



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA - ITEC
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEM
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

PROCESSO DE OBTENÇÃO DO ALUMÍNIO

**ALAN RABELO DE SOUZA MOURA
EMÍLIO HENRIQUE FERREIRA E FERREIRA
FELIPE KIYOSHI FUKUSHIMA
TEODORO MACEDO ARAÚJO NETO
THALITA MARIA PONTES MOUTINHO
THIAGO VALENTE DA COSTA**

BELÉM, maio de 2008

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	04
1 – Histórico.....	04
2 – Processo de obtenção de alumínio.....	05
3 – Oferta mundial.....	05
3.1 – Reserva e produção mundial.....	06
4 – Produção interna.....	06
5 – Importação.....	07
6 – Exportação.....	07
7 – Consumo interno.....	07
7.1 – Principais estatísticas.....	08
8 – Reservas atualmente exploradas.....	09
8.1 – Mina de Juruti(PA).....	09
8.2 – Mina de Poços(MG).....	10
8.3 – Mina de Paragominas(PA).....	10
DESENVOLVIMENTO.....	11
1 – Mineração.....	11
1.1 – Lavra.....	11
2 – Beneficiamento e processo pré-extrativo.....	12
2.1 – Fragmentação.....	13
2.2 – Classificação.....	13
2.3 – Processo Bayer.....	13
2.4 – Lama vermelha.....	15
2.4.1 – Métodos de disposição final da lama vermelha.....	18
2.4.2 – Deságüe da lama vermelha.....	20
2.4.3 – Problemas decorrentes da disposição da lama vermelha.....	20
2.4.4 – Aplicações alternativas para a lama vermelha.....	21
2.4.5 – Propostas de aplicações da lama vermelha no Brasil.....	23
3 – Extração.....	24
3.1 – Cubas eletrolíticas.....	24
3.1.1 – Cátodo.....	24
3.1.2 – Ânodo.....	25
4 – Redução.....	25
5 – Refino.....	26
6 – Fundição.....	26
7 – Reciclagem do alumínio.....	26
7.1 – Infinitamente reciclável.....	27
7.2 – Anel da lata.....	27
7.3 – Curiosidades.....	28
7.4 – Benefícios.....	28
7.5 – Números da reciclagem.....	28
7.6 – Processo de reciclagem do alumínio.....	29
7.7 – Reciclagem do alumínio.....	29
7.8 – Alumínio reciclado gera riqueza.....	30

CONCLUSÃO.....	31
1 – Aplicação do alumínio.....	31
2 – Previsões futuras.....	32
2 – Projetos em andamento e/ou previstos.....	32
3 – Outros fatores relevantes.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

INTRODUÇÃO

O alumínio, apesar de ser o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, é o metal mais jovem usado em escala industrial. Mesmo utilizado milênios antes de Cristo, o alumínio começou a ser produzido comercialmente há cerca de 150 anos. Sua produção atual supera a soma de todos os outros metais não ferrosos. Esses dados já mostram a importância do alumínio para a nossa sociedade. Antes de ser descoberto como metal isolado, o alumínio acompanhou a evolução das civilizações.

Sua cronologia mostra que, mesmo nas civilizações mais antigas, o metal dava um tom de modernidade e sofisticação aos mais diferentes artefatos.

Hoje, os Estados Unidos e o Canadá são os maiores produtores mundiais de alumínio. Entretanto, nenhum deles possui jazidas de bauxita em seu território, dependendo exclusivamente da importação.

1 – Histórico

Há mais de sete mil anos, os ceramistas da Pérsia fabricavam vasos de barro com óxido de alumínio (conhecido atualmente como alumina) e, trinta séculos mais tarde, os egípcios e babilônicos utilizavam outro composto similar em seus cosméticos e produtos medicinais. No entanto, a real existência e funcionalidade do alumínio ainda eram desconhecidas.

Os rumores eram de que o alumínio fosse proveniente de colisões de átomos de hidrogênio durante a formação do sistema solar. A história do alumínio, porém, é recente.

Em 1808, o químico inglês Humphrey Davy finalmente conseguiu provar a existência do alumínio e, pouco tempo depois, Hans Oersted, físico alemão, conseguiu produzir pequenas quantidades do metal. Em 1869, um grande avanço na produção permitiu que o custo baixasse de US\$ 545 para US\$ 17 o grama, quase o mesmo valor da prata. Nesta época, o alumínio decorou até a mesa da corte francesa, a coroa do rei da Dinamarca e a capa do Monumento de Washington.

Começou, então, a existir a necessidade de ter uma grande quantidade de produção a um preço muito baixo para que o alumínio pudesse ser um metal de primeira categoria. Em 1880, ele era considerado semiprecioso, mais raro que a prata.

Então, o professor americano Frank Jewett mostrou aos seus alunos do Oberlin College, de Ohio, um pequeno pedaço de alumínio e afirmou diante de todos que quem conseguisse, de alguma forma, explorar o metal ficaria rico. Um de seus estudantes, Charles Martin Hall, que vinha realizando experiências em um laboratório improvisado desde os 12 anos de idade, continuou suas pesquisas depois de formado e aprendeu a fazer óxido de alumínio: a alumina.

Em 1886, Hall colocou em um recipiente certa quantidade de criolita com alumina e passou uma corrente elétrica. O resultado foi uma massa congelada, que ele trabalhou com um martelo. Várias partículas de alumínio se formaram, dando origem a um dos metais mais utilizados na história.

2 - Processo de obtenção do alumínio

Da bauxita é retirada a alumina que, por meio do processo de redução, é transformada em alumínio. A produção é constituída por uma série de reações químicas. Até mesmo a bauxita é formada por um processo químico natural, proveniente da infiltração de água em rochas alcalinas em decomposição. Este minério pode ser encontrado próximo à superfície com uma espessura média de 4,5 metros. Sua extração é geralmente realizada a céu aberto com o auxílio de retroescavadeiras. Antes de iniciar a mineração da bauxita, é necessário ter o cuidado de remover a terra fértil sobre as jazidas juntamente com a vegetação e reservá-la para o futuro trabalho de recomposição do terreno. Este trabalho, que acontece após a extração, é muito importante para a preservação do meio ambiente.

Depois de minerada, a bauxita é transportada para a fábrica, onde chega ainda em seu estado natural. Lá, é iniciada a primeira de muitas reações químicas. A bauxita é moída e acrescida de uma solução de soda cáustica, que a transforma em pasta. Aquecida sob pressão e recebendo novas quantidades de soda cáustica, esta massa se dissolve e forma uma solução que passa por processos de sedimentação e filtragem. Nesta etapa, são eliminadas todas as impurezas e a solução restante fica pronta para que dela seja extraída a alumina.

Em equipamentos chamados de precipitadores, a alumina contida na solução é precipitada pelo processo de "cristalização por semente". O material resultante precisa ser lavado e seco por aquecimento. Assim, é obtido o primeiro estágio da produção de alumínio: a alumina, que se apresenta sob a forma de pó branco e refinado, de aspecto semelhante ao açúcar.

Nesta fase, o processo químico denominado Bayer é o mais utilizado. Nele, a bauxita é dissolvida em soda cáustica e, posteriormente, filtrada para separar todo o material sólido, concentrando-se o filtrado para a cristalização da alumina. Estes cristais são secos e calcinados a fim de eliminar a água. Então, a alumina é finalmente transformada em alumínio por meio de um processo de eletrólise.

3- Oferta Mundial – 2001

Em 2001, as reservas mundiais de bauxita somaram 31,3 Bt1. O Brasil respondeu por 8,1% do total. Nesse contexto, cinco Países responderam por 74% das reservas mundiais. No Brasil, as reservas mais expressivas (94%), estão localizadas na região Norte (estado do Pará). A produção mundial de bauxita, em 2001, foi 137,1 Mt2 enquanto que, em 2000, foi de 127,8 Mt (7,3% superior, consequência de aumento na produção da Jamaica 17,1%; Suriname 11,1%; Índia 8,6%; Venezuela 4,8% e China 2,2%). O Brasil foi o 3º maior produtor mundial respondendo por 10,1%. A produção de alumina em 2001 foi de 4,5 Mt, situando-se no mesmo patamar de 2000, onde o Brasil aparece como o 3º maior produtor. A produção mundial de alumínio em 2001 foi de 23,4 Mt contra 23,9 Mt no ano anterior, o que significa decréscimo de 2,1%, resultado de redução significativa na produção dos EUA (29,7%) devido a dois fatores: aumento

nos custos e redução no suprimento de energia de acordo com informações do US Geological Survey.

3.1 - Reserva e Produção Mundial

Discriminação	Reservas (106 t)		Produção (103 t)		
	2001(p)	%	2000 (r)	2001 (p)	%
Países					
Brasil(1)	2.522	8,1	13.846	13.790	10,1
Austrália	7.400	23,7	53.800	53.500	39,0
China	2.000	6,4	9.000	9.200	6,7
Guiana	900	2,9	2.400	2.000	1,5
Guiné	8.600	27,5	15.000	15.000	10,9
Índia	1.400	4,5	7.370	8.000	5,8
Jamaica	2.500	8,0	11.100	13.000	9,5
Rússia	250	0,8	4.200	4.000	2,9
Suriname	600	1,9	3.610	4.000	2,9
Venezuela	350	1,1	4.200	4.400	3,2
Outros	4.740	15,1	10.800	10.200	7,5
TOTAL	31.262	100,0	127.746	137.090	100,00

Fontes: DNPM-DIRIN e Mineral Commodity Summaries – 2001.

Notas: (1) Valores atualizados para as reservas medidas (1,9 bilhão de t) e indicadas (0,62 bilhão de t).

(p) dados preliminares, exceto Brasil (r) Revisado.

4 - Produção Interna

A produção brasileira de bauxita, em 2000, foi de 13,8 Mt, um volume que se manteve no mesmo nível de 2000. A participação dos principais produtores de bauxita metalúrgica é a seguinte: MRN (79,3%), Companhia Brasileira de Alumínio-CBA (10,3%), Alcoa (4,1%) e Alcan (3,2%). A produção de bauxita refratária representou 3,1% do total da bauxita produzida no país, cujos produtores são os seguintes: MSL Minerais (PA), Mineração Curimbaba (MG) e Rio Pomba Mineração (MG). Houve decréscimo de 8% na produção de alumina, passando de 3,7 Mt para 3,4 Mt no período 2000/2001. A distribuição da produção brasileira de alumina por empresa é a seguinte: Alunorte (44,4%), Alcoa (23,6%), CBA (13,2%), Billiton (12%) e Alcan (6,8%). A produção brasileira de alumínio primário em 2001 foi de 1,14 Mt, um decréscimo de 10,7% em relação a 2000, apresentando a seguinte distribuição por grupo empresarial: Albras (29,6%), Alcoa (21,7%), CBA (20,2%), Billiton (16,6%), Alcan (8,1%) e Aluvale (3,8%). A queda observada nas produções das substâncias é consequência do racionamento de energia pelo qual passou o País em 2001.

Distribuição da produção no Brasil de bauxita, alumina e alumínio primário entre as companhias:

	Bauxita	Alumina	Alumínio primário
Alcoa	4,1%	23,6%	21,7%

Alcan	3,2%	6,8%	8,1%
CBA	10,3%	13,2%	20,2%
MRN	79,3%	-	-
Alunorte	-	44,4%	-
Billiton	-	12%	-
Albras	-	-	29,6%
Aluvale	-	-	3,8%
Total em Mt	13,8	3,4	1,14

5 - Importação

As importações de bauxita, em 2001, ficaram no mesmo nível do ano anterior, ou seja, 8,5 Mt, quando atingiram um valor de US\$ 800 mil. O principal produto importado foi bauxita calcinada com a seguinte procedência: China (65%), EUA (34%) e outros (1%). O aumento da oferta da Alunorte foi responsável pela auto-suficiência do País em alumina. As importações de alumínio e seus derivados foram acrescidas em 7,7% em volume e 15% em valor no período, passando de 156 Mt (US\$ 381 milhões), em 2000, para 168 Mt (US\$ 438 milhões) em 2001. A composição das importações de alumínio e seus componentes por itens é a seguinte: chapas (75,6%), folhas (9,3%), tijolos refratários (4,4%) e outros (10,7%).

6 - Exportação

Verificou-se redução nas exportações de bauxita de 17,7%, passando de 4,2 Mt em 2000 para 3,4 Mt em 2001, demonstrando que a oferta da MRN para o mercado interno continua aumentando. Os países de destino das exportações foram: Canadá (40%), EUA (24%), Ilhas Virgens (12%), Ucrânia (10%) e outros (14%). Por outro lado, as exportações de alumina foram ligeiramente inferiores passando de 1.120 Mt, em 2000, para 1.085 em 2001. As exportações de alumínio e seus derivados, segundo o MDIC/SECEX, caíram de 1.039 Mt em 2000 para 811 Mt em 2001, uma queda de 21,9% no período, resultado do aumento verificado no consumo interno. Os principais países de destino foram: Argentina (24%), Noruega (20%), Japão (14%), Países Baixos (11%), EUA (9%) e outros (22%).

7 - Consumo Interno

Com uma redução de 17,7% nas exportações, verifica-se que o consumo aparente de bauxita em 2001 aumentou 7,1% em relação ao ano anterior, passando de 9,7 Mt para 10,4 Mt. Aproximadamente, 95% da bauxita produzida é utilizada na fabricação de alumina, enquanto o restante é destinado as indústria de refratários e produtos químicos. O consumo aparente de alumina foi de 2,6 Mt, permanecendo no mesmo nível do ano anterior. A alumina é utilizada na metalurgia do alumínio (98,0%)

e o restante na indústria química. O consumo aparente de alumínio cresceu 15,4%, passando de 604 Mt para 697 Mt no período 2000/2001, o inverso do que foi verificado nas exportações que caíram 21,9%. O alumínio reciclado aumentou sua participação no suprimento da demanda interna passando de 14,2% para 14,9% no período. O índice de reciclagem no Brasil em 2001 atingiu a marca recorde de 78%, o segundo maior índice, atrás somente do Japão que manteve 79%. O consumo per capita do metal atinge 37kg nos EUA, 31 kg no Japão, 19 kg na Europa Ocidental e apenas 3,9 kg no Brasil.

7.1 - Principais estatísticas (Brasil)

DISCRIMINAÇÃO		1999	2000 (r)	2001 (p)	
Produção:	Bauxita (1)	(103 t)	13.839	13.846	13.790
	Alumina	(103 t)	3.515	3.743	3.445
	Metal primário	(103 t)	1.245	1.277	1140
	Metal reciclado	(103 t)	190	210	200
	Bauxita	(103 t)	6	8	8,5
Importação:		(106	US\$-0,8	0,7	0,8
		FOB)			
	Alumina	(103 t)	17	2	2,3
		(106	US\$- 5,4	4,8	4,2
		FOB)			
Exportação:	Metal primário, sucatas, semi acabados e outros.	-(103 t)	158	156	168
		(106	US\$-420	381	438
		FOB)			
	Bauxita	(103 t)	4.512	4.166	3.427
		(106	US\$- 116	113	98,5
	FOB)				
Consumo Aparente(2):	Alumina	(103 t)	655	1.120	1.085
		(106	US\$- 125	215	198
		FOB)			
	Metal primário, sucatas, semi acabados e outros.	-(103 t)	910	1.039	811
		(106	US\$- 1.237	1.682	1.338
	FOB)				
Preços:	Bauxita(3)	(US\$/t)	20,87	22,58	22,34
	Alumina(4)	(US\$/t)	194,17	192,06	182,83
	Metal(5)	(US\$/t)	1.431,50	1.535,49*	1.576,34*

Fontes: DNPM-DIRIN, ABAL, SISCOMEX-SECEX-MDIC, Albras, Alunorte, LME.

Notas: (1) Produção de bauxita - base seca; (2) Produção (primário + secundário) + Importação - Exportação;

(3) Preço médio FOB/Trombetas - MRN (bauxita base - seca para exportação); (4) Preço médio FOB Alunorte (Barcarena)

(5) Preços: LME Cash média 1997 (ABAL, Metals Week); para 1998, Albras FOB (Barcarena); LME Cash média 1999 (ABAL, Metals Week).

(r) Revisado. (p) Dados preliminares * Preço médio FOB das exportações brasileiras de metal primário

8 - Reservas atualmente exploradas:

O Brasil possui a terceira maior reserva mundial do minério, 5,9 bilhões de toneladas, localizada na região amazônica, perdendo apenas para Austrália e Guiné. Além da Amazônia, o alumínio pode ser encontrado no sudeste do Brasil, na região de Poços de Caldas (MG) e Cataguases (MG). O Pará conta com reservas nos municípios de Oriximiná, Paragominas e Juruti. A bauxita é o minério mais importante para a produção de alumínio, contendo de 35% a 55% de óxido de alumínio.

8.1 - Mina de Juruti (PA)

A Mina de Bauxita de Juruti está localizada no extremo Oeste do Estado do Pará, Norte do Brasil, no coração da Amazônia.

Juruti é um antigo município paraense, com 124 anos e cerca de 35 mil habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), dos quais 60% residem nas 150 comunidades rurais que predominam na região. Tradicionalmente, sua economia está baseada no cultivo da mandioca e outras culturas de subsistência como pesca, pecuária, e diversos tipos de extrativismo.

O projeto teve origem em 2000, quando a Alcoa adquiriu a Reynolds Metals e iniciou a prospecção mineral nos platôs Capiroanga, Guaraná e Mauari. Ao se optar pelo investimento, foram elaborados Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA).

Com uma reserva de cerca de 700 milhões de toneladas métricas, Juruti possui um dos maiores depósitos de bauxita de alta qualidade do mundo, necessários para atender à crescente demanda e que também possibilitou a expansão da refinaria de Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão) em São Luís-MA. A produção inicial da Mina de Juruti atingirá 2,6 milhões de toneladas métricas por ano, com a conclusão da fase de construção prevista para Outubro de 2008.

O terminal portuário de Juruti terá capacidade para acomodar navios de 75 mil toneladas. O porto está localizado próximo à cidade de Juruti, exatamente a dois quilômetros do centro da município, e fica à margem do Rio Amazonas.

As instalações industriais da área de beneficiamento de bauxita, situadas a cerca de 60 quilômetros da cidade, serão erguidas nas proximidades do platô Capiroanga, a primeira área a ser minerada

.A ferrovia terá aproximadamente 50 quilômetros de extensão e operará com 40 vagões, cada um com capacidade de 80 toneladas. Longos trechos da ferrovia serão construídos paralelamente à Rodovia Estadual PA 257, que também ganhará melhorias como asfalto e ciclovias, nos trechos que atravessam áreas habitadas.

8.2 - Mina de Poços (MG)

A fábrica de Poços de Caldas-MG, fundada em 1965, foi a primeira unidade da Alcoa no País. Na ocasião, recebeu o nome de Alcominas. As atividades tiveram início em 1970 e, 10 anos depois, passou a se chamar Alcoa Alumínio S.A.

Em suas quatro unidades de produção integradas – Mineração, Refinaria, Redução e Fábrica de Pó de Alumínio – são produzidas aluminas calcinadas e hidratadas, metal na forma líquida, tarugos, lingotes e alumínio em pó - fabricado apenas no Brasil, dentre todas as unidades da Alcoa na América Latina.

Cerca de 52% da alumina fabricada é utilizada na produção do metal. Os outros 48%, na forma de hidrato e alumina, são direcionados às indústrias de sulfato de alumínio, papel, dióxido de titânio, polimento de lentes e metais, aluminatos de sódio, retardantes de chama, fabricação de vidros, pigmentos, produtos refratários, cerâmicos, abrasivos e eletrofusão, entre outros segmentos. O metal é comercializado nos mercados nacional e internacional.

O alumínio em pó (destinado aos setores de refratários, metalurgia e químicos) é comercializado no mercado interno e também é exportado para o Japão, Europa, Estados Unidos e Mercosul. A unidade produz, ainda, o alumínio em pó fino, utilizado na fabricação de pigmentos para a indústria automotiva e de equipamentos eletrônicos.

8.3 - Mina de Paragominas

A mina de bauxita de Paragominas está localizada no leste do Estado do Pará, região Norte do Brasil. Nossa participação acionária é de 100% no empreendimento.

A mina iniciou sua fase de produção comercial em março de 2007, com capacidade de 5,4 milhões de toneladas por ano. O investimento para este nível de produção foi de US\$ 352 milhões.

A bauxita de Paragominas possui teores médios de 50% de Alumina Aproveitável, 4% de Sílica Reativa, granulometria abaixo de 65 polegadas e umidade de 12% a 13%.

A mina utiliza o método *strip mining* de extração e tem usina de beneficiamento que inclui moagem e um mineroduto com 244 quilômetros de extensão para o transporte da bauxita, na forma de polpa com 50% de sólidos, à Alunorte.

A primeira expansão da mina de Paragominas já está em andamento e deve estar completa até abril de 2008, em conjunto com a terceira expansão da Alunorte. A mina atingirá 9,9 milhões de toneladas por ano, o que exigirá investimento adicional estimado de US\$ 196 milhões.

Desenvolvimento

1 - Mineração:

O alumínio, metal tão amplamente usado nos dias de hoje devido a características como leveza, resistência, aparência, entre outras, tem como principal fonte a bauxita, mineral terroso e opaco, encontrado mais comumente em regiões de clima tropical e subtropical.

Obtém-se a bauxita necessária à produção de alumínio a partir de reservas próprias, localizadas em Poços de Caldas, Itamarati de Minas, ambas no estado de Minas Gerais e Porto de Trombetas no Oeste do Pará, entre outras. Geograficamente, a maioria das jazidas do mundo está localizada em regiões tropicais e subtropicais em climas Mediterrâneo (33%), Tropical (57%) e Subtropical (10%).



Bauxita na forma de minério.

1.1 - Lavra:

Consiste na extração do minério propriamente dita. Antes da extração, a camada superior do solo (com espessura variando entre 10 e 50cm) é removida e armazenada, para uso posterior no processo de recuperação da área lavrada. A bauxita geralmente se encontra depositada próximo à superfície, numa camada que varia de 2 a 10 metros de espessura.

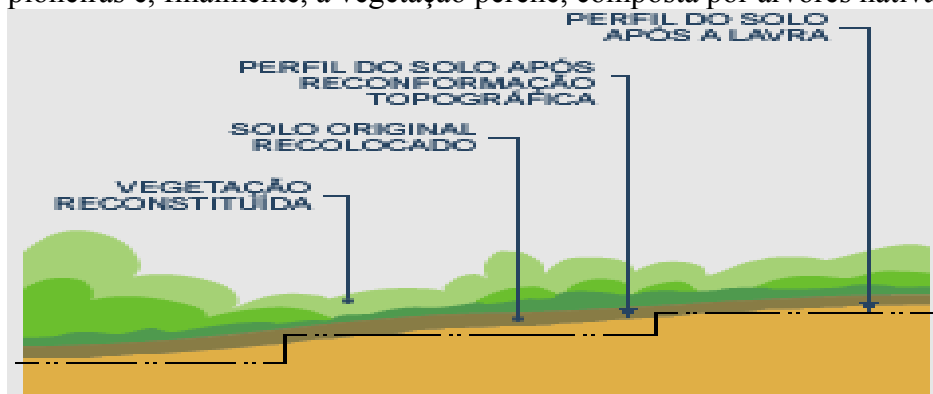


A extração, ou lavra, é efetuada utilizando-se retro-escavadeiras hidráulicas, que permitem que se explore seletivamente o terreno a diferentes profundidades, para que haja o melhor aproveitamento possível do minério disponível e menor dano ao solo. O minério extraído é então transportado para a planta de beneficiamento por carretas basculantes com capacidades que variam entre 10 e 30 toneladas.

Reabilitação do solo:

Uma vez concluída a mineração de determinada área, procede-se então à sua reabilitação, de forma que retome da melhor maneira possível o seu estado natural.

Primeiramente, são construídas bancadas intermediárias para correção do relevo e poços de decantação para controle da erosão e o solo original é então recolocado. Feito isso, inicia-se a reposição gradual da vegetação, através da inserção de gramíneas, espécies pioneiras e, finalmente, a vegetação perene, composta por árvores nativas e nobres.



2 – Beneficiamento e processo pré-extrativo:

O beneficiamento da bauxita depende dos teores de concentração do minério, além de outras características e pode incluir a britagem, lavagem, etc., para que se torne adequado ao processamento posterior.

Essas atividades, aliadas ao emprego de ciclones e peneiras de alta frequência, permitem aproveitar ao máximo a bauxita contida no minério bruto e separar boa parte das impurezas, como argila, areia e outros resíduos.

A lama resultante das atividades de mineração da bauxita constituem-se basicamente de argila, areia e partículas ferruginosas, e é encaminhada para um dique de retenção próximo à planta de beneficiamento.

No dique, ocorre a decantação das partículas, ou seja, a sua deposição no fundo, e a separação da água. Parte dessa água retorna ao processo de beneficiamento da bauxita, o que é vantajoso em termos ambientais, já que não há necessidade de se retirar grande quantidade de água da rede fluvial.

Após o beneficiamento, a bauxita é disposta em pilhas de homogeneização, através de correias transportadoras e de empilhadeiras automáticas (stackers). Essas pilhas permitem a equalização de propriedades entre lotes de minério proveniente de diversas frentes de mineração.

Após o beneficiamento e homogeneização, o minério é transportado para a fábrica por via férrea, em vagões apropriados. De Poços de Caldas, seguem mensalmente 75.000 toneladas de bauxita, por cerca de 260 km de ferrovia, até a fábrica em Alumínio, SP. Já de Cataguases, são mais de 120.000 toneladas de minério, que

seguem em carretas basculantes de 35 toneladas até o terminal ferroviário, de onde embarcam para Alumínio, a 860 km de distância.

2.1 - Fragmentação

O minério bruto, resultante da mineração, geralmente se apresenta sob forma de blocos amorfos inconvenientes ao seu processamento. A moagem, no beneficiamento da bauxita, tem a finalidade de diminuir o tamanho do minério bruto, sem ainda separar a ganga e concentrar o minério primário. O moinho. A moagem do alumínio é feita através do Moinho de bolas.

Um moinho de bolas é constituído por um cilindro horizontal rotativo parcialmente preenchido com esferas cujo diâmetro varia entre uma e três polegadas. Ao girar, esse cilindro provoca o cascadeamento das esferas, e as ações combinadas de choque e cisalhamento provocam a redução do tamanho.

Nos moinhos são adicionados a cal para o controle do óxido de fósforo e estabilidade do licor caustico e licor pobre, para formação de polpa fácil de ser transportada através de bombas e tubulações. Essa polpa é pré-aquecida antes de chegar a digestão.

Este processo possui o inconveniente de ser ruidoso e operar em bateladas, portanto sem grande flexibilidade no volume de produção. O tempo de operação também é muito longo e pode se estender por dias. Além disso, a potência transmitida ao elemento de moagem, influente na eficiência de dispersão, deriva apenas da força da gravidade. O aumento do efeito de dispersão poderia ser obtido com o uso de esferas de maior volume ou peso específico, ou com maiores velocidades de rotação no cilindro, mas é inviável, pois a força centrífuga fará com que as bolas fiquem nas paredes do moinho.

2.2 – Classificação

O classificador é alimentado com o resultado da moagem, composto de partículas de diferentes tamanhos, e o separa em duas frações: o “underflow”, que contém maior proporção das partículas mais grosseiras, e o “overflow”, onde se concentram as partículas de menores dimensões.

O termo deslavragem se refere à eliminação de lamas, indesejáveis para a operação unitária subsequente (por exemplo flotação ou separação em meio denso) e é um tanto vago em termos granulométricos. Geralmente significa a eliminação de uma grande quantidade de material fino, sem uma conotação de separação granulométrica precisa ou eficiente.

2.3 - Processo Bayer

O processo Bayer é o principal e o mais econômico método para produção de alumina e alumínio, a partir de bauxitos gibbsíticos com baixa porcentagem de sílica.

A bauxita é moída e digerida em auto-clave com uma solução de hidróxido de sódio, carbonato de sódio e cal. A suspensão e o rejeito, denominado lama vermelha, após a digestão e resfriamento, são separados por sedimentação e filtração. Os principais constituintes da lama vermelha são: óxido de ferro, titânio, carbonato de cálcio e produtos de desilicação. Após a digestão, a suspensão de aluminato de sódio é introduzida em precipitadores, onde germens de gipsita catalisam a formação de $Al(OH)_3$. O precipitado é separado, lavado e calcinado. As condições de precipitação, tais como tempo, temperatura e condições de nucleação, são importantes no controle da distribuição de tamanho da partícula, textura e pureza do hidróxido produzido. No processo Bayer para cada 2-2,5 toneladas de bauxita tem-se, após a calcinação, aproximadamente 1 tonelada de alumina

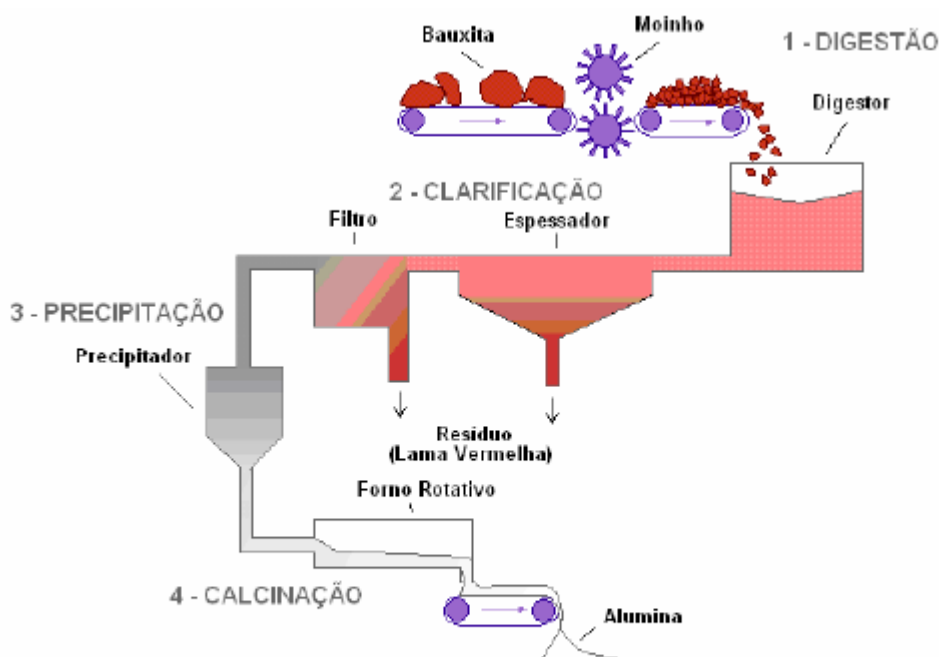
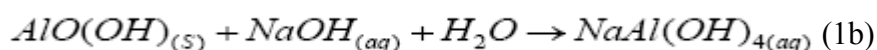
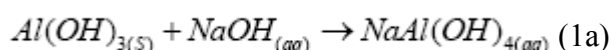


Figura 2: Fluxograma e Esquema do Processo Bayer (Adaptado de WAO, 2003).

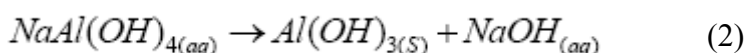
O estágio inicial, denominado digestão, envolve num primeiro momento a moagem da bauxita, seguida pela digestão propriamente dita com uma solução cáustica de hidróxido de sódio ($NaOH$) sob temperatura e pressão. As condições em que se processa a digestão (concentração, temperatura e pressão), variam de acordo com as propriedades da bauxita. Plantas modernas comumente operam em temperaturas entre 200 e 240 °C, e pressão em torno de 30 atm (WAO, 2003). Nestas condições a maioria das espécies contendo alumínio é dissolvida, formando um licor verde, Eq. (1a) e (1b).



A clarificação é uma das etapas mais importantes do processo, nela ocorre a separação entre as fases sólida (resíduo insolúvel) e líquida (licor). Normalmente as técnicas empregadas envolvem espessamento seguido de filtração. O espessamento é um processo de decantação, em que o resíduo proveniente da digestão é encaminhado

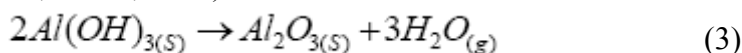
para unidades denominadas de espessadores/lavadores. O objetivo destas unidades é adensar o resíduo, aumentando seu teor de sólidos, para recuperar a maior quantidade de NaOH possível e fornecer um "overflow" para a filtragem. Nesta fase é comum a adição de polímeros (como hidroxamatos e poliácridamida) para induzir a floculação das partículas nos espessadores ou até mesmo a utilização de processos de separação com membranas poliméricas (Góis et al., 2003; Hind et al., 1999; IOM3, 2005).

Em seguida, ocorre a etapa de precipitação, quando se dá o esfriamento do licor verde. Após este esfriamento é feita adição de uma pequena quantidade de cristais de alumina (semeadura) para estimular a precipitação, em uma operação reversa à digestão, Eq. (2).



A alumina cristalizada é encaminhada para a calcinação e o licor residual contendo NaOH e alguma alumina é recirculada para a etapa de digestão (Hind et al., 1999; IOM3, 2005).

A calcinação é a etapa final do processo, em que a alumina é lavada para remover qualquer resíduo do licor e posteriormente seca. Em seguida a alumina é calcinada a aproximadamente 1000 °C para desidratar os cristais, formando cristais de alumina puros, de aspecto arenoso e branco, Eq. (3) (Hind et al., 1999; IOM3, 2005; ABAL, 2005; WAO, 2005).



O resíduo insolúvel formado durante a clarificação, chamado genericamente de lama vermelha pela indústria de refino da alumina, é composto por óxidos insolúveis de ferro, quartzo, aluminossilicatos de sódio, carbonatos e aluminatos de cálcio e dióxido de titânio (geralmente presente em traços). Alguns autores, observando o processo, fazem distinção entre as partículas grosseiras (areias) e as partículas finas (lamas), devido ao fato de serem geradas em momentos diferentes durante a clarificação. Entretanto, a disposição final dos dois materiais em conjunto (codisposição) ou em separado é uma questão meramente operacional.

A lama vermelha sofre uma lavagem, através de um processo de sedimentação com fluxo de água em contracorrente e posterior deságüe para a recuperação do NaOH. As principais técnicas adotadas para o deságüe da lama vermelha serão descritas mais adiante.

Este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre a produção da lama vermelha, suas características, métodos de disposição final, problemas ambientais provenientes de uma disposição inadequada e alguns resultados de aplicações alternativas deste resíduo para a sua valoração econômica.

2.4 - Lama vermelha:

A lama vermelha (red mud) é a denominação genérica para o resíduo insolúvel gerado durante a etapa de clarificação do processo Bayer, sendo normalmente disposta em lagoas projetadas especialmente para este fim, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3: Lagoa de disposição de lama vermelha da Alumar (Ilha de São Luís - Maranhão).

A composição química da lama vermelha varia extensamente e depende da natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada planta industrial. Normalmente, a lama vermelha retém todo o ferro, titânio e sílica presentes na bauxita, além do alumínio que não foi extraído durante o refino, combinado com o sódio sob a forma de um silicato hidratado de alumínio e sódio de natureza zeolítica (Reese & Cundiff, 1955; McConchie et al., 2002). Adicionalmente, óxidos de V, Ga, P, Mn, Mg, Zn, Th, Cr, Nb podem estar presentes como elementos-traço (Pradhan et al., 1996). As fases minerais mais comuns são a hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), a goetita ($\alpha\text{-FeOOH}$), a magnetita (Fe_3O_4), a boemita (g-AlOOH), o quartzo (SiO_2), a sodalita ($\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}\text{Cl}$) e a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), com menor presença de calcita (CaCO_3) e gibisita (Al(OH)_3) (Brunori et al., 2005; Pradhan et al., 1996; UWINONA, 2005; Yalçin et al., 2000).

A lama vermelha é constituída por partículas muito finas (cerca de 95 % < 44 μm , i.e. 325 mesh), apresenta uma área superficial de 13-22 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ e tem como principal característica uma elevada alcalinidade (pH 10-13) (Pradhan et al., 1996; Hind et al., 1999). A Tabela 1 fornece a composição, em termos percentuais, da lama vermelha apresentada por vários autores, em diferentes países. Nota-se que há uma grande variação na composição da lama vermelha, mesmo para as geradas em um mesmo país.

A qualidade da jazida de bauxita utilizada influencia diretamente na quantidade de lama vermelha gerada, bem como o teor de sólidos com que esta é lançada, que está diretamente ligado ao tipo de disposição adotada. Métodos conhecidos como disposição secaproduzem uma menor quantidade de lama vermelha que os de disposição úmida. Levando-se em consideração estes parâmetros, pode-se afirmar que não existe uma proporção exata entre a quantidade de alumina produzida e a quantidade de lama vermelha gerada. Entretanto, Nunn (1998) afirma que uma típica refinaria gera entre 0,5 e 2,0 t de lama vermelha seca por tonelada de alumina produzida. Para Komnitsas et al. (2004), dependendo da qualidade da bauxita esta faixa varia entre 0,3 t, para bauxitas de alta qualidade (alto teor de alumínio), e 2,5, para as de baixa qualidade. No entanto, na literatura são mais comuns as referências a valores entre 1 a 2 t de lama vermelha por tonelada de alumina produzida (Brunori et al., 2004; McConchie et al.,

2002; Wang et al., 2005; Genç-Fuhrman et al., 2004; Santona et al., 2006; Collazo et al., 2005; Nguyen & Boger, 1998; Kahane et al., 2002; Hind et al., 1999; Agrawal et al., 2004; Tan & Khoo, 2005; Singh et al., 1997; Collazo et al., 2005; Sglavo et al., 2000; Genç et al., 2003; Bermann, 2002).

Esta questão acaba se refletindo na falta de consenso na literatura sobre a quantidade de lama vermelha gerada anualmente no mundo. Segundo Sujana et al. (1996), Kasliwal & Sai, (1999) e Oeberg & Steinlechner (1996), são geradas em torno de 30 milhões de ton por ano. Mas, segundo Cooling et al., (2002) somente a Aluminium Company of America (Alcoa) é responsável por mais de 20 milhões ton/ano deste resíduo. De acordo com Díaz et al. (2004), no ano de 2000 foram geradas 84,1 milhões de ton de lama vermelha. Nguyen & Boger (1998) relatam que na Austrália a indústria de alumina produz 25 milhões ton/ano de lama vermelha, correspondente a 50 % da produção mundial, que seria, portanto, de 50 milhões ton/ano. Finalmente Pradhan et al. (1996), ao considerarem a capacidade das fábricas de alumínio, afirmam que o volume de lama vermelha gerado dobra a cada década. O fato é que a quantidade de lama vermelha gerada anualmente é gigantesca e que um resíduo gerado na ordem de milhões de ton representa um sério problema ambiental.

No Brasil, dados publicados sobre a geração de lama vermelha são praticamente inexistentes. Apesar de o país ser o 3º terceiro maior produtor mundial e contar com grandes empresas atuando na produção de alumina, como: o Consórcio de Alumínio do Maranhão (Alumar), localizada em São Luís (MA), com capacidade anual de produção de 1,325 milhões de ton; a Alumina do norte do Brasil S/A (Alunorte), localizada em Barcarena (PA), com capacidade anual de produção de 4,4 milhões de ton, sendo a maior produtora mundial de alumina; a Companhia Brasileira do Alumínio (CBA), na região de Sorocaba (SP), com capacidade anual de produção de 500 mil ton; a Alcoa, com unidades localizadas em Saramenha (MG) e Poços de Caldas (MG), com 140 mil ton e 300 mil ton de produção anual, respectivamente (Bermann, 2002; Minérios 2006).

Baseado nestes dados e os da Tabela 2, algumas inferências podem ser obtidas. Tomando-se a relação entre a geração de lama vermelha e a produção de alumina, como sendo 0,3 e 2,5 ton de lama vermelha/ton de alumina, se obtém uma estimativa da produção anual de lama vermelha no país, no período entre 1999 e 2002, Tabela 2. Observa-se que pela estimativa mais favorável seriam geradas 1,05 milhões de ton de lama vermelha. Por outro lado, considerando a estimativa mais desfavorável a quantidade de lama vermelha gerada alcançaria em 2003 a impressionante marca de 10 milhões de ton. É válido ressaltar que o período em questão é anterior à expansão da Alunorte, que elevou a sua capacidade nominal de produção de alumina de 1,6 milhões para 4,4 milhões. A estimativa feita a partir da capacidade nominal atualmente instalada, apesar de ter um caráter meramente ilustrativo, alerta para a dimensão do problema ambiental que a lama vermelha representa para o Brasil.

Em 2004, somente a Alunorte produziu 2,55 milhões ton de alumina (ALUNORTE, 2005), o que corresponde a uma geração de no mínimo 1,27 milhões ton de lama vermelha. A recém inaugurada ampliação da fábrica aumentou a capacidade nominal para 4,175 milhões ton/ano de alumina, porém até 2008 uma nova ampliação está prevista, elevando a capacidade de produção para 6,8 milhões de ton/ano (ALUNORTE, 2005; MINERIOS & MINERALES, 2006). Portanto, a geração de lama vermelha pela Alunorte, que alcançou no mínimo 1,25 milhões ton/ano, em breve chegará a 2,04 milhões ton/ano, ou seja, um aumento de mais de 70% em relação a 2002.

A literatura apresenta controvérsia quanto à toxicidade da lama vermelha. A lama vermelha não é particularmente tóxica (Nunn, 1998), inclusive a Environmental Protection Agency (EPA) não classifica a lama vermelha como um resíduo perigoso (EPA, 2005). Entretanto, Hind et al. (1999), consideram-na tóxica, na medida em que podem constituir um perigo para as populações vizinhas, devido à presença de elevados valores de cálcio e hidróxido de sódio. Outros relatos encontrados na literatura apontam para os riscos ao meio ambiente associados a lama vermelha, em função de sua elevada alcalinidade e capacidade de troca iônica (Li, 2001; Collazo et al., 2005). Diante do exposto, pode-se considerar que a lama vermelha representa um passivo ambiental importante para a indústria de beneficiamento de alumínio, devido aos riscos de contaminação do meio ambiente e aos custos associados ao seu manejo e disposição, os quais representam uma grande parte dos custos de produção da alumina. Como constatação, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, cita entre as atividades industriais mais poluentes a indústria de metais não-ferrosos e dentre estes, a do alumínio (Donaire, 1995).

2.4.1 - Métodos de Disposição Final da Lama Vermelha

A lama vermelha faz parte de um grupo de rejeitos conhecidos como "tailings", resultantes do processamento de minérios pela indústria extrativista mineral. Estes resíduos são solos que continham o mineral de interesse ou resultam da moagem de rochas. Dependendo do processo de extração, podem ser adicionadas substâncias químicas como, por exemplo, a soda cáustica empregada no refino da alumina. Os "tailings" caracterizam-se por serem lamas formadas por partículas muito finas (Fahey et al., 2002; Vick, 1983).

Os métodos convencionais de disposição de lamas, ou métodos úmidos, são assim denominados devido à grande quantidade de água de processo que segue com o material sólido para disposição. Os métodos úmidos aplicáveis à lama vermelha consistem em grandes diques onde a lama vermelha é disposta com baixo teor de sólidos. A separação de fases ocorre no local de disposição, onde o material sólido sedimenta e surge um sobrenadante alcalino. A operação é simples e barata, consistindo na sedimentação natural da fase sólida e na recirculação do sobrenadante para a fábrica. Porém o potencial de impacto sobre o meio ambiente é alto. A área de disposição final necessária é grande, 100 a 200 acres em média. Os custos associados são altos, devido à necessidade de impermeabilização da área antes da disposição, feita normalmente através de membranas plásticas ou da aplicação de camada de material impermeável, devido aos riscos de contaminação do solo e do lençol freático, entre outros componentes. A vida útil da área de disposição é curta, normalmente entre 4 a 7 anos, e a reabilitação da área é um processo lento (Kirkpatrick, 1996; Nguyen & Boger, 1998; Jamaican Bauxite Case, 2006). Os riscos com relação ao rompimento dos diques também estão presentes, e representam um motivo de preocupação para a população vizinha (Hind et al., 1999; Fahey et al., 2002; Sofrá & Boger, 2002; Li, 2004).

Modernamente os métodos conhecidos como métodos secos ou semi-secos de disposição tendem a serem aplicados com mais frequência. Estes métodos surgiram a partir dos avanços ocorridos nas técnicas de deságüe dos "tailings". Os métodos secos de disposição apresentam as seguintes vantagens sobre os métodos úmidos: melhor manuseio, maior segurança, geração de um menor volume de lama, menor área ocupada e reabilitação mais fácil da área (Nguyen & Boger, 1998; Hind et al., 1999; Sofrá &

Boger, 2002; Fourie, 2002; Agrawal et al., 2004). Nestes métodos a lama é disposta com um teor de sólidos mais elevado, resultando em uma textura pastosa.

Dentre os métodos de disposição a seco, o mais comumente aplicado à lama vermelha é o "dry-stacking". Este método consiste na disposição progressiva da lama vermelha. A área de disposição é dividida em leitos de secagem, onde a lama vermelha é descarregada até atingir uma determinada altura, passando-se a seguir para o leito de secagem livre e assim por diante. Quando todos os leitos de secagem estiverem ocupados repete-se o ciclo, depositando uma nova camada de lama vermelha no leito de secagem inicial. O "dry-stacking" permite a diminuição da umidade através da evaporação e da drenagem (Sofrá & Boger, 2002; Nunn 1998).

Uma variante do "dry-stacking" é a secagem solar. Essa técnica é particularmente aplicável para áreas onde a taxa de evaporação é elevada. A secagem solar utiliza leitos de secagem com baixa profundidade (100 mm) para facilitar a evaporação (Nunn, 1998).

Outro método utilizado é a disposição de tailing espessado (Thickened tailing disposal). Neste método a lama vermelha é disposta no ponto central da área de disposição, formando um monte cônico. A geometria cônica elimina a necessidade de barragens ou diques, há um aumento na estabilidade do depósito, facilitando a reintegração da área ao meio ambiente (Sofrá & Boger, 2002; Nguyen & Boger, 1998). Normalmente "tailings", como a lama vermelha, são transportados através de bombeamento. Em várias plantas industriais é comum o bombeamento da lama vermelha por distâncias de 3 a 6 km até os locais de disposição (Oeberg & Steinlechner, 1996; Purnell, 2004). Suspensões de material mineral com elevada concentração, como a lama vermelha, são geralmente fluidos não-newtonianos (Sofra & Boger, 2002). Estudos reológicos revelaram que a lama vermelha é fortemente tixotrópica e pseudoplástica (Sofra & Boger, 2002; Nguyen & Boger, 1998). Portanto, dois fatores que devem ser levados em consideração durante o deságüe da lama vermelha são a viscosidade da lama vermelha e a distância a ser vencida. Para "tailings" altamente espessados é preferível a utilização de tratores e vagões no transporte.

O método de disposição conhecido como "off-shore disposal" consiste no lançamento da lama vermelha em um corpo hídrico receptor, rio ou oceano. Este tipo de disposição final foi praticamente abandonado. Das 84 plantas de beneficiamento de alumina existentes no mundo, somente 7 ainda utilizam este tipo de disposição devido à escassez de área para disposição final, persistindo em países como Japão e Itália (Vick, 1983; Agrawal et al., 2004, Hyun et al., 2005).

A neutralização da lama vermelha com a utilização de ácido sulfúrico (H_2SO_4) é o método mais comum para minimizar os riscos ambientais com relação à sua causticidade. Outros processos têm sido pesquisados pela Alcoa como a carbonatação, através da injeção de CO_2 , e através da adição de água do mar contendo altas concentrações de sais de Mg, que atuam como agentes neutralizadores (Fahey et al., 2002; Colling et al., 2002; McConchie et al., 2002).

No Brasil informações sobre o tipo de disposição empregado em cada refinaria são escassas. A Alunorte utiliza o método de disposição de lama por alta densidade, trata-se de um processo de "dry-stacking" patenteado pela empresa alemã *Giulini* (Alunorte, 2004). Este método permite que a lama vermelha seja lançada nas lagoas de disposição na forma de uma pasta contendo cerca de 60% em peso na fase sólida, evitando a segregação de líquidos e adquirindo a consistência de um solo natural em curto espaço de tempo, facilitando a recuperação da área para outros fins (Alunorte, 1994; Alunorte, 2004).

2.4.2 - Deságüe da Lama Vermelha

A principal função do deságüe é recuperar parte do NaOH presente na lama vermelha. O deságüe também possibilita a redução da quantidade de material encaminhado para descarte.

Segundo Nunn (1998), a utilização de espessadores foi o primeiro processo de deságüe aplicado à lama vermelha. Os espessadores foram amplamente aplicados durante as décadas de 1950 e 1960 e ainda hoje são utilizados. A eficiência dos espessadores na concentração de sólidos é de 20 a 30%. Subsequentemente, a utilização de filtros rotatórios a vácuo prevaleceu como etapa final do deságüe antes da disposição final. A eficiência destes filtros é função da filtrabilidade da lama vermelha produzida na refinaria, alcançando valores entre 40 e 50% de teor de sólidos.

Mais recentemente foram desenvolvidos os espessadores de alta performance. Essa tecnologia envolve a adição de floclantes, alcançando taxas de concentração de sólidos mais elevadas e apresentando eficiência ente 28 e 55%. Outra tecnologia que apresenta boas perspectivas de aplicação no deságüe da lama vermelha são os filtros hiperbáricos, que alcançaram em testes, em escala piloto, taxas de 70 a 80 % de teor de sólidos (Nunn, 1998). Apesar das boas indicações, a literatura não registra aplicações de filtros hiperbáricos em escala real, possivelmente devido a dificuldades operacionais.

Nunn (1998) analisou os fatores econômicos mais importantes relacionados às tecnologias de deságüe descritas e observou que a eficiência na recuperação de NaOH é diretamente proporcional ao consumo de energia. É importante ressaltar que o custo da energia é um atributo da localidade onde se encontra instalada a indústria, envolvendo questões que vão além do custo da energia propriamente dita. Foi também observado que os filtros hiperbáricos apresentam menor perda de NaOH e menor custo operacional e, por outro lado, que os espessadores de alta performance utilizam menos mão-de-obra e têm menor custo de capital. Por fim, é válido salientar que, além dos fatores econômicos diretos, outros fatores como manutenção da boa imagem da empresa, bem como, o afastamento de riscos de multas pelos órgãos ambientais podem influenciar na escolha da tecnologia a ser adotada.

2.4.3 - Problemas Decorrentes da Disposição da Lama Vermelha

Como a maioria dos rejeitos, no passado a lama vermelha era simplesmente descartada em algum corpo hídrico receptor, como mares e rios (Kirkpatrick, 1996; Wills, 1997). A disposição não adequada da lama vermelha pode acarretar em problemas como: *i*) Contaminação da água de superfície e subterrânea por NaOH, ferro, alumínio ou outro agente químico; *ii*) Contato direto com animais, plantas e seres humanos; *iii*) O vento pode carrear pó dos depósitos de lama vermelha seca, formando nuvens de poeira alcalina; *iv*) Impacto visual sobre uma extensa área.

Alguns casos de acidentes ambientais provocados pela disposição inadequada da lama vermelha em vários países são relatados na literatura. Problemas relacionados com o encerramento das atividades sem a adequada proteção do meio ambiente também são reportados.

Na antiga Iugoslávia, Salopek & Strazisar (1992) relatam que durante o funcionamento das instalações em Kidricevo, onde se utilizava barragens como meio de disposição, formando lagoas de lama vermelha, foram registradas concentrações de 5 g/L Na₂O e 3 g/L Al₂O₃ nas águas residuárias, além de poluição sistemática das águas subterrâneas com variação de pH entre 11,5 e 8 e condutividade elétrica entre 4.982 e 924 mS/cm a distâncias de até 2 km das lagoas. Ocorrências semelhantes foram observadas em outras localidades, como Podgorica, e Mostar, inclusive com a contaminação do aquífero que abastecia a população local. Nas instalações de Obrovac, a água residuária com a ajuda dos fortes ventos da região, principalmente no inverno e primavera, forma gotículas que se espalham por quilômetros, formando uma chuva caustica, que atinge não somente partes da fábrica, como instalações vizinhas. Houve ressecamento total da vegetação em uma área de 500 m em redor da lagoa e comprometimento parcial por vários quilômetros. Após o encerramento das atividades das instalações de Mostar houve ressecamento da lagoa de disposição o que causou o carreamento das partículas finas e formando nuvens de poeira, gerando problemas especialmente para os fazendeiros vizinhos.

No Brasil, em 2003, houve no município de Barcarena (PA) um vazamento de lama vermelha, atingindo as nascentes do rio Murucupi. Da nascente a foz do rio houve mudança na tonalidade das águas, com o aumento nos teores de alumínio e sódio e possível contaminação do aquífero (De Jesus et al., 2004). Em São Paulo (SP) ocorreu um vazamento em 2004, de cerca de 900.000 litros de lama vermelha, atingindo o córrego do Bugre, rio Varzão e Pirajibu, na bacia do Rio Sorocaba. Como consequência houve alteração da qualidade das águas tornando-as impróprias (ofensivas à saúde), além de provocar danos à fauna (mortalidade de peixes) e à vegetação (CETESB, 2004; Rondon, 2004).

Na Jamaica, a não utilização de técnicas adequadas de disposição da lama vermelha resultou na contaminação de aproximadamente 200 milhões de m³ de águas subterrâneas (Fernandez, 2005). Também ocorreu a contaminação de águas superficiais, a disposição de lama vermelha em lagoas na localidade de Mont Diablo acarretou na contaminação das águas do lago Moneague, as quais se tornaram impróprias, devido o elevado pH. Este tipo de impacto afeta o turismo, outra atividade econômica muito importante da ilha (Jamaican Tourism Impacts, 2006). A população da Jamaica apresenta uma pré-disposição genética para a hipertensão, a qual pode ser agravada pelos altos níveis de sódio devido à contaminação da água subterrânea (Jamaican Bauxite Case, 2006).

2.4.4 - Aplicações Alternativas para a Lama Vermelha

Durante muito tempo a lama vermelha foi considerada um resíduo inaproveitável para a indústria do alumínio (Chaves, 1962). Entretanto, os custos econômicos e os riscos ambientais associados à disposição da lama vermelha têm motivado companhias e pesquisadores na busca por alternativas ambientalmente mais seguras, que possibilitem a redução do volume de resíduo encaminhado para a disposição final.

Pesquisas têm sido desenvolvidas visando à recuperação de ferro, titânio e outros metais. Porém, até o momento, nenhum processo apresentado na literatura se mostrou economicamente viável (Pradhan et al., 1996; Slavo et al., 2000a; Hind et al., 1999; Piga et al., 1995; Marabini et al., 1998).

As aplicações para a construção civil são variadas. A Kaiser Aluminium & Chemical Company utilizou a lama vermelha como material para recobrimento de aterros e pavimentação (Kirkpatrick, 1996). A utilização da lama vermelha como insumo para produção de cimentos especiais, também foi pesquisada, mas esta aplicação encontra problemas devido à alcalinidade da lama vermelha (Shimano & Koga, 1979; Singh et al., 1997; Tsakiridis et al., 2004; Pan et al., 2003).

A lama vermelha também encontra aplicações na indústria cerâmica (Slavo et al., 2000a; Slavo et al., 2000b). Yalçin & Sevinç (2000) propuseram a produção de revestimentos cerâmicos (porcelanas, vítricos e eletroporcelanas) usando a lama vermelha. Outros pesquisadores propõem a utilização da lama vermelha na confecção de tijolos, telhas, isolantes, etc. (Nakamura et al., 1969; Kara, 2005; Singh & Garg, 2005).

Outras aplicações para a lama vermelha estão no tratamento de superfícies: proteção do aço contra corrosão (Collazo et al., 2005; Díaz et al., 2004) e na melhoria das características termoplásticas de polímeros (Park & Jun, 2005).

Na agricultura é utilizada como corretivo para solos ácidos, enriquecimento de solos pobres em ferro (Hind et al., 1999), no aumento da retenção de fósforo pelo solo (Summers et al., 2002) e na imobilização de metais pesados em solos contaminados (Ciccu et al., 2003; Lombi et al., 2002).

No campo do meio ambiente a lama vermelha é bastante utilizada principalmente na remediação de áreas contaminadas e no tratamento de efluentes líquidos, tendo sido utilizada com sucesso no tratamento de águas ácidas de minas (Fahey et al., 2002; Doye & Duchesne, 2003), assim como na remediação de solos contaminados por metais pesados, fósforo e nitrogênio (Santora et al., 2006; Phillips, 1998).

Na indústria química, as utilizações da lama vermelha tem se baseado em sua ação como catalisador em várias aplicações como a remoção de enxofre em querosene (Singh et al., 1993), hidrogenação do antraceno (Alvarez et al., 1999; Llano et al., 1994), degradação de compostos orgânicos voláteis (COV) (Halász et al., 2005), degradação de cloreto de polivinila (PVC) em óleos combustíveis (Yanik et al., 2001), degradação de organoclorados (Ordóñez et al., 2002). As propriedades de adsorção da lama vermelha são aproveitadas no tratamento de efluentes, sendo neste caso, necessário ativa-la. Sua ativação pode ser feita. Sua ativação pode ser feita através de tratamento térmico por calcinação em temperaturas próximas a 400 °C, o que resulta em um aumento de 3 a 4 vezes em sua área superficial (Sujana et al., 1996). Essa temperatura é relativamente baixa quando comparada à necessária para a ativação (esfoliação) de outros materiais como, por exemplo, a vermiculita, que sofre expansão somente na faixa de 800 a 1000 °C (França et al., 2002). A lama vermelha também pode ser ativada através de tratamento químico com ácidos (Alvarez et al., 1999; Apak et al., 1998b) ou com águas ricas em íons de Mg^{2+} , como a água do mar ou águas de salinas (Brunori et al., 2005).

A lama vermelha tem sido aplicada em processos de adsorção para vários tipos de adsorbatos, em efluentes sintéticos e reais, como metais pesados Cu(II), Pb(II), Cd (II), Cr(V) e ânions como fósforo (PO_4^{-3}) e arsênico (As) e pigmentos têxteis (Genç et al., 2003; Genç-Fuhrman et al., 2005; Genç-Fuhrman et al., 2004; Apak et al., 1998a; Apak et al., 1998b; Gupta et al., 2001; Silva Filho et al., 2005; Wang et al., 2005; Altundogan et al., 2002; Çengeloglu et al., 2002; Komnitas et al., 2004; Brunori et al., 2005; Akay et al., 1998; Koumanova et al., 1997; Namasivayam & Arasi, 1997) No tratamento de esgotos domésticos, tanto para a remoção de fósforo e formas de nitrogênio (NH_4^- e NO_3^-) como para a remoção de vírus e bactérias (Lopez et al., 1997;

Ho et al., 1991). De Souza (2000) e De Souza et al. (2001) utilizaram a lama vermelha para a adsorção e clarificação de chorume, obtendo uma redução na carga orgânica de 56,67 % e 60 % de remoção de cor.

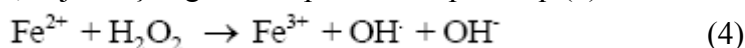
Alguns produtos desenvolvidos a partir da lama vermelha para o tratamento de matrizes ambientais receberam denominação comercial e alguns foram patenteados. A Kaiser Aluminium & Chemical Company desenvolveu um adsorvente denominado de *Cajunite*^â (Kirkpatrick, 1996). A Virotec International LTd. (Austrália) desenvolveu um processo em que se obtém um adsorvente a partir da lama vermelha neutralizada com água do mar, que patenteou como *Basecon*^â e o produto obtido como Bauxsol (Brunori et al., 2005; McConchie et al., 2002). A Alcoa conjuntamente com o Departamento de Agricultura do Oeste da Austrália desenvolveram o *Alkaloam*^â, para uso agrícola (Summers et al., 2002).

2.4.5 - Propostas de Aplicações para a Lama Vermelha no Brasil

As linhas de pesquisa desenvolvidas na UFPE envolvem principalmente o Departamento de Engenharia Química e o Departamento de Engenharia Civil, estão centradas em uma visão holística da problemática ambiental, buscando através da valoração ambiental da lama vermelha, alternativas técnica e economicamente viáveis para a indústria brasileira e em especial para o setor produtivo pernambucano. Dentre os projetos, destacam-se:

- Tratamento de efluentes oleosos: Tem por objetivo desenvolver um processo de tratamento, em nível de polimento de efluentes oleosos, tais como águas de produção e efluentes de laminação, através de adsorção em lama vermelha. Objetivo final desta linha de pesquisa é desenvolver um reator para a adsorção de hidrocarbonetos, metais pesados e outros elementos indesejáveis, tais como o enxofre, em um leito de lama vermelha.
- Tratamento de efluentes têxteis: Estuda o desenvolvimento de um reator para a remoção de corantes presentes em efluentes de industriais têxteis. Estudos realizados até o momento apresentaram uma remoção de 70 % em média do corante remazol black B (Silva Filho et al., 2005).
- Processos de oxidação avançada, reagente Fenton e catalise heterogênea: Pretende investigar as possibilidades de utilização da lama vermelha em processos oxidativos avançados (POAs), como fonte de íons de ferro e de TiO₂. Esses processos de tratamento são considerados como métodos promissores para a remediação de solos e águas residuárias contendo poluentes orgânicos não-biodegradáveis (Rodriguez, 2003). Dentre os POAs de interesse para a pesquisa estão o reagente Fenton e processos heterogêneos envolvendo TiO₂.

O poder oxidante do reagente Fenton (H₂O₂/Fe²⁺) é atribuído aos radicais hidroxilas (OH[•]) provenientes da decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio em meio ácido, cuja reação geral é representada pela Eq. (4)



Por outro lado, a fotocatalise heterogênea utilizando o semicondutor TiO₂ tem sido amplamente estudada para a descontaminação ambiental e o tratamento de efluentes líquidos e ou gasosos. O TiO₂ age como um semicondutor de elétrons propiciando a formação de radicais hidroxilas.

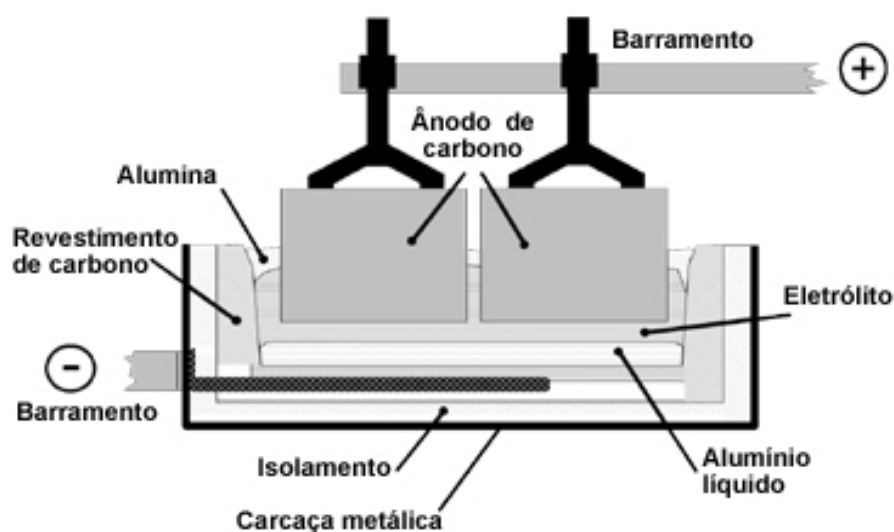
Resultados iniciais obtidos na remoção do corante Remazol Black B, em média 97%, demonstram ser promissora a utilização da lama vermelha como fonte de íons de ferro para o reagente Fenton (Silva Filho et al., 2006).

3 – Extração

O processo de extração do Alumínio só foi possível através do processo Hall-Héroult, sendo este a base para a extração de alumínio nas indústrias. O processo foi desenvolvido paralela e simultaneamente por Hall e Héroult, sendo ambos patenteados em 1886. O princípio fundamental do processo Hall-Héroult reside na redução da alumina dentro de cubas eletrolíticas dissolvida em banho de criolita (fluoreto de sódio e alumínio - Na_3AlF_6) e de fluoretos de um ou mais metais mais eletropositivos que o alumínio, por exemplo, sódio potássio, ou cálcio.

3.1 - Cubas eletrolíticas

São de chapas de aço, revestidos internamente com uma camada de refratário (de baixa condutividade elétrica e térmica) juntamente com carbono e por dentro desta existem eletrodos:



3.1.1 - Cátodo:

Normalmente composto de cobre com altíssima pureza é o pólo negativo da cuba eletrolítica. Situa-se na parte inferior da cuba eletrolítica para facilitar o processo.

3.1.2 - Anodo:

São blocos pré-cosidos compostos basicamente por uma mistura de coque de petróleo e breu de piche, funcionam como o pólo positivo da cuba e são consumidos durante o processo a uma taxa em torno de 420KgC/t de alumínio. Devido a este consumo são trocados com uma frequência aproximada de 25 dias. Por ser um componente fundamental ao processo e ter um consumo muito alto se torna mais vantajoso para as indústrias de produção do alumínio a fabricação deste pelo processo Soderberg.

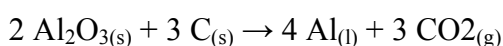
4 - Redução (processo Hall-Hérault)

O início da operação é feito bloqueando o ânodo contra a solteira da cuba. Após a carga de criolita esta é fundida e mantida a uma temperatura de 960°C pela passagem de corrente do cátodo com destino ao ânodo passando pelo banho ao mesmo tempo em que os eletrodos vão sendo suspensos, sendo adicionadas novas cargas de criolita.

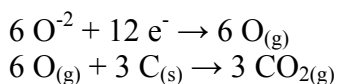
A seguir à adição de alumina até que o eletrólito atinja sua composição normal.

A composição do eletrólito é de capital importância: quando o teor de alumina é muito baixo (2%), acarreta elevação da temperatura chegando a aparecer uma chama viva em torno do eletrodo. Já quando o teor é muito baixo, o banho perde sua fluidez o que promove a retenção de glóbulos de alumínio, prejudicando a operação. Por esse motivo alumina é continuamente introduzida a uma taxa de 1,7kg/min a fim de manter o teor normal de operação

A partir da adição de alumina e a passagem de milhares de amperes é que a alumina começa a ser dissociada segundo a reação a seguir:

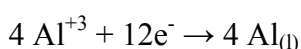


Sendo que no ânodo se forma o CO₂ a traves da equação anódica a seguir:



Por causa dessa combustão no anodo é que este tem uma vida útil de aproximadamente 25 dias.

E no cátodo se forma o alumínio em estado de fusão através da equação catódica a seguir:



Pelo motivo de o alumínio se formar no cátodo em estado de fusão é que este se encontra no fundo da cuba eletrolítica e para que o alumínio permaneça no fundo o banho eletrolítico deve ser menos denso.

O alumínio obtido na célula, ao se acumular numa camada de 10 a 12 cm de espessura é transferido para uma panela, vasando-se o orifício de corrida ou por meio de um cifão a vácuo, para evitar sua oxidação.

Normalmente deixa-se um camada de alumínio (cerca de 2 cm) não sendo desta forma, retirado todo o metal produzido. O alumínio é colhido periodicamente de 2 em 2 dias ou 3 em 3 dias e sua composição é de cerca de 99,5% sendo as impurezas, o ferro, silício, cobre, manganês, e titânio.

5 - Refino (processo Hoopes)

Após a obtenção do alumínio pelo processo Hall-Héroult, ele é refinado em células especiais (células Hoopes), caso se deseje produzir alumínio de alta pureza (aproximadamente 99,9%). A célula é pouco diferente da empregada na eletrólise da alumina, entretanto, o eletrólito e o ânodo possuem as seguintes particularidades:

O eletrólito é composto de criolita, flúoreto de Al, flúoreto de bário e alumina que é adicionada para proporcionar a densidade e a fluidez adequadas.

O ânodo é uma liga cobre-alumínio, de baixo teor de ferro titânio, contendo algum silício para baixar o ponto de fusão e repousa sobre o fundo de carvão da célula.

O banho fundido é formado por três camadas distintas:

Ânodo: camada inferior;

Eletrólito: camada intermediária;

Alumínio refinado: superior

Ao fim desse processo o alumínio é extraído por suguição através de cadinhos até os fornos elétricos de espera.

6 – Fundição

Na fundição o alumínio ainda em estado líquido é acondicionado em fornos elétricos de 50T onde é ajustada a composição e a temperatura necessárias para o processo de fundição. Após análise de pureza e ajuste de composição química, é feito o vazamento do metal em moldes de 22,5 kg instalados em máquinas lingoteiras.

7 - Reciclagem do alumínio

Atualmente é crescente o emprego do alumínio na fabricação de embalagens para bebidas, o que torna interessante a reutilização do mesmo, através da reciclagem como matéria-prima na indústria metalúrgica. Tornando-se uma atividade econômica que conta com diversos setores da sociedade, algumas pouco tecnológicas como coletar vasilhames já utilizados e culminando com etapas onde o conhecimento da metalurgia se torna fundamental para um melhor reaproveitamento do alumínio contido nestes vasilhames, garantindo assim, a qualidade metalúrgica deste processo.

7.1 - Infinitamente reciclável



Alumínio é o primeiro nome lembrado quando o assunto é reciclagem. A reciclabilidade é um dos principais atributos do alumínio e reforça a vocação de sua indústria para a sustentabilidade em termos econômicos, sociais e ambientais. O alumínio pode ser reciclado infinitas vezes, sem perder suas características no processo de reaproveitamento, ao contrário de outros materiais.

O alumínio pode ser reciclado tanto a partir de sucatas geradas por produtos de vida útil esgotada, como de sobras do processo produtivo. Utensílios domésticos, latas de bebidas, esquadrias de janelas, componentes automotivos, entre outros, podem ser fundidos e empregados novamente na fabricação de novos produtos. Pelo seu valor de mercado, a sucata de alumínio permite a geração de renda para milhares de famílias brasileiras envolvidas da coleta à transformação final da sucata. A reciclagem do alumínio representa uma combinação única de vantagens. Economiza recursos naturais, energia elétrica - no processo, consome-se apenas 5% da energia necessária para produção do alumínio primário -, além de oferecer ganhos sociais e econômicos. Assim, com a reciclagem do alumínio ganha o país, os cidadãos e o meio ambiente.

7.2 - O anel da lata



Existe uma lenda urbana que fala sobre a troca de anéis de lata de alumínio por cadeiras de roda, computadores, sessões de hemodiálise e outras versões. Não existe qualquer comprovação sobre alguma empresa ou instituição que tenha promovido essa troca em qualquer país do mundo. Embora o anel também seja reciclável, ele deve ser inserido nos fornos, juntamente com as latas, pois seu tamanho reduzido faz com que o material se perca durante o transporte e peneiragem do material e além disso, sua liga contém alto teor de magnésio, que tem alto teor de oxidação durante a refusão, inviabilizando sua reciclagem isolada. Algumas versões da lenda, falam sobre a existência de materiais como ouro, prata ou platina na composição da lata, o que também é falso. Outra lenda é a de que uma garrafa de refrigerante cheia de anéis teria um grande valor de mercado, centenas de reais por garrafa. Esta, na verdade, é uma lenda criada por causa de um golpe apelidado de "Golpe do Violino" onde falsos vendedor e comprador iludem o intermediário (no caso não um Luthier, mas um

comerciante de sucatas) e aplicam o golpe vendendo um material por um preço maior do que ele paga.

7.3 - Curiosidades

- Um quilo de alumínio reciclado, evita a extração de cinco quilos de bauxita.
- O ciclo médio de vida de uma lata de alumínio é de 30 dias, desde sua colocação na prateleira do supermercado, até seu retorno reciclada.
- A reciclagem de uma única lata de alumínio, pode economizar a energia necessária para manter um televisor ligado durante 3 horas ou uma lâmpada de 100 watts por 20 horas.
- Em média um quilo equivale a 74 latas.

7.4 - Benefícios

- Econômicos
 - Fonte de renda para diversos tipos de mão-de-obra.
 - Injeção de recursos na economia local.
 - Grandes investimentos não são necessários.
 - Economia considerável de energia elétrica.
- Sociais
 - Diminuição da quantidade de lixo nos aterros sanitários.
 - O meio ambiente é menos agredido.
 - Colaboração com o crescimento da consciência ecológica.
 - Estímulo da reciclagem de outros materiais.
 - Áreas carentes são beneficiadas com o aumento de renda.
 - Beneficia entidades assistenciais tais como igrejas e escolas.
- Políticos
 - Ajuda na composição do lixo urbano.
 - Colaboração no estabelecimento de políticas de destino de resíduos sólidos.
 - Adaptável a realidades de diferentes tipos e tamanhos de cidades.

7.5 - Números da reciclagem

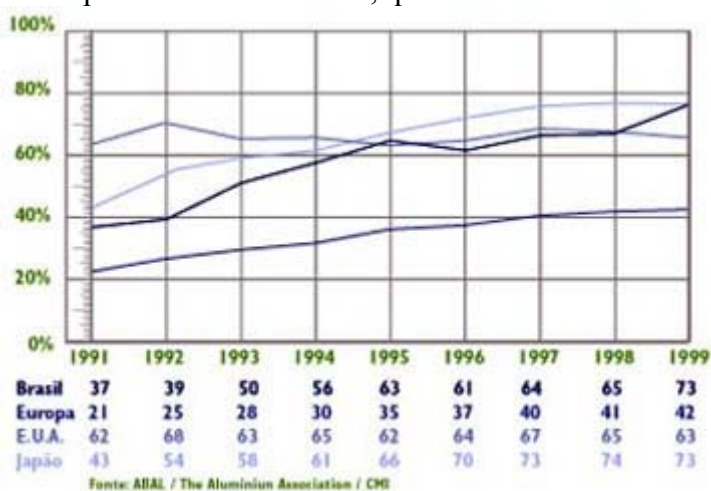
- O Brasil é (em 2005) pentacampeão na reciclagem de latas de alumínio em países onde a reciclagem de embalagens não é obrigatória por lei. O país reciclou, em 2005 96,2% das latas disponíveis no país, o que equivale a 127,6 mil toneladas de latas. Desde então, o país vem sendo seguido pelo Japão, Argentina e Estados Unidos embora existam países no mundo que possuam índices de reciclagem maiores que o brasileiro.
- Embora este índice seja alto, não podemos nos esquecer de que ele é tão expressivo graças ao 1 milhão de pessoas catando sucatas nas ruas do Brasil, número do qual não temos nada a nos orgulhar.
- Entre 2000 e 2005, subiu de 10% para 24%, a participação de clubes e condomínios na coleta de alumínio, mostrando um maior engajamento da classe média.

7.6 - O processo de reciclagem do alumínio

- 1 - É realizada a coleta do alumínio a ser reciclado (latinas, peças de carro, armações de janelas etc.);
- 2 - O material é limpo e transformado em fardos (blocos dos materiais compactados), que são transportados para a usina de reciclagem;
- 3 - Na usina, os blocos são desenfundados e quebrados em pedaços menores;
- 4 - Uma triagem é feita com um separador eletromagnético, que remove metais ferrosos que possam estar misturados ao alumínio;
- 5 - O material é picotado e é feita nova separação eletromagnética, passando depois por uma peneira vibratória que retira terra, areia e outros resíduos;
- 6 - Por meio de jatos de ar, um separador pneumático separa papéis, plásticos e outros materiais do alumínio;
- 7 - Os pedaços de alumínio são armazenados e colocados em um forno que realiza a eliminação de tintas e vernizes, sendo depois levados para um forno de fusão;
- 8 - Depois de fundidos, os pedaços ficam em estado líquido. Caso haja necessidade, a liga de alumínio (alumínio mais outros metais: geralmente silício, ferro, magnésio, entre outros) é corrigida com a adição dos elementos que estão faltando para que atinja a especificação química desejada;
- 9 - Depois da composição química ajustada, o material é lingotado, ou mesmo transportado líquido para o usuário (fundição);

7.7 - Reciclagem do alumínio

Segundo a ABAL - Associação Brasileira do Alumínio, em 1999 o país atingiu o seu recorde de reciclagem de latas de alumínio, com um índice de 73%. É o maior percentual desde 1989, quando foram iniciadas as estatísticas.



Um dos principais efeitos do programa de reciclagem é a geração de renda permanente para as pessoas envolvidas na coleta das latas vazias. Cooperativas de catadores, aposentados, desempregados e subempregados encontram na coleta de latas destinadas à reciclagem uma fonte de renda ou a complementação de outras fontes.

Ainda segundo a ABAL, estima-se que mais de 130 mil pessoas na atualidade vivam exclusivamente de coletar latas para reciclagem, recebendo, em média, três salários mínimos por mês.

7.8 - Alumínio Reciclado Gera Riqueza

O alumínio é um material amplamente utilizado, devido às suas propriedades como resistência mecânica e à corrosão, leveza e aspectos estéticos. Mas sua maior vantagem é que pode ser infinitamente reciclado. Pode-se encontrar o alumínio em carpetes e assentos de aviões, no tratamento das águas de piscina com sulfato de alumínio, cabos condutores de energia elétrica, painéis, bicicletas, luminárias, latas, tubos de pasta de dente, box de banheiros, móveis, barcos de recreio, peças de motores, brinquedos, trens de aterrissagem de aeronaves, explosivos e fogos de artifício, entre muitos outros exemplos. Não se encontra alumínio em estado natural. Ele é produzido por um processo químico a partir da bauxita, minério extraído de jazidas encontradas em Minas Gerais e na Amazônia. O Brasil é o sexto maior produtor de alumínio primário, atrás dos Estados Unidos, Rússia, Canadá, China e Austrália. Alumínio primário é obtido diretamente do processo de transformação da bauxita. Alumínio secundário é resultante do processamento de diversos materiais como sucatas, latas, peças de motores e as borras geradas no processo de produção de alumínio primário, ou seja, o alumínio reciclado.

A indústria nacional do alumínio apresenta dados importantes. O alumínio reciclado representa uma economia de 95% da energia gasta na produção do alumínio primário, além dos fatores ambientais inerentes ao processo. A produção do alumínio primário gera quatro toneladas de resíduo tóxico - conhecido como "lama vermelha" - para cada tonelada produzida. Quando o alumínio reciclado substitui o primário nos processos produtivos, reduz-se a formação de resíduos tóxicos.

O País produz anualmente cerca de 1.400 toneladas de alumínio e o reciclado corresponde a 13% desse total, ou seja, aproximadamente 180 toneladas. No ano de 2000, o Brasil reciclou 78% das latas de alumínio, superando Europa e os Estados Unidos, que reciclam alumínio há 30 anos, e igualando o Japão. A reciclagem de alumínio possibilita economia de 95% da energia utilizada para produzir o metal primário. Essa energia representa 35% dos custos de produção do alumínio primário e 5,5% da geração total de energia do País. Foram recuperadas 225 mil toneladas de sucata, o que representa um aumento de 26,3% em relação ao ano anterior. Cerca de 150 mil pessoas vivem da coleta de latas de alumínio. Praticamente, não se encontram produtos de alumínio, notadamente as latas, nos lixões e aterros. Os coletores de latas as selecionam no lixo doméstico e vendem aos sucateiros, que as revendem, então, para a indústria de alumínio secundário. O alumínio é um material que apresenta quase 100% de reciclagem. Em 1.999, a indústria do alumínio gerou 48.356 empregos diretos, apresentou faturamento de 5,7 bilhões de dólares, com pagamento de impostos equivalente a 700 milhões de dólares. Os investimentos foram de 700 milhões de dólares. A produção de alumínio primário foi de 1.250 mil toneladas e o consumo doméstico dos transformados de alumínio foi 660 mil toneladas. Cada habitante consumiu 4kg de alumínio no ano de 1.999. Ainda nesse ano, 910 mil toneladas foram exportadas e 136 mil toneladas importadas.

No ano de 2.000, a participação do segmento no PIB foi de 1,1% e no PIB industrial, 3,0%. Os investimentos foram de aproximadamente 700 milhões de dólares.

O faturamento do setor foi de US\$ 6,7 bilhões. A produção de alumínio primário foi de 1.271,4 mil toneladas em 2.000, o que coloca o Brasil como 6o produtor mundial, atrás dos EUA, Rússia, China, Canadá e Austrália. O consumo interno de alumínio foi de 667 mil toneladas, o que representa um crescimento médio de 7,8% nos últimos 10 anos.

O consumo doméstico, "per capita", ainda em 2.000, foi de 3,9kg anuais por habitante, números muito distantes do consumo americano, que em 1.999 foi de 36,2kg anuais por habitante. O resultados das exportações brasileiras de alumínio no ano 2.000 foram impressionantes. Geraram dois bilhões de dólares, o que significa 3,6% do total das exportações do País e um superávit de 1,6 bilhão de dólares. Os principais itens da pauta de exportação ainda são o alumínio primário e as ligas, mas vem crescendo a participação de produtos manufaturados e semi-manufaturados. Estes produtos, com maior valor agregado, elevaram o faturamento.

Conclusão

1 - Aplicações do alumínio

As características do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama de aplicações. Por isso, o metal é um dos mais utilizados no mundo todo. O uso do alumínio excede o de qualquer outro metal, exceto o aço.

Material leve, durável e bonito, o alumínio mostra uma excelente performance e propriedades superiores na maioria das aplicações. Produtos que utilizam o alumínio ganham também competitividade, em função dos inúmeros atributos que este metal incorpora, como: leveza; condutibilidade elétrica e térmica; durabilidade; resistência à corrosão e dureza.

Um dos segmentos em que a aplicação do alumínio tem evoluído mais rapidamente no mundo é o automotivo e de transportes.

Em veículos automotivos comerciais, nos quais os custos de manutenção e a economia de operação a longo prazo são cruciais, o alumínio é extensivamente utilizado em carrocerias, e peças internas como pistões, blocos de motores, caixas de câmbio, chassis e acessórios. No Brasil, o uso do alumínio em carros e utilitários é da ordem de 50 kg/veículo, enquanto nos EUA é de cerca de 128 kg/veículo.

A utilização do alumínio em transportes vem se acelerando no Brasil devido ao melhor controle de peso nas rodovias, a partir da privatização, e das preocupações que começam a existir na sociedade a respeito da emissão de poluentes pelos veículos. A tendência do uso do metal nessa indústria é promissora, pois o menor consumo de combustível proporcionará uma redução considerável de emissões de poluentes. Logo, quanto mais leve for o veículo, menos combustível ele consome e conseqüentemente reduzirá a emissão de poluentes.

O alumínio também está conquistando destaque cada vez maior dentro das mais variadas aplicações na construção civil. Hoje, o alumínio está presente em telhas, revestimentos, caixilharia, divisórias, forros e em muitos detalhes de concepções arquitetônicas modernas, com facilidade de manutenção, o que reflete diretamente na projeção de custos de uma obra.

Outras aplicações do alumínio são:

- Transporte: Como material estrutural em aviões, barcos, automóveis, tanques, blindagens e outros.
- Embalagens: Papel de alumínio, latas, tetrabriks e outras.
- Construção civil: Janelas, portas, divisórias, grades e outros.
- Bens de uso: Utensílios de cozinha, ferramentas e outros.
- Transmissão elétrica: Ainda que a condutibilidade elétrica do alumínio seja 60% menor que a do cobre, o seu uso em redes de transmissão elétricas é compensado pela sua grande maleabilidade, permitindo maior distância entre as torres de transmissão e reduzindo, desta maneira, os custos da infraestrutura.
- Como recipientes criogênicos até -200 °C e, no sentido oposto, para a fabricação de caldeiras.

2 - Previsões futuras

O alumínio é o terceiro elemento mais abundante da crosta terrestre, perdendo apenas para o ferro e o silício. Seu prazo estimado para exaustão de suas reservas atualmente conhecidas é de 200 a 400 anos

3 - Projetos em andamento e/ou previstos

A MRN deverá investir US\$ 180 milhões na ampliação de sua produção de bauxita metalúrgica passando de 11 Mt/ano para 16,3 Mt/ano em 2003. A CBA investirá US\$ 350 milhões para aumentar sua produção de alumínio primário de 240 mt/ano para 340 mt/ano em 2003, e num futuro próximo, pretende montar uma unidade de produção de alumina em Cataguazes para atingir 500 mt/ano de alumínio primário de acordo com seu presidente, Antônio Ermírio de Moraes. A Alcoa investiu US\$ 20 milhões em duas linhas de anodização de perfis em Sorocaba e Tubarão e uma de pó de alumínio em Poços de Caldas. A Albras concluiu seu plano de expansão da capacidade de produção de alumínio com investimentos de US\$ 55 milhões, passando de 360 mt/ano para 406 mt/ano. A Latasa planeja aplicar US\$ 110 milhões em três novas unidades até o final de 2003 localizadas em Viamão (RS), Brasília (DF) e Manaus (AM), para aumentar sua capacidade de 8 bilhões de latas/ano para 9,8 bilhões de latas/ano. A RTZ deverá expandir sua fundição de alumínio em Queensland de 490 mt/ano para 600 mt/ano.

4 - Outros fatores relevantes

A Alcan colocará à venda as refinarias de Kirkvine e Ewarton e suas minas e reservas na Jamaica. A Norsk Hydro adquiriu por 3,1 bilhões de euros a empresa alemã Vaw Aluminium e com isso dobra sua capacidade de produção. De acordo com Camine Nappi, diretor de análise da Alcan, a produção mundial de alumínio primário deverá fechar 2002 com 17,2 Mt. O consumo internacional de alumínio está concentrado nos EUA (37,4%); Europa (30%), Ásia (24,7%); América Latina (5,5%); África e Oceania (2,4%).

Referências

- Obtido em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762007000200011&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt>
- Obtido em <<http://www.albras.net/materiaPrima.htm>>
- Obtido em <<http://www.albras.net/processoProducao.htm>>
- Obtido em <http://www.abal.org.br/aluminio/processos_laminacao.asp>
- Obtido em <<http://www.abal.org.br/aluminio/introducao.asp>>
- Obtido em <<http://www.abal.org.br/aluminio/vantagens.asp>>
- Obtido em <http://www.alcoa.com/brazil/pt/custom_page/environment_juruti.asp>
- Obtido em <http://www.alcoa.com/brazil/pt/custom_page/about_recycling.asp>
- Obtido em <<http://www.embol.net/magazine/reciclagem/principal.htm>>
- Obtido em <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10635/>>
- Obtido em <[http://www.infopedia.pt/\\$reciclagem-do-aluminio](http://www.infopedia.pt/$reciclagem-do-aluminio)>
- Obtido em <<http://www.ipt.br/atividades/inovacao/exemplos/aluminio/riqueza/>>
- Obtido em
<http://www.alcoa.com/brazil/pt/news/whats_new/2006_05_11.asp?initSection=1000>
- Obtido em <http://saturno.crea-rs.org.br/crea/pags/revista/40/CR40_area-tecnica-artigo6.pdf>
- Obtido em
<http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_IX_jic_2001/Adriana.pdf>
- Obtido em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Reciclagem_de_alum%C3%ADnio>
- [1] ABAL: Associação Brasileira do Alumínio, <<http://www.abal.org.br>>, Acesso em: 2004.
- [2] PERRY, H.R., *Manual de Engenharia Química*, 5a ed., Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1980.
- [3] VOGEL, C., “Brasil recicla 89% das latas”, In: *A Notícia*, Florianópolis, mar. 2004.

- [4] SANT'ANNA, J.P., *Tecnologia. Processo Limpo*, Metalurgia & Materiais, São Paulo, p. 736-739, out. 2003.
- [5] CAMPBELL, J., *Castings: Metal Reactions*, Birmingham: Butterworth Heinemann, Cap. 1, pp. 1-25, 1995.
- [6] ASM Specialty Handbook Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 3Ed., J.R. Davies, 1996.
- [7] CARVALHO, B.A., (alumínio@abal.org.br). (2004/05/24). Informações Sobre Reciclagem de Latas de Alumínio. E-mail to: Udo Kurzawa (udok@terra.com.br).
- [8] EAA: The European Aluminium Association, <<http://www.eaa.net>>, Acesso em: 2002.
- [9] FUNDIÇÃO SANTA BÁRBARA. (sbarbara@terra.com.br). (2004/05/18). Informações sobre rendimento na reciclagem de latas de alumínio. E-mail to: Udo Kurzawa (udok@terra.com.br).
- [10] Periódico: Alumínio para futuras gerações <<http://www.abal.org.br>>, Acesso em: 2003.
- [11] TOMRA/LACTASA. <<http://www.tomra.com.br>>, Acesso em: 2004.
- [12] WORLD-ALUMINIUM: The International Aluminium Institute, <<http://www.world-aluminium.org>>, Acesso em: 2002.
- reciclagem do alumínio*. In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2008. [Consult. 2008-05-10]. Disponível na www: <URL: [http://www.infopedia.pt/\\$reciclagem-do-aluminio](http://www.infopedia.pt/$reciclagem-do-aluminio)>.