteriormente, o ferro atua como coletor do enxofre:



Nota-se que o carbonato de sódio não participa das reações (2) e (3) propostas. Nesse caso, ele é encarado apenas como um material para conferir maior fluidez à escória, diferentemente do que ocorre na reação (1) proposta.

Comparando as reações propostas por QUENEAU et al. (1989) e O'CONNELL et al. (1989), a razão molar Fe:S na carga para o primeiro mecanismo é 0,5:1, enquanto que para o segundo mecanismo a razão sobe para 1:1.

Com o propósito de co-processar os finos de carvão (rico em carbono) oriundo da queima do carvão mineral nas caldeiras da Alumar, esse trabalho propõe a utilização de tais finos junto ao coque cuja função é a de redutor carbotérmico, reduzindo assim o consumo de coque no processo de reciclagem do chumbo das sucatas de bateria, como descrito acima.

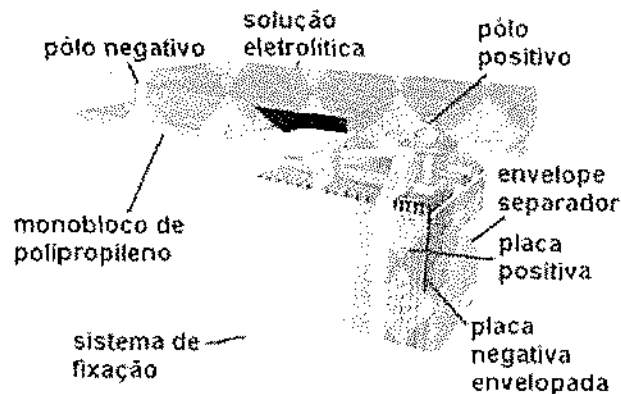


Figura 6. Acumulador de chumbo (bateria automotiva)

5.1 Coque de Petróleo

O coque verde de petróleo (CVP) é um produto sólido, obtido a partir do craqueamento de óleos residuais pesados em unidades de conversão de resíduos denominadas unidades de coqueamento retardado (UCR). Nesses locais é feita a destruição de resíduos da destilação de petróleo, com o objetivo de obtenção de derivados claros.

Existem dois tipos principais de CVP: o esponja e o agulha. O primeiro é obtido a partir de óleos residuais destilação a vácuo, onde a carga da unidade pode também ser transformada em óleos combustíveis e asfalto. O segundo é obtido a partir de óleos aromáticos pesados, normalmente geradores em processo de conversão térmica (alcatrão de craqueamento térmico) e/ou catalítico (óleo decantado de FCC). O primeiro tipo é o mais comum em todo o mundo, atingindo cerca de 90% da produção mundial e é aquele produzido pelas unidades da Petrobras.

Os principais parâmetros dos coques tipo esponja são teores de carbono fixo, voláteis, cinzas, enxofre e metais; poder calorífico; dureza; granulometria.

A aplicação do CVP em cada segmento industrial é feita de acordo com a combinação de suas características de fabricação. Apenas a título de exemplo, **no segmento metalúrgico predominam o teor de enxofre e a granulometria.**

O mercado onde o coque verde tem aplicação é vastíssimo, talvez se constituindo no produto (derivado direto do petróleo) com o maior potencial de utilização industrial.

O coque verde pode ser utilizado em siderurgia (sinterização, pelotização, alto-forno, fabricação de coque metalúrgico), cimento, termo-elétricas a carvão, carbetos, ferro-gusa, ferro-ligas, fundição metalurgia dos não ferrosos (cobre, chumbo, níquel, alumínio, zinco), calcinação, cerâmica, gaseificação, secagem de grãos e alguns usos químicos.

A crescente demanda por produtos claros e a disponibilidade decrescente propiciaram o desenvolvimento da produção de CVP, tornando-o um substituto do carvão em muitas aplicações metalúrgicas e energéticas.

A produção de CVP iniciou-se na década de 70, na RPBC, e foi absorvida pela empresa Petrocoque, na Baixada Santista, para a fabricação de coque calcinado. Atualmente a Petrobras produz cerca de 1,5 milhão de toneladas anuais em quatro unidades, sendo duas na RPBC (Refinaria Presidente Bernardes de Cubatão) (600.000 t/ano), uma na REGAP (Refinaria Gabriel Passos) (360.000 t/ano) e uma na REPLAN (Refinaria de Paulínia) (600.000 t/ano). Estão aprovadas as construções de mais três unidades, sendo uma na REPLAN, uma na REDUC (Refinaria Duque de Caxias) e uma na REFAP (Refinaria Alberto Pasqualini), que deverão elevar a produção para cerca de 3,0 milhões de toneladas anuais.

A produção mundial encontra-se no nível de 60 milhões de toneladas anuais, com 70% concentrados nos EUA (BR)

5.2 Carvão Mineral

O consumo mundial de carvão cresceu 5%, dos quais a Ásia é responsável por 56% do carvão consumido no mundo. (BP)

O carvão é uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos, como ocorre com todos os combustíveis fósseis. Sua qualidade, determinada pelo conteúdo de carbono, varia de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos. A turfa, de baixo conteúdo carbonífero, constitui um dos primeiros estágios do carvão, com teor de carbono na ordem de 45%; o linhito apresenta um índice que varia de 60% a 75%; o carvão betuminoso (hulha), mais utilizado como combustível, contém cerca de 75% a 85% de carbono, e o mais puro dos carvões; o antracito, apresenta um conteúdo carbonífero superior a 90%.

Da mesma forma, os depósitos variam de camadas relativamente simples e próximas da superfície do solo e, portanto, de fácil extração e baixo custo, a complexas e profundas camadas, de difícil extração e custos elevados.

Em termos de participação na matriz energética mundial, segundo o Balanço Energético Nacional de 2003 (ANEEL), o carvão era responsável por cerca de 7,9% de todo o consumo mundial de energia e de 39,1% de toda a energia elétrica gerada. No âmbito mundial, apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o carvão ainda é uma importante fonte de energia. As principais razões para isso são as seguintes: i) abundância das reservas; ii) distribuição geográfica das reservas; iii) baixos custos e estabilidade nos preços, relativamente a outros combustíveis.

Embora fontes renováveis, como biomassa, solar e eólica, venham a ocupar maior parcela na matriz energética mundial, o carvão deverá continuar sendo, por muitas décadas, o principal insumo para a geração de energia elétrica, especialmente nos países em desenvolvimento.

De acordo com a agência internacional de energia, o carvão continuará desempenhando um papel extremamente importante nas próximas décadas no que diz respeito a fornecedor de energia mundial. Entretanto se faz necessária co-operação entre governos, iniciativa privada, corporações e indústrias para acelerar melhorias na performance ambiental do uso de carvão. Novas políticas são necessárias para encorajar os empregadores a investir em tecnologias mais eficientes e limpas no uso do carvão, o que significaria uma grande redução das emissões de gases poluentes que afetam e provocam o efeito estufa, através da captura e acúmulo de gás carbônico (CO₂) (IEA).

A Tabela 3 apresenta os dados de consumo e produção de carvão mineral no mundo.

Tabela 3 – Consumo / produção / Reservas de Carvão Mineral

	Consumo		Produção		Reserva	
	10 ⁶ ton	Participação no total (%)	10 ⁶ ton	Participação no total (%)	10 ⁶ ton	Participação no total (%)
América do Norte	613,9	21	615,3	21,3	254432	28
América do sul e Centra	21,1	0,7	47,3	1,6	19893	2,2
Europa e Antiga URSS	537,5	18,3	436,2	15,1	287095	31,6
África e Oriente Médio	109,3	3,7	143,4	5	50755	5,5
Ásia (Pacífico)	1648,1	56,3	1644,9	57	296889	32,7
Total	2929,9	100	2887,1	100	909064	100
Brasil	13,5	0,5	2,2	0,1	10113	1,1

Fonte: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY JUNE 2006 Disponível em: www.bp.com

6. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Esse capítulo apresenta os métodos usados na execução dos experimentos realizados durante o mestrado.

6.1 Preparação das Amostras

6.1.1 Materiais

Os finos de carvão utilizado neste trabalho foram os mesmos que foram enviados e testados na empresa, Acumuladores Moura SA localizada na cidade de Belo Jardim-PE e foi retirado das amostras coletadas no pátio de cinzas ou finos de carvão da Alumar.

O Coque foi o mesmo que é utilizado no processo de produção de ânodo da ALUMAR. Vale salientar que o mesmo coque também foi utilizado na composição das amostras que foram enviadas para Moura este coque é comprado da Petrobrás.

Todos os demais reagentes utilizados nos ensaios físico-químicos e testes são de diferentes procedências. Por exemplo: A Barrilha (Na_2CO_3) foi fornecida por empresa local de São Luís, o óxido de ferro foi fornecido por uma metalúrgica de São Luís, além da sucata de bateria que teve diferentes procedências no caso dos testes realizados na Alumar e na Moura.

6.1.2 Preparação das Misturas Coque x Finos de Carvão

Foram preparadas 15 misturas de coque com finos de carvão em proporções que variaram de 0% a 100%, em massa, de substituição de coque por finos de carvão, conforme apresentado nas Tabelas 4, 5 e 6.

As misturas foram preparadas no laboratório da refinaria da Alumar, à temperatura ambiente. A preparação das amostras foi feita utilizando-se o seguinte procedimento:

A amostra passa por um tratamento de secagem (somente o carvão) e quarteamento. Após esse processo, é passada no britador de mandíbulas (carvão e finos de carvão da

grelha) com abertura de 3/4 de polegadas e em seguida a amostra é pulverizada em moinho de panela e passada em peneira de 60 mesh.

Na Figura 7, pode-se observar fotos das misturas já preparadas prontas para análises e no anexo 11.1 tem-se o procedimento adotado pela Alumar para preparação das amostras.

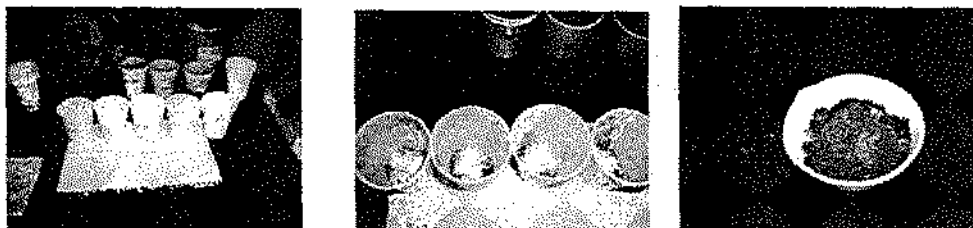


Figura 7 – Amostras das misturas.

6.2 Caracterização ou classificação do fino de carvão.

A caracterização e a classificação dos finos de carvão foram realizadas pela CETREL, localizada em Camaçari, Bahia, conforme standard method e a norma da ABNT 10.004. Neste caso, o co-produto fino de carvão, foi classificado como Resíduo Classe II A, isto é, resíduo não inerte (Ver anexo I).

Entretanto foi necessário realizar uma coleta de amostras dos finos de carvão em diferentes pontos da caldeira (ciclone e silo 14) e daí enviar tais amostras para caracterização, com o intuito de identificar se existiam grandes diferenças entre os diferentes pontos de amostragem, fato que não se comprovou, possibilitando assim realizar os testes também com o produto misturado, ou seja, com todo o fino de carvão gerado pelas caldeiras, sem necessidade de segregação por ponto de coleta e possível de ser coletado direto do pátio de cinzas ou finos de carvão da Alumar.

Além dessa classificação o teor de carbono encontrado nas amostras ficou entre 40 e 53% e poder calorífico entre 4000 e 6000 kcal/kg, ficando entre o carvão vegetal e coque de petróleo, indicando mais um item favorável a sua reutilização.

Nesta fase foram analisados, em duplicata, os teores de carbono fixo, enxofre e poder calorífico de cada uma das etapas solicitadas abaixo, com intuito de determinar a melhor proporção dos finos de carvão com o coque. As Tabelas 4, 5 e 6 apresentam a composição das amostras de acordo com o ponto de coleta dos finos de carvão.

Tabela 4 - Amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone)

Experimento	Amostra	Coque (g)	Finos de Carvão CICLONE (g)
1	A-01	10	0
2	A-02	7,5	2,5
3	A-03	5	5
4	A-04	2,5	7,5
5	A-05	0	10

Tabela 5 - Amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)

Experimento	Amostra	Coque (g)	Finos de Carvão SILO 14 (g)
1	B-01	10	0
2	B-02	7,5	2,5
3	B-03	5	5
4	B-04	2,5	7,5
5	B-05	0	10

Tabela 6 - Amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)

Experimento	Amostra	Coque (g)	Finos de Carvão CICLONE + SILO 14 (g)
1	C-01	10	0
2	C-02	7,5	2,5
3	C-03	5	5
4	C-04	2,5	7,5
5	C-05	0	10

6.2.1 Carbono Fixo

O carbono fixo é uma das características básicas para um produto ser considerado energético, além dele destaca-se a umidade; os materiais voláteis; o teor de cinzas; a densidade; e o poder calorífico.

Quanto maior a quantidade de carbono fixo, maior será a quantidade de calor gerado, pois ele é o responsável pela geração de gás. Portanto, demora mais para se transformar em cinzas. Como já foi visto a primeira etapa de formação do carvão mineral é chamada de turfa, material cuja percentagem de carbono já é bem mais elevada que a da celulose. Na etapa seguinte, que leva algumas dezenas de milhões de anos, a turfa multiplica seu teor de carbono e se transforma na primeira variedade de carvão, o linhito,

cujo nome provém de sua aparência de madeira. Na etapa seguinte, surge a hulha, primeiro como carvão betuminoso, depois como sub-betuminoso. Na fase final, a hulha se transforma em antracito, com teores de até noventa por cento de carbono fixo.

Quanto maior o teor de carbono, maior também é o poder energético. Por isso, a turfa, que em teores muito baixos e altas percentagens de umidade, nem sempre pode ser aproveitada como combustível, e nesse caso serve para aumentar a composição de matéria orgânica dos solos. Já o linhito, muito mais compacto que a turfa, é empregado na siderurgia, como redutor, graças a sua capacidade de ceder oxigênio para a combustão como matéria-prima na carboquímica. Quando o linhito se apresenta brilhante e negro, recebe o nome de azeviche.

A hulha é composta de carbono, restos vegetais parcialmente conservados, elementos voláteis, detritos minerais e água. É empregada tanto como combustível quanto como redutor de óxidos de ferro e, graças a suas impurezas, na síntese de milhares de substâncias de uso industrial. O antracito, última variedade de carvão surgida no processo de encarbonização, caracteriza-se pelo alto teor de carbono fixo, baixo teor de compostos voláteis, cor negra brilhante, rigidez e dificuldade com que se queima, dada sua pobreza de elementos inflamáveis. É usado como redutor em metalurgia, na fabricação de eletrodos e de grafita artificial. Uma de suas principais vantagens consiste em proporcionar chama pura, sem nenhuma fuligem. (CEPA)

6.2.2 Poder Calorífico

Define-se poder calorífico como sendo a energia interna contida no combustível, sendo que quanto mais alto for o poder calorífico, maior será energia contida.

Quando um combustível é queimado na presença de oxigênio e a água é um dos produtos da combustão, a temperatura da chama adiabática é alta o bastante para que a água esteja na fase de vapor. Em muitos trocadores de calor a temperatura dos produtos da combustão (sua temperatura de saída do trocador de calor) é ainda mais alta que o ponto de ebulição da água e o calor de transformação de vapor é perdido para a atmosfera. Isto reduz o "poder calorífico" do combustível para o seu "Poder Calorífico Inferior". Se o vapor d'água criado na combustão é condensado, o calor de transformação (condensação) pode

ser recuperado e a energia obtida do processo de conversão é aumentada. Estas condições produzem o “Poder Calorífico Superior” do combustível.

- **Poder Calorífico Superior (PCS)** - É a quantidade de calor produzido por 1 kg de combustível, quando este entra em combustão, em excesso de ar, e os gases da descarga são resfriados de modo que o vapor de água neles seja condensado.
- **Poder Calorífico Inferior (PCI)** - É a quantidade de calor que pode produzir 1 kg de combustível, quando este entra em combustão com excesso de ar e gases de descarga são resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando assim que a água contida na combustão seja condensada.

Como a temperatura dos gases de combustão é muito elevada nos motores endotérmicos, a água contida neles se encontra sempre no estado de vapor, portanto, o que deve ser considerado é o poder calorífico inferior e não o superior.

O poder calorífico das misturas de coque e finos de carvão foi determinado em calorímetro Parr, Figura 8, pela queima das amostras numa atmosfera de oxigênio em bomba calorimétrica sob condições controladas. A queima das amostras libera calor, e esta liberação de calor é medida pelo aumento de temperatura do banho de água que envolve a bomba em intervalos de tempo específicos. A elevação da temperatura é usada para calcular o poder calorífico.

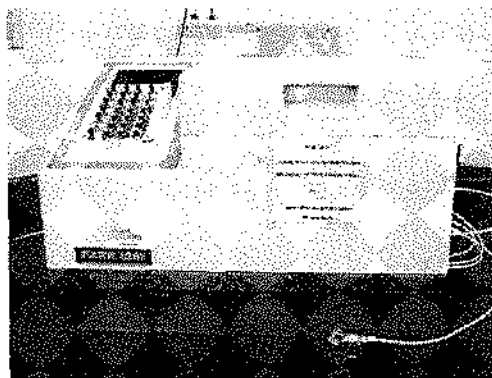


Figura 8 – Calorímetro Parr 1261

6.2.3 Teor de Enxofre

O teor de enxofre indica a concentração total dos compostos sulfurosos presentes na amostra. O enxofre é um elemento indesejável em qualquer processo que envolva queima devido à ação corrosiva de seus compostos e à formação de gases tóxicos como SO_2 (dióxido de enxofre) e SO_3 (trióxido de enxofre), que ocorre durante a combustão do produto. Em particular no processo de redução do chumbo através de sucata de baterias o teor de enxofre tem forte impacto na quantidade de escória gerada durante o processo, uma vez que o principal componente da escória é o ferro, que por sua vez é adicionado para reagir com o enxofre presente na reação de redução do sulfato de chumbo, em chumbo metálico, na etapa em que os sulfetos de chumbo reagem com o ferro tendo como resultado da reação chumbo metálico e sulfeto de ferro (componente principal da escória). Conforme apresentado nas Equações (2) e (3).

O teor de enxofre é determinado submetendo a amostra a uma combustão em um forno à temperatura de 2500 °F ($\pm 1371^\circ\text{C}$), num ambiente rico em oxigênio, onde o enxofre é convertido em SO_2 . Uma bomba de vácuo aspira os gases gerados pela queima e direciona para um sistema de detecção por infravermelho. O sistema de infravermelho produz uma radiação que só é absorvida pelo SO_2 presente na amostra. A perda de umidade dos raios infravermelhos é convertida em sinal elétrico via detector de estado sólido. Este sinal proporciona a quantidade de SO_2 gerado. O sinal elétrico é convertido em percentagem de enxofre, via fatores de calibração previamente determinados com padrões de concentrações conhecidas.

Umidade e poeira remanescente da queima da amostra são retiradas por um sistema de filtros contendo lã de vidro e perclorato de magnésio, uma vez que causam perturbações ao sistema de detecção.

O equipamento utilizado para análise de enxofre neste trabalho é o LECO, como mostrado na Figura 9.



Figura 9 – Equipamento utilizado para análise de enxofre: LECO

6.3 Análises Realizadas

As 15 amostras foram analisadas, em duplicata, no laboratório da Alumar conforme dados de análises relacionadas na Quadro 1.

Quadro 1 – Dados dos equipamentos para cada análise.

Análise	Equipamento	Modelo	Fabricante
Poder Calorífico	Calorímetro PARR 1261	C613A	PARR
Teor de Enxofre	Analizador de Carbono e Enxofre	SC 144 DR	LECO
Teor de Carbono	Analizador de Carbono e Enxofre	SC 144 DR	LECO

6.3.1 Poder Calorífico

O poder calorífico de amostras foi determinado em calorímetro Parr, pela queima de uma amostra numa atmosfera de oxigênio em bomba calorimétrica sob condições controladas. A queima da amostra libera calor, e esta liberação de calor é medida pelo aumento de temperatura do banho de água que envolve a bomba em intervalos de tempo específicos. A elevação da temperatura é usada para calcular o poder calorífico.

A preparação da amostra bem como todo procedimento adotado pela Alumar e todo o grupo Alcoa como melhor prática pode ser visto no anexo 11.3.1

Cálculo do Poder Calorífico

O poder calorífico pode ser determinado pela equação 4

$$Hc = \frac{WT - e1 - e2 - e3}{m} \quad (4)$$

Onde:

Hc = calor de combustão bruto;

W = variação da temperatura obtida;

T = energia equivalente do calorímetro;

e1 = calor produzido pela queima do nitrogênio.

e2 = calor produzido pela queima do enxofre para trióxido de enxofre e formação de ácido sulfúrico;

e3 = calor produzido pela fusão do fio.

m = massa da amostra.

6.3.2 Análises do Teor Enxofre e Carvão

Conforme citado anteriormente, o teor de enxofre foi determinado com auxílio do equipamento chamado LECO. Toda seqüência e o procedimento adotado pela Alumar e Alcoa como melhor prática encontra-se descrito no anexo 11.3.2.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em termos de resultados os mesmos devem ser separados em: Laboratório Alumar e Laboratório Moura. Isso pelo fato que ao mesmo tempo em que se estudou e se simulou no laboratório da Alumar as melhores condições para obtenção da proporção 75% coque x 25% finos de carvão (coletado no pátio de cinzas, ou seja, mistura entre o ciclone + silo 14). Foi enviado para empresa Acumuladores Moura S.A. em Belo Jardim-PE uma amostra da composição 50% coque x 50% finos de carvão (coletado no pátio de cinzas), para que as análises fossem realizadas nas condições e com base nos procedimentos adotados pelo potencial consumidor de tal material.

7.1 Testes realizados na Alumar

Pode-se observar na Figura 10 a seqüência da simulação do processo de obtenção do chumbo através de sucata de bateria, desde amostra preparada no cadinho (simulando a panela), passando pela etapa da queima na mufla (simulando o forno) até o resultado final com todos os cadinhos, infelizmente, furados impedindo uma avaliação do processo como todo.

Durante a queima na mufla, a uma temperatura de 1000°C, os cadinhos de cerâmica não resistiram à alta temperatura de reação de oxidação e vieram a furar. Tal evento não foi de todo prejudicial uma vez que só impediu a análise de qualidade e rendimento do metal reduzido, fato esse que foi coberto pela análise feita no laboratório da Moura. Entretanto as análises físico-químicas puderam ser feitas e ter resultados conclusivos como mostrado a seguir.

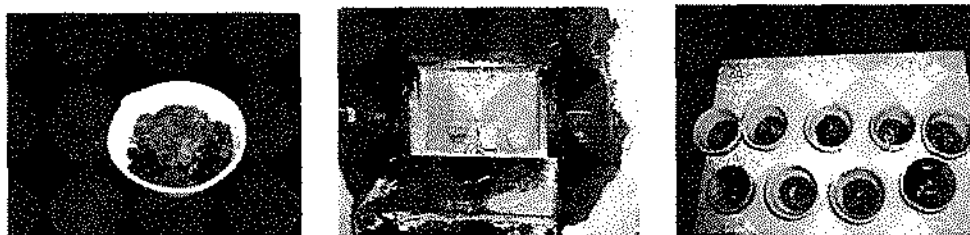


Figura 10 – Seqüência da simulação do processo de redução do chumbo em laboratório.

7.1.1. Análise utilizando os finos de carvão coletados no ciclone (etapa 1)

Os resultados das análises, entre a mistura coque e finos de carvão, realizadas no laboratório da Alumar quanto à determinação do poder calorífico, teor de enxofre e carbono, para os finos de carvão coletados no ciclone (ou etapa 1), são apresentados na Tabela 10.

Tabela 7 – Resultado amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone).

AMOSTRA	Coque (g)	Finos de Carvão- CICLONE (g)	PCI(Kcal/kg)	ENXOFRE(%)	CARBONO(%)	CARBONO(%)
			Média	Média	Média	Normalizado
A-01	10	0	7693,87	3,02	110,63	100
A-02	7,5	2,5	7347,72	2,32	106,21	96
A-03	5	5	7150,25	1,57	102,77	93
A-04	2,5	7,5	6921,91	1,05	98,50	89
A-05	0	10	6697,12	0,40	92,58	84

As Figuras 11, 12, 13 e 14 apresentam os resultados da Tabela 10 na forma gráfica. O que podemos observar quanto ao poder calorífico, Figura 11, se comparado dentre as proporções da mistura coque e finos os percentuais de 25% (A-02), 50% (A-03) e até mesmo 75% (A-04) de finos de carvão na mistura apresentam ainda valores aceitáveis, o que significa algo em torno de 10% de redução quando comparado ao coque 100% (A-01). As referidas proporções apresentaram uma redução no poder calorífico de 4,5%, 7% e 10% respectivamente.

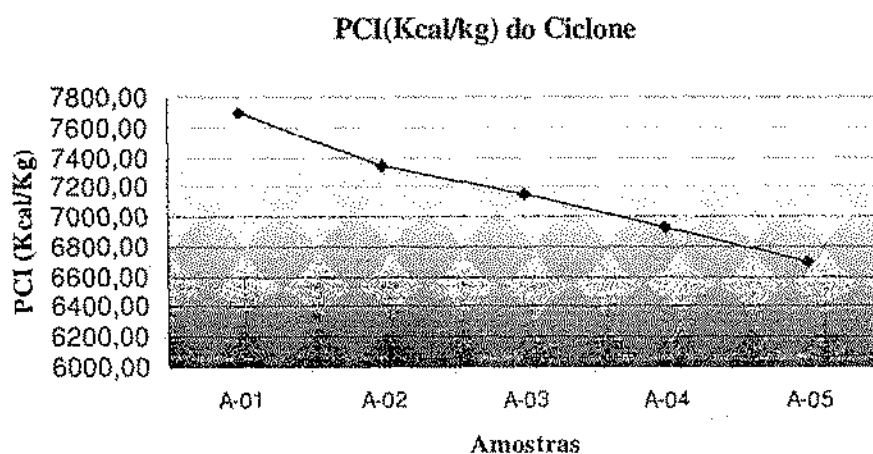


Figura 11 – Poder calorífico das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone).

Já em termos de teor de enxofre, Figura 12, dentre as proporções da mistura coque e finos os percentuais de 50% (A-03) e 75% (A-04) de finos na mistura apresentam valores bem mais baixos, o que é uma vantagem, quando comparado ao coque 100% (A-01).

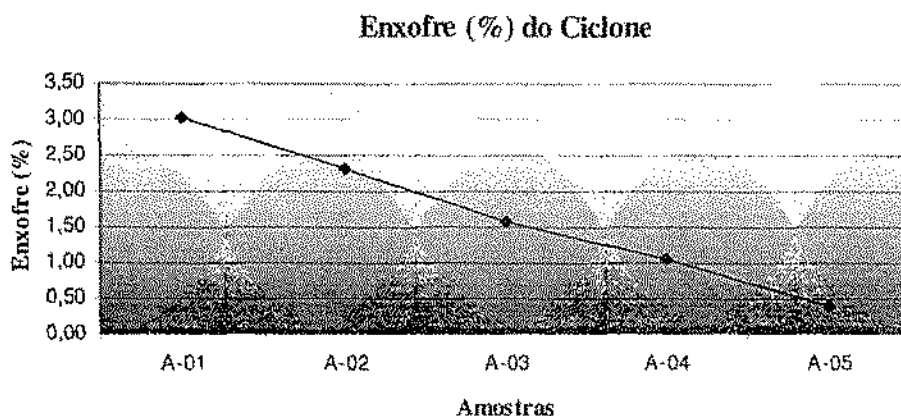


Figura 12 – Teor de enxofre amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone).

Agora, as análises de carbono, Figura 13, apresentaram um pequeno ponto de discussão uma vez que de acordo com a curva que foi utilizada durante a mesma obtivesse resultados superiores a 100%, fato este que pode ser explicado pela curva de referência que é utilizada na Alumar, logo com base nos valores padrões, de tal curva, os resultados foram superiores, isto é, maior que o valor correspondente aos 100% na curva padrão. Com isso decidiu-se normalizar a curva do teor de carbono, Figura 14 e desconsiderar tal parâmetro em termos de resultados decisórios do ponto de vista de melhor proporção entre coque e finos de carvão, mesmo sabendo que os resultados apontam para um lado positivo já que quanto maior o percentual de carbono na mistura melhor atendimento para os nossos propósitos.

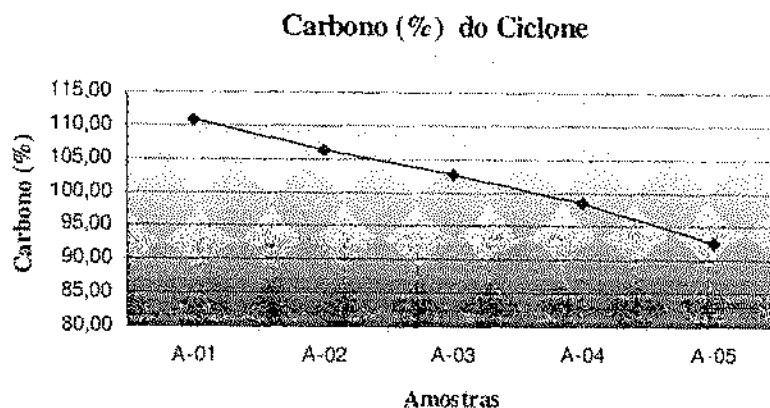


Figura 13 – Teor de carbono das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone).

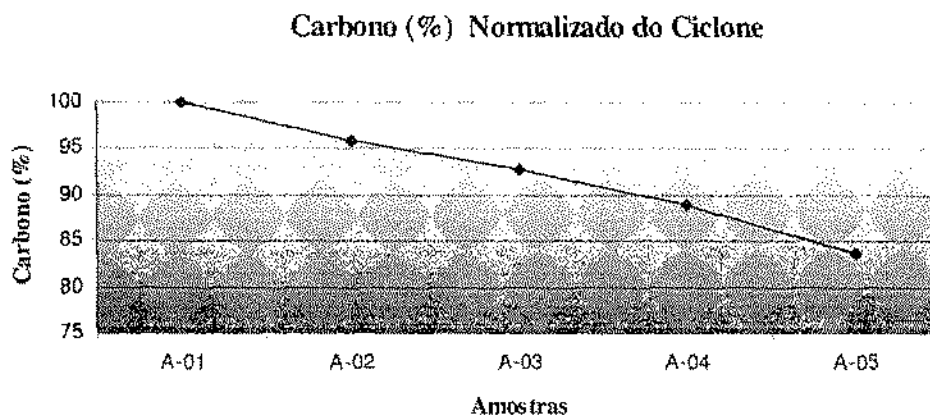


Figura 14 – Teor de carbono normalizado das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone).

Logo avaliando-se o contexto geral, ou seja, considerando-se os 3 (três) parâmetros poder calorífico, teor de enxofre e carbono, pode-se dizer que a melhor proporção ou mistura seria a de 25% coque x 75% finos de carvão (ciclone), uma vez que com essa proporção maximiza-se a substituição do coque pelos finos de carvão e ao mesmo tempo garanti-se uma mistura final com boas características, o que seria uma redução de 10% no poder calorífico e teor de carbono, redução essa que diminui o poder carbotermico da mistura. Por outro lado a redução no teor de enxofre de 65% é extremamente positiva, uma vez que quanto menor o teor de enxofre, menor a quantidade de oxido de ferro necessária

na reação, material adicionado que mais contribui para a formação da escória já que o ferro age como coletor do enxofre, fixando-o e formando sulfeto de ferro (FeS) principal componente da escória.

7.1.2. Análise utilizando os finos de carvão coletados no silo 14 (etapa 2)

Os resultados das análises realizadas no laboratório da Alumar quanto à determinação do poder calorífico, teor de enxofre e carbono, para os finos de carvão coletados no silo 14 (ou etapa 2), são apresentados na Tabela 11. As Figuras 15, 16, 17 e 18 apresentam os resultados da Tabela 11 na forma gráfica.

O que podemos observar quanto ao poder calorífico, Figura 15, se comparado dentre as proporções da mistura coque e finos, apenas a proporção de 25% (B-02) de finos na mistura apresentou valor razoável, ou seja, redução de 15%. A partir da proporção de 50% (B-03) os valores obtidos foram muito desfavoráveis, apresentando redução $\geq 41\%$ no poder calorífico. No entanto os resultados apenas usando silo 14 apresentaram-se bem abaixo dos valores obtidos quando utilizados finos coletados apenas nos ciclones, o que mostra claramente que caso deseje-se apenas utilizar finos coletados no silo 14, a proporção terá que ser menor que 25%, menor proporção de mistura testada neste trabalho.

Tabela 8 – Resultado amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14)

AMOSTRA	Coque (g)	Finos de Carvão- SILO 14 (g)	PCI(Kcal/kg)	ENXOFRE(%)	CARBONO(%)	CARBONO(%)
			Média	Média	Média	Normalizado
B-01	10	0	7693,87	3,02	110,83	100
B-02	7,5	2,5	6301,87	2,21	96,25	87
B-03	5	5	4488,60	1,90	87,77	79
B-04	2,5	7,5	4963,36	0,95	67,04	60
B-05	0	10	4076,36	0,64	58,54	53

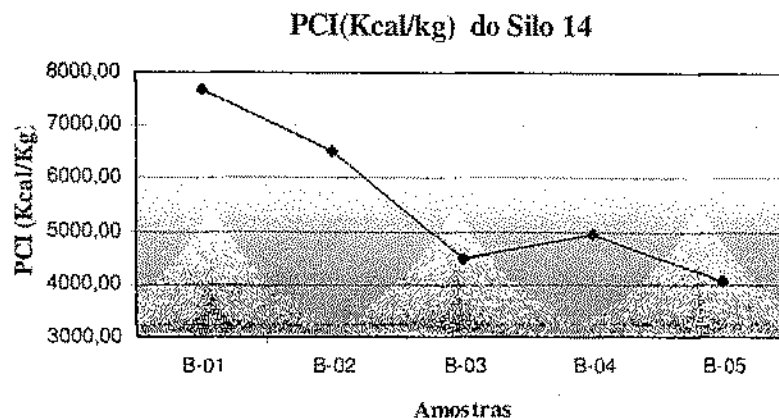


Figura 15 – Poder calorífico das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14).

Já em termos de teor de enxofre, Figura 16, dentre as proporções da mistura coque e finos os percentuais de 50% (B-03) e 75% (B-04) de finos na mistura também apresentam valores bem mais baixos, 26% e 37% o que é uma vantagem, quando comparado ao coque 100% (B-01).

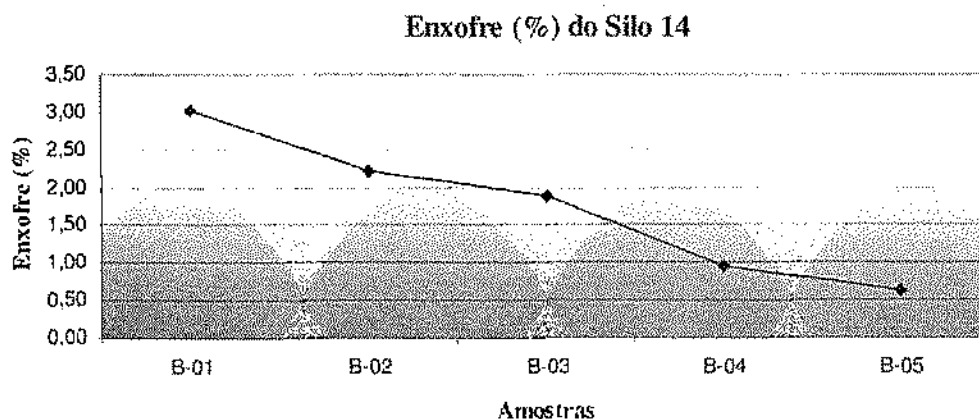


Figura 16 – Teor de enxofre das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14).

Mais uma vez, a análise de carbono, Figura 17, apresentou um pequeno ponto de discussão, desta vez apenas para a amostra (B-01), ou seja, 100% coque, fato que já tinha sido evidenciado e explicado durante a execução da etapa 1, para facilitar a análise normalizou-se a curva, Figura 18. Porém como nos resultados das análises dentre as misturas não se evidenciou tal situação e pode-se afirmar que a proporção de 25% (B-02) foi a que apresentou melhor resultado, ou seja, redução de 13% se comparado com coque 100% (B-01). A partir da proporção de 50% (B-03) a redução foi $\geq 20\%$.

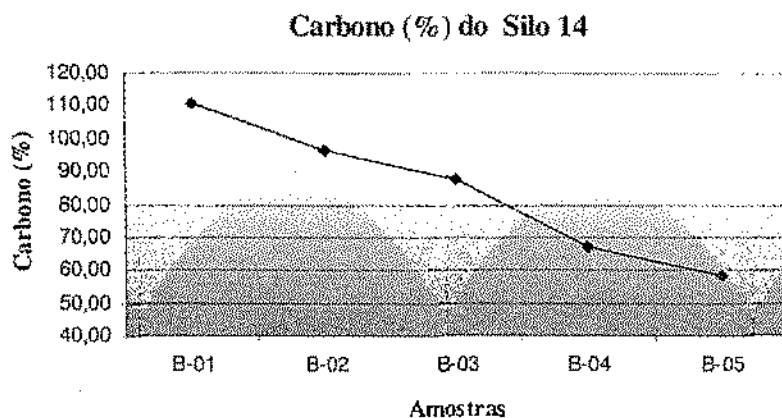


Figura 17 – Teor de carbono das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14).

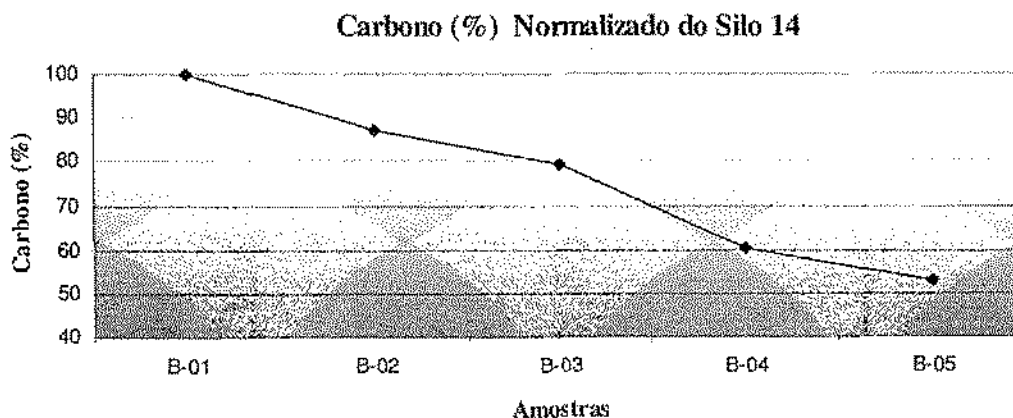


Figura 18 – Teor de carbono normalizado das amostras da mistura coque e finos de carvão (silo 14).

7.1.3. Análise utilizando os finos de carvão coletados no pátio de cinzas (ciclone + silo 14) (etapa 3)

Os resultados das análises realizadas no laboratório da Alumar quanto à determinação do poder calorífico, teor de enxofre e carbono, para os finos de carvão coletados no ciclone + silo 14 (ou etapa 3), são apresentados na Tabela 12. As Figuras 19, 20, 21 e 22 apresentam os resultados da Tabela 12 na forma gráfica.

Tabela 9 – Resultado amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14).

AMOSTRA	Coque (g)	Finos de Carvão- CICLONE(g)	Finos de Carvão- SILO 14 (g)	PCI(Kcal/kg)	ENXOFRE(%)	CARBONO(%)	CARBONO(%)
				Média	Média	Média	Normalizado
C-01	10	0	0,00	7693,87	3,02	110,83	100
C-02	7,5	1,25	1,25	6863,38	2,30	102	92
C-03	5	2,5	2,50	6132,25	1,66	93	84
C-04	2,5	3,75	3,75	5737,94	1,05	84	76
C-05	0	5	5,00	5311,57	0,53	76	68

O que podemos observar quanto ao poder calorífico, Figura 19, se comparado dentre as proporções da mistura coque e finos, apenas a proporção de 25% (C-02) de finos na mistura apresentou valor aceitável, ou seja, redução de 11% quando comparado com a amostra 100% coque (C-01), porém ainda mais baixo quando comparado a proporção 75% (A-04) da etapa 1, 10% de redução, o que mostra mais uma vez o impacto negativo do material coletado no silo 14.

Já em termos de teor de enxofre, Figura 20, dentre as proporções da mistura coque e finos os percentuais de 50% (C-03) e 75% (C-04) de finos na mistura também apresentam valores bem mais baixos, redução de 24% e 45% respectivamente, o que é uma vantagem quando comparado ao coque 100% (C-01).

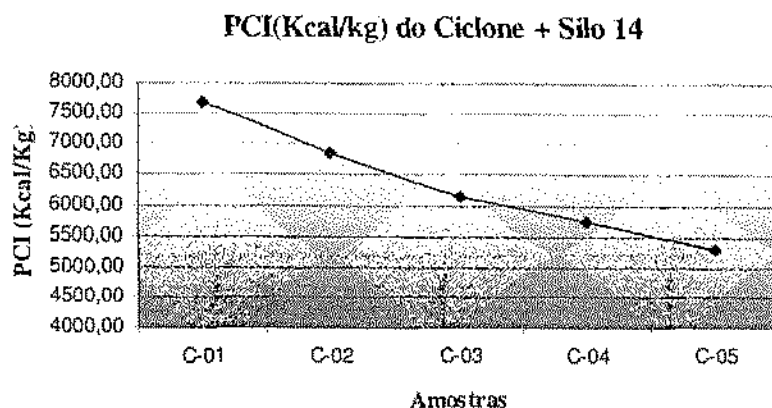


Figura 19 – Poder calorífico das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo14)

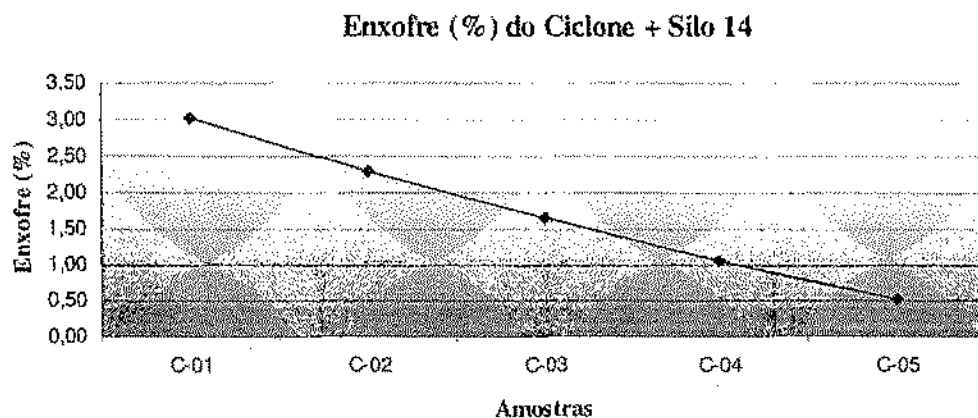


Figura 20 – Teor de enxofre das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)

Mais uma vez, a análise de carbono, Figura 21, apresentou um pequeno ponto de discussão, desta vez apenas para as amostras (C-01), ou seja, 100% coque, e (C-02) 75% coque, mas misturado com um fino de melhor qualidade que é o fino coletado no ciclone. Fato que já tinha sido evidenciado e explicado durante a execução da etapa 1. Da mesma forma decidiu-se normalizar a curva do teor de carbono, Figura 22 e desconsiderar tal parâmetro em termos de resultados decisórios do ponto de vista de melhor proporção entre coque e finos de carvão.

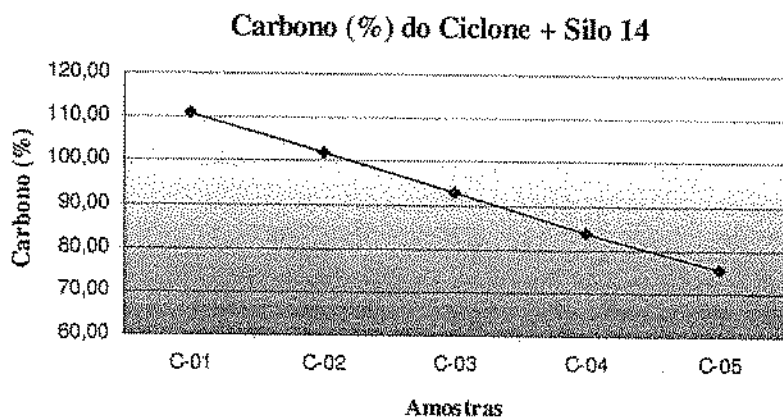


Figura 21 – Teor de carbono das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)

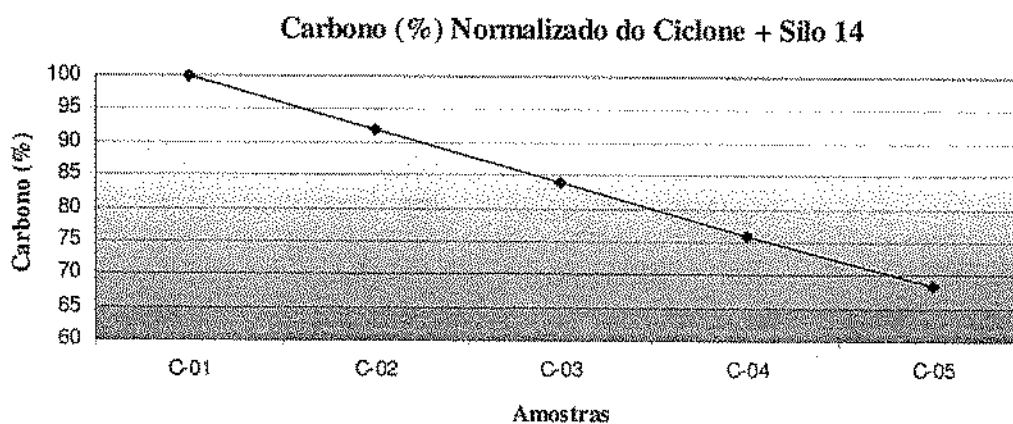


Figura 22 – Teor de carbono normalizado das amostras da mistura coque e finos de carvão (ciclone + silo 14)

7.1.4. Em resumo

O poder calorífico indica a quantidade de energia desenvolvida por unidade de massa durante a queima. Quando se analisam os resultados do poder calorífico devido a adição dos finos de carvão, Figura 23, tomando como referência máxima o poder calorífico do coque (100%), este se torna um dos parâmetros mais importantes que determinam a viabilidade da adequação dos finos de carvão como substituto, parcial, ao coque.

Como pode-se observar avaliando-se as 3 curvas, com os resultados em termos de poder calorífico para amostras coletadas no ciclone (etapa 1); no silo 14 (etapa 2) e no pátio de cinzas (mistura ciclone + silo 14), pode-se constatar que a amostra só do silo 14 é que direciona a escolha da melhor proporção como sendo a de 25% Finos de carvão e 75% coque, o que representa uma queda de 11% no poder calorífico.

Avaliando-se os resultados separadamente pode-se dizer que o material do ciclone tem um potencial de substituição do coque bem maior, o que garantiria uma maior proporção de finos de carvão na mistura com o coque. No entanto assumiu-se esta proporção de 25% como sendo a melhor pelo fato que a Alumar almeja que o material do pátio de cinzas seja priorizado.

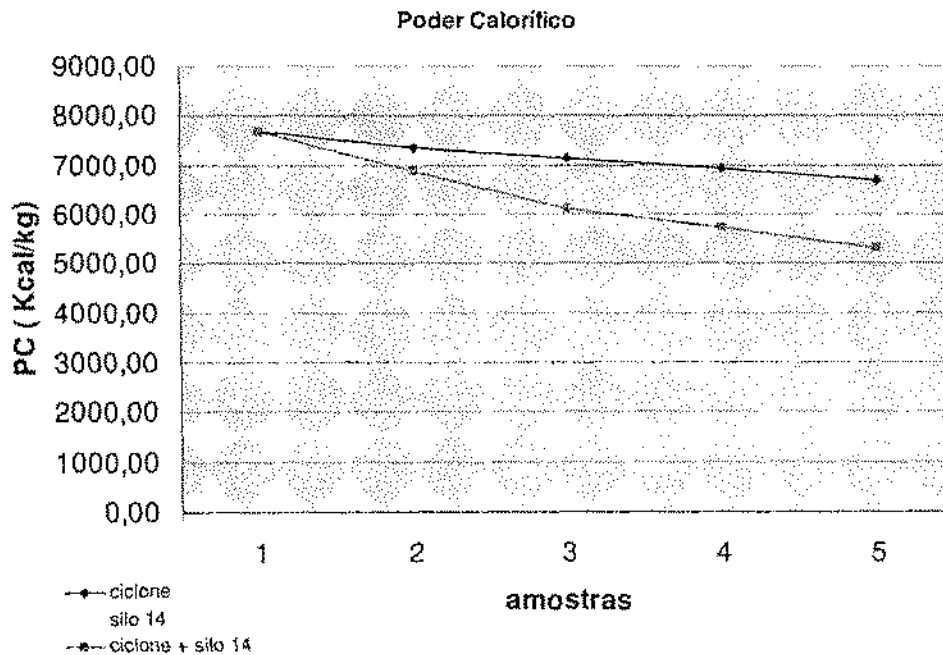


Figura 23 – Poder calorífico das amostras das misturas coque e finos de carvão

Quanto menor o teor de enxofre, melhor em termos de redutor carbotérmico, uma vez que grande parte da escória do processo de redução do chumbo é constituída de ferro, o mesmo que entra no processo para reagir com o enxofre, logo quanto menos enxofre menos ferro e conseqüentemente menos escória.

Analisando a Figura 24 fica evidente que a adição dos finos de carvão, em todas as etapas (1,2 e 3), em termos de enxofre os resultados são bem favoráveis quando comparado com a referência máxima o enxofre do coque (100%). Este é um outro parâmetro importante que determina a viabilidade da adequação dos finos de carvão como substituto, parcial, ao coque. Porém como já explicado na análise do poder calorífico o valor de melhor proporção, ou seja, 25% de finos de carvão do material coletado no pátio de cinzas (mistura do ciclone + silo 14) representa uma queda de 25% no teor de enxofre.

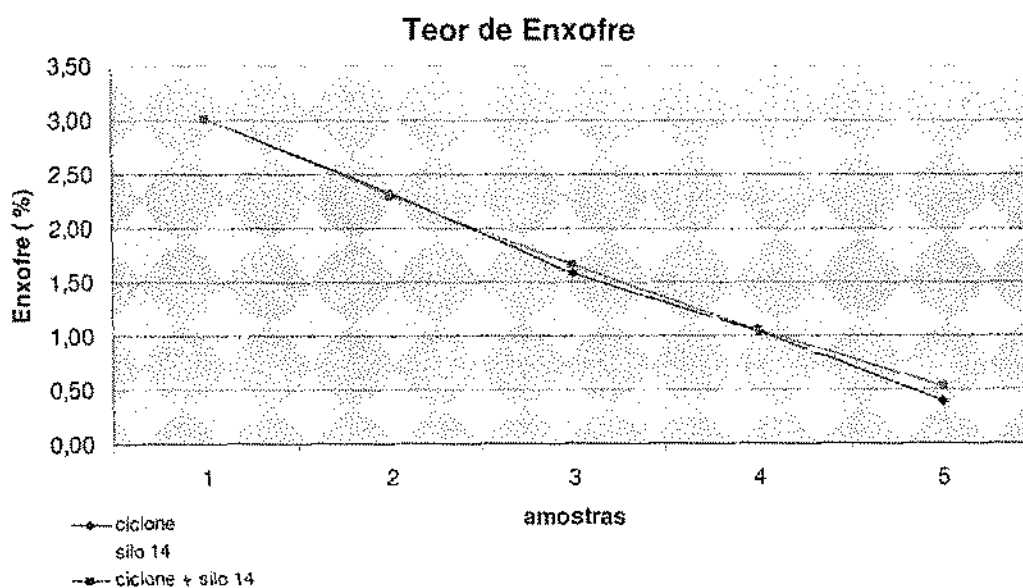


Figura 24 – Teor de enxofre das amostras das misturas coque e finos de carvão

7.2 Testes realizados na Moura

Já as análises realizadas no laboratório da Moura após simulação do processo de redução do chumbo utilizando a mistura coque (50%) e finos de carvão (50%), proporção essa que para esse trabalho assumiu-se como ideal em termos de análise de viabilidade junto à parceria Alumar / Cliente, já que quanto maior a proporção de finos de carvão utilizado em substituição do coque mais interesse e apoio se conseguiria de ambas as partes. Sendo assim os resultados foram:

Para as impurezas:

✓ Sb	0,16	%
✓ As	0,016	%
✓ Sn	0,011	%
✓ Ag	0,001	%
✓ Cu	174	ppm
✓ Te	1,661	ppm
✓ Ni	20,44	ppm
✓ Bi	56	ppm
✓ Zn	5,25	ppm
✓ Fe	2,17	ppm

Segundo o laudo do próprio engenheiro da Moura, (ver anexo 11.4) "resultado bem semelhante aos apresentados normalmente quando se faz uso de apenas coque como redutor carbotérmico".

Para as análises realizadas na Moura pode-se comprovar que o rendimento de Pb reduzido foi 5% abaixo do esperado, ou seja, o rendimento das análises foram de 64%, onde normalmente é de 69% (padrão esperado) quando utilizado 100% de coque como redutor carbotérmico. Fato esse que pôde ser ratificado com o resultado da escória de 34%, o que significa um aumento de 5% quando comparado ao uso de apenas coque. O que caracteriza a presença do Pb na escória e corrobora com a escolha da proporção 25% de finos de carvão e 75% de coque, o que garantiria resultados ainda mais próximos quando comparado com o processo utilizando apenas coque.

8. CONCLUSÕES

Tendo como base os resultados obtidos e conforme o objetivo dessa dissertação, foi possível observar a viabilidade em reduzir o chumbo a forma metálica ao substituir parte do coque por fino de carvão, utilizado no setor metalúrgico em especial no processo de reciclagem de baterias automotivas.

Observou-se que a substituição do coque pelo co-produto fino de carvão de forma parcial impacta positivamente nos teores de enxofre. Para o poder calorífico e teor de carbono o impacto deve ser avaliado juntamente com os outros parâmetros, pois o impacto da redução do poder calorífico e do teor de carbono pode ser compensado pelos ganhos em custos operacionais, sem o comprometimento da qualidade do metal recuperado, já que em termos de impurezas a adição de finos de carvão não teve impacto, ficando o metal com os mesmos níveis de impureza quando comparado ao uso de apenas coque.

Tomando como referência o coque, utilizado neste trabalho, com média de 3% de enxofre, pode-se comprovar após as análises realizadas que partindo-se do pressuposto de utilizar todo o fino de carvão gerado na queima das caldeira, ou seja, material coletado tanto no ciclone quanto no silo 14 (composição do pátio de cinzas) a melhor proporção para substituir o coque por fino de carvão é de cerca de 25%. O que resulta numa diminuição de 25% no teor de enxofre.

Entretanto como se sabe o material coletado no silo 14 é quem impede que uma maior proporção de finos de carvão seja utilizado como substituto do coque para aumentar essa proporção deve-se realizar um trabalho para priorizar do material coletado no ciclone que poderá ser vendido como co-produto e destinar o material coletado no silo 14 para estocagem no pátio de cinzas, garantindo com isso que o material de maior poder calorífico e teor de carbono (ciclone) seja sempre destinado para os clientes (empresas parceiras) e apenas o material de menor poder calórico e teor de carbono (silo 14) seja utilizado para recuperação dos lagos da Alumar.

Ao analisar o poder calorífico, observa-se uma redução de 11% no poder calorífico, causado pela mistura dos finos de carvão ao coque, que pode se tornar insignificativa se comparado com os ganhos devido à redução do consumo de coque.

Em termo de aspecto econômico levaram-se em consideração apenas possíveis ganhos por parte da Alumar e metalúrgicas parceiras. Não se fez nenhum estudo apurado já que em termos de ganhos reais uma estimativa nesta fase do trabalho seria prematura, por se tratar de uma negociação envolvendo novos produtos e novos mercados. Logo, todo estudo de viabilidade precisa ser muito bem executado e conduzido.

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Devem ser realizados novos testes para comprovar e garantir se a proporção, 75% coque x 25% finos de carvão, hoje estabelecida como melhor, ainda será após a expansão, devido a melhor eficiência das caldeiras de leito fluidizado, o teor de carbono no fino de carvão deverá cair algo em torno de 50% do atual (estimativa).

Estudo para determinar a quantidade mínima que se precisa manter estocado para garantir a quantidade de finos de carvão suficiente para ser utilizado na recuperação e reflorestamento dos próximos lagos de bauxita, evitando com isso a necessidade de comprar areia em substituição aos finos de carvão que hoje são utilizados para tal finalidade.

10. BIBLIOGRAFIA

ABNT 10.004 de 2005. Associação brasileira de normas técnicas.

ALUMAR. Homepage oficial do consórcio de alumínio do Maranhão. Disponível em: <<http://www.alumar.com.br>> Acesso em: 22 fev. 2007

ANEEL. Agência nacional de energia elétrica. Balanço de energia nacional 2003. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-Carvao\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/08-Carvao(2).pdf)> Acesso em 18 fev. 2007

BP. Global energy group. Disponível em: <<http://www.bp.com>> Acesso em: 18 fev. 2007

BR. Petrobrás distribuidora S.A. Disponível em: <<http://www.br.com.br>> Acesso em: 17 fev. 2007

CEMPRE. Compromisso empresarial para reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>> Acesso em: 20 jul. 2006

CEPA. Centro de ensino e pesquisa aplicada. Disponível em: <<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/GrupoIA/carvao.html>> Acesso em: 04 mar. 2007

IEA. International energy agency. Disponível em: <<http://www.iea.org>> Acesso em 20 fev. 2007

Lewis, A. E., Beaument, C. "Prioritizing objectives for waste reprocessing: a case study in secondary lead refining". Waste Management, p. 677-685. 2002.

O’Connell, G.J., Toguri, J.M., Pickles, C.A., Smith, D. **The distribution of impurities during soda ash smelting of battery residue.** In: Laeck, M.L. (Ed.), Primary and Secondary Lead Processing, Halifax, Nova Scotia, August 1989. Pergamon Press, New York, pp. 195–208.

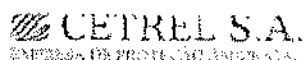
Processo reciclagem baterias automotivas. **Relatório técnico da empresa Acumuladores Moura S.A.** 2003

Queneau, P.B., Cregar, D.E., Mickey, D.K. **Optimising matte and slag composition in rotary furnace smelting of leady residues.** In: Laeck, M.L. (Ed.), Primary and Secondary Lead Processing, Halifax, Nova Scotia, August 1989. Pergamon Press, New York, pp. 145–178.

Reuso de Fino de Carvão em Cimenteira. **Relatório técnico do departamento de meio ambiente da Alumar.** 2005.

11. ANEXOS

11.1 Laudo de classificação da CETREL S.A.



LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO – LC 057/05 Rev. 00

Data: 31/10/2005

1. INTRODUÇÃO

Seguem informações sobre avaliação na amostra de Resíduo de queima do Carvão Mineral (Finos de Carvão) – Ciclone da Calcilira, coletado na ALUMAR – Consórcio de Alumínio do Maranhão, em sua caracterização com parâmetros conforme estabelece a Norma Brasileira NBR 10004 de 2004.

2. DESCRIÇÃO DO RESÍDUO AVALIADO

Conforme descrição em anexo (Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais).

3. METODOLOGIA

Esta avaliação foi realizada com base nas análises por amostra (líquido e sólido) utilizando-se as seguintes normas complementares:

ABNT NBR 10004/04 – Resíduos Sólidos;

ABNT NBR 10016/04 – Classificação de Resíduos;

ABNT NBR 10026/04 – Solubilização de Resíduos;

ABNT NBR 10007/04 – Amostragem de Resíduos – efetuada pelo Cliente.

As análises físico-químicas e metais foram realizadas com base no *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20ª edição de 1998 e metodologia Cetrel.

Os parâmetros químicos e não analisados foi em função da característica do resíduo, informados no “Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais”, em anexo.

4. RESULTADOS

Parâmetros analisados	AMOSTRA BRUTA (mg/kg)	
	Atividade	NBR 10004
Plata	1,0	10
Alumínio	50	100
Bário	78	100
Cádmio	4,0	10
Cromo	1,0	10
Cobalto	1,0	10
Cobalto	1,0	10
Cromo	1,0	10
Ferro	3121	100
Manganês	5,0	10
Sódio	1,0	10
Chumbo	4,0	10
Zinco	4,0	10

"Avaliação do uso de co-produto (finos de carvão) na obtenção do chumbo através de sucatas de baterias"

CETREL S.A.
 EMPRESA DE PROCESSAMENTO S/A

Parâmetros analisados	AMOSTRA BRUTA (mg/kg)	
	Amostra	NBR 10694
Zinco	27	NC
Cádmio	NC	NC
Cromo	<0,2	NC
Hg-MH2	2,13	NC
Metais pesados aparência de Pb	114	NC
Pb total	<0,73	NC
Potencial tóxico sua substância	6080	NC
Sulfato	1804	NC
Arsênio total	1,9	NC
Mercúrio total	<0,05	NC

Parâmetros analisados	Líquido (mg/L)		Sólido (mg/L)	
	Amostra	NBR 10694	Amostra	NBR 10694
	INORGÂNICOS		INORGÂNICOS	
Arsênio	<0,002	NC	0,007	0,10
Bário	1,1	NC	0,35	0,7
Cádmio	<0,03	0,3	<0,005	0,005
Chumbo	<0,01	0,1	<0,01	0,1
Cromo total	<0,005	0,1	<0,04	0,1
Fluoreto	0,55	0,5	1,4	1,4
Mercúrio	<0,0001	0,1	<0,0001	0,001
Prata	<0,01	0,1	<0,001	0,1
Sódio	<0,005	0,1	0,07	0,1
Alumínio	1,4	NC	3,4	0,3
Cálcio	NA	NC	<0,010	0,1
Cobalto	NA	NC	0,1	0,1
Copre	NA	NC	<0,005	0,1
Índice de ferro	NA	NC	0,1	0,1
Ferro	NA	NC	<0,01	0,1
Manganês	NA	NC	<0,005	0,1
Níquel	NA	NC	0,1	0,1
Sódio	NA	NC	1,7	1,0
Sulfato	NA	NC	1,4	1,0
Sulfatos	NA	NC	<0,05	0,1
Zinco	NA	NC	<0,1	0,1
	Líquido (mg/L)		Sólido (mg/L)	
	PESTICIDAS		PESTICIDAS	
Aldeia	NA	0,005	NA	0,0003
Dieldrin	NA	NC	NA	0,0001
Ciclodano	NA	NC	NA	0,0001
DDE	NA	0,1	NA	0,1
DDE	NA	0,1	NA	0,1
DDE	NA	0,1	NA	0,1
2,4-D	NA	0,1	NA	0,1
Endrin	NA	0,06	NA	0,0005
Heptacloro heptox.	NA	0,1	NA	0,0001
Lindano	NA	0,1	NA	0,0001
Metoxolona	NA	0,1	NA	0,0001
Permetrina	NA	0,1	NA	0,1
Torfoleno	NA	0,1	NA	0,0001
2,4,5-F	NA	0,1	NA	0,0001
2,4,5-F	NA	0,1	NA	0,0001
	OUTROS ORGÂNICOS		OUTROS ORGÂNICOS	
Benzeno	NA	0,1	NA	0,1
Benzolopireno	NA	0,1	NA	0,1
Cloro de vinil	NA	0,1	NA	0,1
Clorobenzeno	NA	0,1	NA	0,1



Parâmetros analisados	Limites (mg/L)		Ocorridos (mg/L)	
	Amostra	NBR 10004	Amostra	NBR 10004
	OUTROS ORGÂNICOS		OUTROS ORGÂNICOS	
Acetona	NA	0,2	NA	NA
1,4-Diclorobenzeno	NA	0,5	NA	NA
1,2-Dicloroetano	NA	0,5	NA	NA
1,1-Dicloro-eteno	NA	0,5	NA	NA
2,4-Dinitrofenol	NA	0,03	NA	NA
Hexadecilbenzeno	NA	0,1	NA	0,001
Hexadecilciclohexano	NA	0,5	NA	NA
Hexano	NA	0,5	NA	NA
Octa	NA	4,0	NA	NA
Tetracloroetano	NA	0,5	NA	NA
Tricloroeteno	NA	0,5	NA	NA
2,4,6-Triclorofenol	NA	0,05	NA	NA
2,4,6-Triclorofenol	NA	0,5	NA	NA
Trifluoreto	NA	0,5	NA	NA
Metilacetona	NA	0,05	NA	NA

NA = não analisado devido às características da amostra.

0L = parâmetro não exigido pela norma em referência.

5. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS - CONCLUSÃO

Informações adicionais	Resultado			
Determinação da solução extratora	Solução nº 1 (conforme item 5.1.3 da NBR 10.004/2004)			
Teor de resíduo seco	100 %			
pH do extrato	Inicial		Final	
	7,41		2,95	
Tempo total de lixiviação	19h30min totais			
Volume líquido obtido	Não se aplica (resíduo 100% sólido)			
Teste de Corrosividade (pH 1,1)	Tempo (minutos)			
	15	30	60	120
	3,41	3,45	3,47	3,35

Resíduo não é corrosivo (item 4.2.1.2 da NBR 10.004/2004) conforme evidência os dados da tabela acima.

Com base exclusivamente nos resultados dos Relatórios de Ensaios da CETREL (RE-5.0-12-00-A-4595/2005 – rev.00, RE-5.0-12-00-A-4597/2005 – rev.00, RE-5.0-12-00-A-4601/2005 – rev.00, RE-5.0-12-00-A-4599/2005 – rev.00, RE-5.0-12-00-A-4607/2005 – rev.00, RE-5.0-12-00-A-4995/2005 – rev.00 e RE-5.0-12-00-A-6031/2005 – rev.00), resultados estes apresentados nas tabelas acima, comparados aos limites máximos definidos nos anexos F e G da norma NBR 10.004/04, observa-se que os parâmetros de ânion: Amônio e ânion de Fenol



o material Solubilizado do resíduo denominado Resíduo de queima do Carvão Mineral (Finos de Carvão) – Ciclone da Cadeira, está de acordo com a legislação, e que enquadrar o este resíduo como Resíduo Classe II A - Resíduo Não Inerte. Também foi como parte desta avaliação os dados apresentados no Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais.

Obs.: O Relatório de Ensaio RE-S-0-12-00-A-4458/2005 rev. 01 e RE-S-0-12-00-A-4342/2005 rev. 01, referente a análise na amostra bruta não faz parte do escopo da avaliação de classificação do resíduo porque não é requisito da NBR 13.229/2004.

6. ANEXOS

- RE-S-0-12-00-A-4596/2005 – rev.00 – Branco Solvado - Metais
 - RE-S-0-12-00-A-4553/2005 – rev.00 – Branco Solvado - Fluoreto
 - RE-S-0-12-00-A-4604/2005 – rev.00 – Análise no lixiviado - Metais
 - RE-S-0-12-00-A-4558/2005 – rev.00 – Análise no lixiviado - Fluoreto
 - RE-S-0-12-00-A-4607/2005 – rev.00 – Análise no Solubilizado - Metais
 - RE-S-0-12-00-A-4655/2005 – rev.00 – Análise no Solubilizado – Físico-Química
 - RE-S-0-12-00-A-5034/2005 – rev.00 – Teste de Corrosividade
 - RE-S-0-12-00-A-4466/2005 – rev.00 – Análise de metais na amostra bruta
 - RE-S-0-12-00-A-4546/2005 – rev.01 – Análise Físico-Química na amostra bruta
- Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais
- FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos.



LAUDO DE CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUO – LC 058/05 Rev. 00

Data: 31/10/2005

1. INTRODUÇÃO

Seguem informações sobre avaliação na amostra de Resíduo de queima do Carvão Mineral (Finos de Carvão) – Sítio 14 da Caldeira, costeco na ALUMAR – Consórcio de Alumínio do Maranhão, análise e caracterização dos parâmetros conforme estabelecida Norma Brasileira NBR 10004 de 2004.

2. DESCRIÇÃO DO RESÍDUO AVALIADO

Conforme descrição em anexo ("Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais").

3. METODOLOGIA

Esta avaliação foi realizada com base nas análises das amostras líquida e solidada utilizando-se as seguintes normas complementares:

ABNT NBR 10004/04 – Resíduos Sólidos.

ABNT NBR 10025/04 – Liçãoção de Resíduo.

ABNT NBR 10026/04 – Solubilização de Resíduos.

ABNT NBR 10027/04 – Amostragem de Resíduos – efetuada pelo Cliente.

As análises físico-químicas e metais foram realizadas com base no *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*, 20ª edição de 1998 e metodologia Cetrel.

Os parâmetros legislados e não analisados foi em função da característica do resíduo informados no "Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais", em anexo.

4. RESULTADOS

Parâmetros analisados	AMOSTRA BRUTA (mg/kg)	
	Amostra	NBR 10004
Prata	22	50
Alumínio	2800	50
Bário	411	50
Cádmio	1,7	50
Cromo	5,8	50
Cobalto	30	50
Ferro	4138	50
Manganês	25	50
Sódio	277	50
Chumbo	25	50
Zinco	30	50

"Avaliação do uso de co-produto (finos de carvão) na obtenção do chumbo através de sucatas de baterias"

CETREL S.A.

LABORATÓRIO DE QUÍMICA ANALÍTICA

Parâmetros analisados	AMOSTRA BRUTA (mg/kg)	
	Amostra	NBR 13694
Chumbo	81	72
Selênio	18	12
Cádmio	<0,2	10
Vanádio	0,27	10
Arseno total	17	10
Fluoreto total	<0,75	10
Molibdênio total	0,27	10
Poder calorífico superior (kJ/kg)	3024	10
Massa específica aparente (kg/m³)	4,2	10
Enxofre	20,13	10

Parâmetros analisados	Lixiviado (mg/L)		Solubilizado (mg/L)	
	Amostra	NBR 13694	Amostra	NBR 13694
	INORGÂNICOS		INORGÂNICOS	
Alumínio	0,5007	10	2,227	10
Enxofre	0,24	10	0,23	10
Cálcio	0,027	10	<0,205	10
Chumbo	0,749	10	<0,1	10
Cromo total	<0,008	10	<0,14	10
Ferro	1,30	10	1,2	10
Manganês	0,0022	10	<0,0007	10
Zinco	4,077	10	<0,205	10
Selênio	0,24	10	0,23	10
Alumínio	0,1	10	0,25	10
Cádmio	NA	10	<0,205	10
Cobalto	NA	10	1,2	10
Cromo	NA	10	<0,205	10
Índice de Acidez	NA	10	<0,1	10
Ferro	NA	10	<0,205	10
Molibdênio	NA	10	<0,0007	10
Níquel	NA	10	0,1	10
Sódio	NA	10	0,1	10
Sulfato	NA	10	0,2	10
Sulfatos	NA	10	<0,205	10
Zinco	NA	10	<0,205	10
Parâmetros analisados	Lixiviado (mg/L)		Solubilizado (mg/L)	
	Amostra	NBR 13694	Amostra	NBR 13694
	PESTICIDAS		PESTICIDAS	
Alciana	NA	0,003	NA	0,0003
Carbena	NA	10	NA	0,0003
Cicazato	NA	10	NA	0,0003
DDT	NA	10	NA	10
DDE	NA	10	NA	10
DDE	NA	10	NA	0,0003
2,4-D	NA	10	NA	10
Endrin	NA	10	NA	0,0003
Fenitrotoxiol	NA	10	NA	0,0003
Lindano	NA	10	NA	0,0003
Malatofos	NA	10	NA	10
Permetrina	NA	10	NA	10
Toxafeno	NA	10	NA	0,0003
2,4,6-T	NA	10	NA	0,0003
2,4,6-TF	NA	10	NA	10
OUTROS ORGÂNICOS		OUTROS ORGÂNICOS		
Benzeno	NA	10	NA	10
Benzol pirênico	NA	10	NA	10
Cloreto de vinil	NA	10	NA	10
Diclorobenzeno	NA	10	NA	10



Parâmetros analisados	Líquido (mg/L)		Sólido (mg/L)	
	Amostra	NBR 10004	Amostra	NBR 10004
		OUTROS ORGÂNICOS		OUTROS ORGÂNICOS
Clorofórmio	NA	2,2	NA	NA
1,4-Diclorobenzeno	NA	1,5	NA	NA
1,2-Dicloroetano	NA	1,5	NA	NA
1,1-Dicloroetileno	NA	2,2	NA	NA
2,4-Diclorotolueno	NA	0,2	NA	NA
Hexaclorobenzeno	NA	0,1	NA	0,05
Hexacloroetileno	NA	0,5	NA	NA
Nitrobenzeno	NA	1,0	NA	NA
CCl ₄	NA	4,0	NA	NA
Tetracloroetano	NA	4,0	NA	NA
Tetracloroetileno	NA	1,0	NA	NA
2,4,6-Triclorofenol	NA	4,0	NA	NA
2,4,6-Triclorobenol	NA	2,0	NA	NA
Fluorena	NA	0,0	NA	NA
Metilacetona	NA	1,0	NA	NA

NA = não analisado devido às características da amostra.

NL = parâmetro não legisado pela norma em referência.

5. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS - CONCLUSÃO

Informações adicionais	Resultado			
Determinação da solução extratora	Solução nº 1 (conforme item 5.1.3 da NBR 10.004/04)			
Teor de resíduo seco	100 %			
pH do extrato	Inicial		Final	
	7,09		1,32	
Tempo total de oxidação	22 minutos			
Volume líquido obtido	Não se aplica (resíduo 100% sólido)			
Teste de Corrosividade (pH 1-12)	Tempo (minutos):			
	15	30	60	120
	7,07	6,91	6,60	6,36

Resíduo não é corrosivo (item 4.2.1.2 da NBR 10.004/2004), conforme evidência de dados da tabela acima.

Com base principalmente nos resultados dos Relatórios de Ensaio da CETREL: RE-5.0-10-00-A-4599/2005 - rev.00, RE-5.0-10-00-A-4599/2005 - rev.00, RE-5.0-10-00-A-4600/2005 - rev.00, RE-5.0-10-00-A-4598/2005 - rev.00, RE-5.0-10-00-A-4606/2005 - rev.00, RE-5.0-10-00-A-4599/2005 - rev.01 e RE-5.0-10-00-A-5092/2005 - rev.00, resultados estes apresentados nas tabelas acima, comparados aos limites máximos definidos nos anexos F e G da norma NBR 10004/04, observa-se que os parâmetros Enxofre, Fluoreto, 6.6.Énol, Aurônio e



Sulfato na matéria Solubilizada do resíduo denominado Resíduo de queima do Carvão Mineral (Finos de Carvão) – Site 14 da Caldeira estão como de valor especial, o que enquadraria este resíduo como Resíduo Classe II A - Resíduo Não Inerte. Também foi considerado nesta avaliação os dados apresentados no Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais.

Obs.: O Relatório de Ensaio RE-5.0-12-00-A-44487 rev.00 e RE-5.0-12-00-A-4947/0005 rev.01, referente a análises na amostra bruta, não faz parte do escopo de avaliação de classificação do resíduo, porque não é requisito da NBR 12.104/2004.

6. ANEXOS

- RE-5.0-12-00-A-4695/2005 – rev.00 – Branco Oxidado - Metais
 - RE-5.0-12-00-A-4653/2005 – rev.00 – Branco Oxidado - Fluoreto
 - RE-5.0-12-00-A-4602/2005 – rev.00 – Análise no Oxidado - Metais
 - RE-5.0-12-00-A-4600/2005 – rev.00 – Análise no Oxidado - Fluoreto
 - RE-5.0-12-00-A-4608/2005 – rev.00 – Análise no Solubilizado - Metais
 - RE-5.0-12-00-A-4956/2005 – rev.00 – Análise no Solubilizado – Físico-Química
 - RE-5.0-12-00-A-5030/2005 – rev.00 – Teste de Corrosividade
 - RE-5.0-12-00-A-4467/2005 – rev.00 – Análise de metais na amostra bruta
 - RE-5.0-12-00-A-4947/2005 – rev.01 – Análise Físico-Química na amostra bruta
- Cadastro Simplificado de Resíduos Especiais
- FISPQ – Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos.

11.2 Procedimento de preparação das amostras utilizado pela Alumar

11.2.1 Carvão e finos de carvão coletados na grelha

- ✓ Passar toda amostra no britador de mandíbula;
- ✓ Dispor a amostra no centro da lona de homogeneização;
- ✓ Homogeneizar, tombando a amostra 40 vezes e formar um cone no final;
- ✓ Dividir a amostra em quatro partes iguais, com o auxílio do quarteador;
- ✓ Descartar duas partes opostas e homogeneizar as duas partes restantes;
- ✓ Repetir todo processo até obter uma massa aproximadamente 50g da amostra;
- ✓ Montar a panela com anel e o cilindro;
- ✓ Transferir a amostra de forma que haja uma boa vedação da tampa;
- ✓ Verificar se temporizador está ajustado em 1 (um) minuto, caso contrário, deverá ser ajustado;
- ✓ Transportar a panela para o pulverizador, colocá-la na base de apoio, fixar bem com o prensador, fechar a porta e acionar o botão de partida (verde);
- ✓ Passar a amostra pulverizada em uma peneira de 60 mesh;
- ✓ Armazenar a amostra em um copo plástico identificado com o nome e a data de coleta.

11.2.2 Finos de carvão coletado nos filtros de manga

- ✓ Colocar a amostra na lona, homogeneizar, tombando 40 vezes, formando cone;
- ✓ Dividir a amostra em quatro partes iguais, com o auxílio do quarteador;
- ✓ Descartar duas partes opostas e homogeneizar as duas partes restantes;
- ✓ Repetir todo processo até obter uma massa aproximadamente 20g da amostra;
- ✓ Montar a panela com anel e o cilindro;
- ✓ Transferir a amostra de forma que haja uma boa vedação da tampa;
- ✓ Verificar se temporizador está ajustado em 1 (um) minuto, caso contrário, deverá ser ajustado;
- ✓ Transportar a panela contendo a amostra para o pulverizador colocá-lo na base de apoio, fixar bem com o prensador, fechar a tampa e acionar o botão de partida;
- ✓ Passar a amostra pulverizada em uma peneira de 60 mesh ;
- ✓ Armazenar a amostra em um copo plástico identificado com o nome e a data de coleta.

11.3 Análises realizadas

11.3.1 Poder Calorífico

Análise da amostra

- ✓ Liga-se a bomba de recirculação de água;
- ✓ Espera-se +/- 3 minutos até que a temperatura do banho da jaqueta esteja próxima da temperatura de "STANDBY" (27°C);
- ✓ Liga-se o refrigerador PARR. Esperar que o equipamento acenda o led de STANDBY (aproximadamente 20 minutos).

Montagem da bomba calorimétrica

- ✓ Pesa-se de 0,60 a 0,70 g da amostra, dentro do cadinho seco;
- ✓ Posiciona-se a tampa da bomba no suporte adequado, mede-se com uma régua 10 cm de fio de níquel/cromo, corta-se e passam-se suas extremidades nos furos dos dois eletrodos. Prende-se o fio com os fixadores;
- ✓ Coloca-se a cápsula com a amostra no suporte da tampa e posiciona-se o fio de modo que este toque a superfície da mesma;
- ✓ Pesa-se 2000 g +/- 0.5 g de água destilada no balde a uma temperatura de 2 a 4 °C (aproximadamente 22 °C) abaixo da temperatura da jaqueta (27°C);
- ✓ Coloca-se a bomba no suporte próximo ao calorímetro;
- ✓ Pipeta-se 10 mL da água do balde e transferir para dentro da bomba;
- ✓ Posiciona-se a tampa com a amostra no corpo da bomba tendo o cuidado para não derramar a amostra;
- ✓ Verifica-se o "o-ring" selante observando se o mesmo não está mascado ou arranhado;
- ✓ Retira-se o excesso de água com um papel absorvente;
- ✓ Fecha-se a bomba com a tampa rosqueável.

Enchimento da bomba calorimétrica

- ✓ Abre-se o cilindro de oxigênio no pátio de gases;
- ✓ Regula-se a pressão de saída do cilindro em 40 kgf/cm²;
- ✓ Verifica-se se há vazamento de gás;
- ✓ Regula-se a pressão interna de enchimento da bomba em 30 kgf/cm², abrindo a válvula e verificando no manômetro localizado na sala analítica;

- ✓ Conecta-se a válvula de enchimento na entrada de gases na bomba;
- ✓ Aciona-se a tecla "O2 FILL" no painel do calorímetro, o visor do calorímetro mostrará a mensagem O2 FILL, durante o enchimento;
- ✓ Deixa-se a válvula de alívio de pressão aberta por 10 segundos;
- ✓ Fecha-se a válvula de alívio;
- ✓ Desconecta-se o terminal de enchimento.

Leitura da amostra

- ✓ Seleciona-se o canal / unidade que será utilizada para o resultado pelo código de *520, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Seleção dos Canais / unidades no calorímetro Parr

CANAL	AMOSTRA	UNIDADE
01	Coque	Kcal/kg
02	Finos de Carvão	Kcal/kg

- ✓ Coloca-se o balde, contendo 2000.0 +/- 0.5 g de água na jaqueta do calorímetro, ajusta-se de modo que haja coincidência entre os furos da parte inferior do balde e os três pontos de fixação do calorímetro;
- ✓ Fixa-se o grampo de manuseio da bomba nos furos situados ao lado desta;
- ✓ Coloca-se a bomba dentro do balde tendo o cuidado para não projetar respingos de água para fora do mesmo;
- ✓ Fixam-se os fios de ignição nos eletrodos da bomba; Fecha-se cuidadosamente a tampa do calorímetro, evitando-se operações rápidas;
- ✓ Observa-se se a temperatura do balde mantém um diferencial de 2 a 4 °C abaixo da temperatura de STANDBY;
- ✓ Pressiona-se a tecla START para iniciar o teste. O calorímetro acenderá uma série de leds indicando os dados requisitados para início do teste, os quais são:
- ✓ SAMPLE WT = Peso da amostra - Entrar com peso real da amostra a ser analisada, teclar "ENTER".
- ✓ Após a entrada dos dados o calorímetro assumirá a condução do teste. Durante este período, o instrumento estabilizará o equilíbrio inicial, queimará a amostra e fornecerá o resultado do poder calorífico;

- ✓ A conclusão do teste ocorrerá quando o calorímetro mostrar no visor o valor preliminar do calor de combustão ou energia equivalente;
- ✓ Pressionando a tecla "DONE", o resultado será arquivado na memória do equipamento e será emitido pela impressora um relatório preliminar;
- ✓ Pressionando-se a tecla "SKIP" o calorímetro já solicitará a entrada dos dados para as correções calorimétricas (ácido, fuse, sulfúrico) e, após a informação, imprimirá o relatório final;
- ✓ Abre-se a tampa do calorímetro e remove-se o conjunto bomba/balde;
- ✓ Retira-se a bomba de dentro do balde e a coloca no suporte, despressurizando-a lentamente abrindo a válvula de alívio;
- ✓ Abre-se a bomba tendo o cuidado de não deixar o cadinho sair da posição de queima;
- ✓ Lavam-se os eletrodos e as partes internas da tampa com água destilada, recolhendo-se as águas de lavagem dentro da bomba;
- ✓ Lavam-se as paredes internas da bomba, transferindo-se toda a água de lavagem para um béquer de vidro;
- ✓ Adiciona-se 15 gotas do indicador metil-orange modificado e titulam-se as águas de lavagens com solução de carbonato de sódio 0.0709 N até mudança de azul para verde;
- ✓ Anotar o volume gasto;
- ✓ Anotar a quantidade de fio queimado (subtraindo dos 10 cm usado, a quantidade restante);
- ✓ Inserem-se os dados necessários para que o equipamento calcule o poder calorífico de cada amostra.

11.3.2 Teor de Enxofre e Carvão

- ✓ Primeiramente, calibra-se a balança limpando o prato da mesma;
- ✓ Coloca-se uma barquete de combustão vazia sobre a balança, aciona-se a teclatare e aparecerá "PUT 1 GRAM IN CRUC WT = 0.000";
- ✓ Colocar o peso padrão (+/- 1.000 g) dentro da barquete aparecerá "AUTO CALIBRATION 01 WT = 1.000";
- ✓ Após alguns segundos, o sistema fará a auto calibração para 1.000 g e retornará ao modo de operação normal;
- ✓ Remove-se a barquete da balança;
- ✓ Seta-se a data e o horário de análise e editam-se as constantes;
- ✓ Seta-se a temperatura de referência do Sistema;
- ✓ Seta-se a temperatura do forno;
- ✓ Aumenta-se a temperatura de 1800 para 2500 °F, ajustando-se gradativamente de "100 em 100 °C" em intervalos de 5 minutos para evitar aquecimento abrupto, até atingir a temperatura ideal de análise (2500 °F ou 1371 °C);
- ✓ Ao final da análise, ajusta-se o forno à temperatura de repouso (1800 °C), diminuindo-se de "100 em 100 °C" em intervalos de 5 minutos;
- ✓ Seleciona-se o modo de resposta e monta-se o sistema de filtro;
- ✓ Passa-se o perclorato de magnésio em uma peneira de malha entre 10 e 16 mesh de forma a descartar os finos;
- ✓ Para montar o tubo de vidro da esquerda: coloca-se lã de vidro na parte inferior, perclorato de magnésio no meio e lã de vidro na parte superior, acrescentando as peneiras inferior e superior;
- ✓ Para o tubo de vidro da direita: coloca-se lã de vidro na parte inferior, enchendo com perclorato de magnésio e acrescentando a peneira na parte inferior;
- ✓ Seta-se a pressão e o fluxo de oxigênio, regulando a pressão de análise para 30 psi (2.1 Kgf/cm²), utilizando o manômetro localizado próximo do equipamento;

- ✓ Ajusta-se o rotâmetro de purga do sistema para um fluxo de 4 L/min, e de atraso de lançamento de oxigênio na amostra para 1 L/min, ambos localizados na parte frontal do equipamento;
- ✓ Para selecionar o canal a ser calibrado, Tabela 11, coloca-se a barqueta na entrada do forno e empurra-se a barqueta até que a mesma toque na parede de fundo. Ao final da análise, aguardar a impressão do resultado.

Tabela 11– Seleção dos canais de calibração no LECO

Canais de calibração	Amostras a serem analisadas	Massa a ser utilizada
01	Carvão e Piche	0.200 g (+/- 0.003)
02	Anodos, pó de carbono e coque	0.200 g (+/- 0.003)
03	Óleos BPF e Diesel	0.150 g (+/- 0.003)

Análise das amostras

- ✓ Colocar a barqueta sobre a balança, aguardar zerar automaticamente;
- ✓ Pesar a massa correspondente à amostra, no lado oval da barquete, e teclar "enter"; Acionar "ANALYZE", aguardar até que a lâmpada "LOAD FURNACE" acenda;
- ✓ Colocar a barqueta na entrada do forno e empurrar até que a mesma toque na parede de fundo;

EMPAQUOTAMENTO DA LÃ DE VIDRO

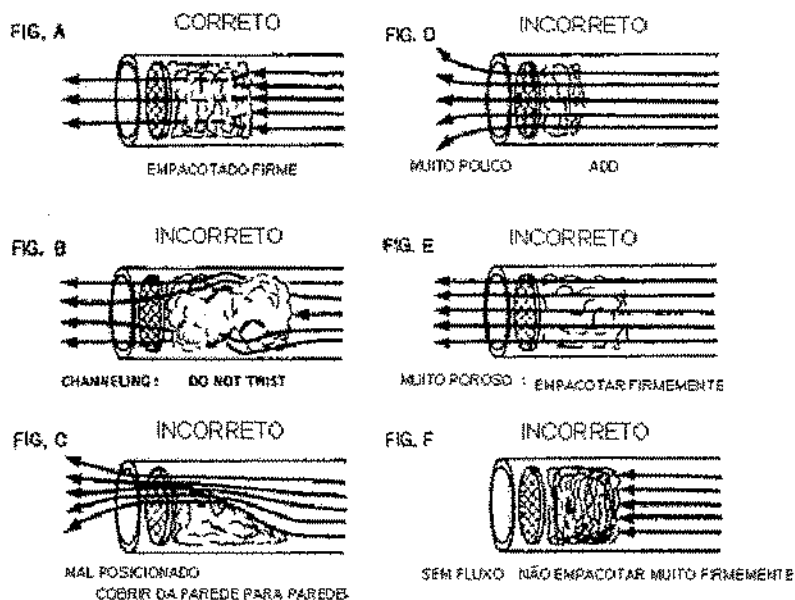


Figura 25 – Montagem dos tubos de vidro do LECO

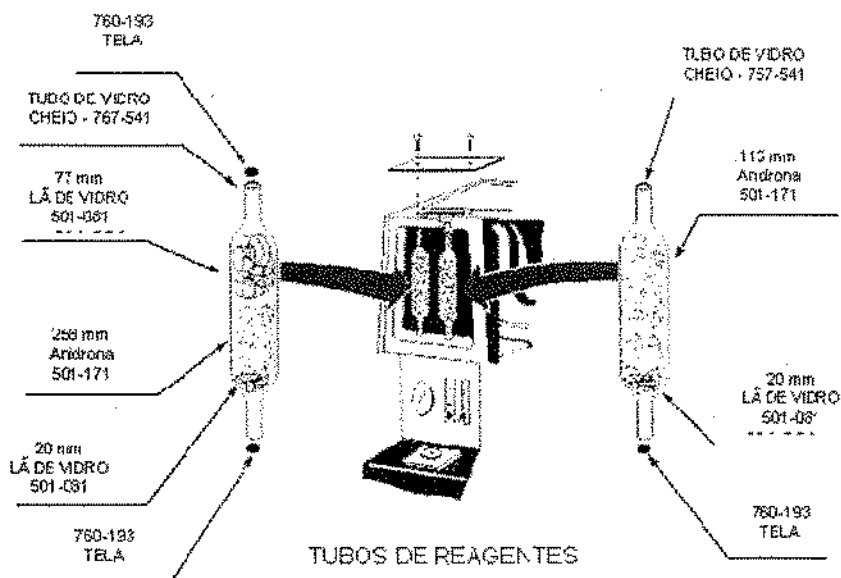
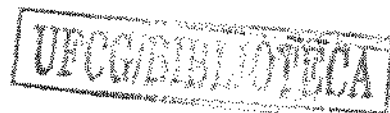


Figura 26 – Montagem dos tubos de reagentes do LECO.



11.4 E-mail resposta do departamento técnico da empresa Moura

Att.

Fiz seu teste com duas amostras e o rendimento de chumbo deu 5% abaixo do padrão (esperado 69,5% de Pb encontrado 64,3%) As impurezas do Pb deram semelhantes ao do coque normalmente utilizado:

Sb 0,16%

As 0,016%

Sn 0,011%

Ag 0,0010%

Cu 174ppm

Te 1,661ppm

Ni 20,44ppm

Bi 56ppm

Zn 5,25ppm

Fe 2,17ppm

O percentual de escória gerada foi de 34%, cinco por cento maior que normalmente gerada (mostrando que o Pb esta na mesma).

Atenciosamente,

Arnolfo Menezes Coelho

Acumuladores Moura S/A

Sítio do Gavião, s/n - Zona Rural

Belo Jardim - PE - Cep: 55150-000

☎ Tel.: +55 81 3726-1996