

**Luis Eduardo Medeiros Frota**

**Avaliação do Uso de Diferentes Fontes de Bauxita no Processo de  
Produção de Óxido de Alumínio**

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

**Campina Grande – Paraíba**

**Maio de 2012**

# **Avaliação do Uso de Diferentes Fontes de Bauxita no Processo de Produção de Óxido de Alumínio**

**Luis Eduardo Medeiros Frota**

Dissertação apresentada à 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*

*Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Brandão de Araújo*

Campina Grande – PB

2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

- F941a Frota, Luis Eduardo Medeiros.  
Avaliação do uso de diferentes fontes de bauxita no processo de produção de óxido de alumínio / Luis Eduardo Medeiros Frota. – Campina Grande, 2012.  
48 f. : il. color.
- Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2012.  
"Orientação: Prof. Dr. Antonio Carlos Brandão de Araújo".  
Referências.
1. Alumina. 2. Bauxita. 3. Processo Bayer. 4. Viabilidade.  
5. Novas Fontes. I. Araújo, Antonio Carlos Brandão de. II. Título.

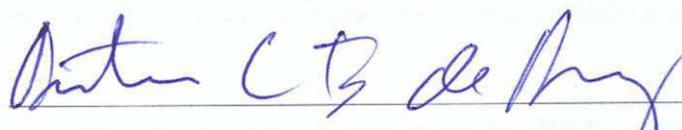
CDU 666.762.11(043)

**Avaliação do Uso de Diferentes Fontes de Bauxita no Processo de  
Produção de Óxido de Alumínio**

**Luis Eduardo Medeiros Frota**

Dissertação aprovada em: 16 / 05 / 2012

Banca examinadora:



---

*Prof Dr Antonio Carlos Brandão de Araújo*

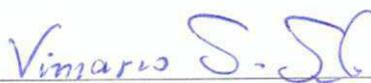
*Orientador*



---

*Prof Dr Romildo Pereira Brito*

*Orientador*



---

*Prof Dr Prof. Vimaros Simões Silva*

*Examinador*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela dádiva da persistência e paciência que me permitiram enfrentar esta empreitada.

Minha Família, que me manteve ligado ao meu caminho com suas palavras de sabedoria sem fim.

A Família Cursino que mesmo por um momento breve me acolheu durante os período final desta caminhada e da qual tomo a liberdade de me tornar membro honorário, pois fui tratado como um filho e irmão.

Aos amigos, em especial Silene Vendrasco, Luiz Rocha pelo suporte durante todo o trabalho.

A ALUMAR e a UFCG por terem celebrado esta parceria para o mestrado, sem o qual não haveria como ausentar-me do trabalho por alguns momentos visando à prática discente.

A todos os que a despeito de não haver menção direta, contribuíram indiretamente para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O Óxido de alumínio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , comumente chamado de alumina se trata de um composto químico de ampla utilização na indústria estando presente em pastas de dente, tinta, aditivos para tratamento de água dentre outros. Porém sua principal utilização é na indústria do Alumínio onde representa a principal material prima para a obtenção deste metal.

A maior parte do Óxido de alumínio produzido no mundo hoje tem como fonte primária a Bauxita. O Alumínio está presente nesse minério na forma de óxi-hidroxidos de alumínio onde os principais são: gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , diasporo  $\text{AlO}(\text{OH})$  e boehmita  $\text{AlO}(\text{OH})$ . O processo de refino para obtenção da Alumina a partir da Bauxita mais comumente aplicado atualmente é o processo Bayer no qual o minério é atacado com uma solução cáustica a base de hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) a fim de solubilizar o Alumínio para posterior recristalização. As várias etapas do processamento do minério são definidas e ajustadas em virtude das peculiaridades da bauxita utilizada como, por exemplo, composição química, granulometria e composição mineralógica. Bauxitas com características diferentes pedem processamento diferenciado. Com a demanda por alumina crescente, novas fontes de Bauxita necessitam ser exploradas e uma preocupação é que tipo de mudanças um minério de uma nova fonte pode causar ao processo. Este trabalho teve como objetivo avaliar a bauxita proveniente de uma nova fonte seus impactos no processo servindo como embasamento para tomada de decisão sobre a viabilidade da abertura de uma nova mina e um aumento de capacidade de processamento por parte da Refinaria. Caracterização química e simulação do processo Bayer em bancada mostraram que o material proveniente da nova fonte de bauxita não apresenta diferenças significativas em relação ao minério já utilizado embasando assim os investimentos para abertura e uma mina com capacidade de 4 milhões de toneladas de minério por ano e um aumento de capacidade de produção na refinaria de 2 milhões de toneladas de alumina ao ano.

Palavras chave: alumina, bauxita, processo Bayer , viabilidade, novas fontes.

## ABSTRACT

The aluminum oxide,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , commonly called alumina it is a compound widely used in chemical industry and is present in toothpastes, ink, water treatment additives and others. However aluminum industry is the principal client where is the main raw material for production of this metal.

Most of the aluminum oxide produced today has Bauxite as the main source. The aluminum is present in this ore as oxi-hydroxides which are the main: gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , diasporo  $\text{AlO}(\text{OH})$  and boehmita  $\text{AlO}(\text{OH})$ . The refining process for obtaining alumina from bauxite most commonly is the Bayer Process where ore is attacked with a caustic solution based on sodium hydroxide ( $\text{NaOH}$ ) in order to solubilize the aluminum subsequent to recrystallization. The various steps of ore processing are set and adjusted based on the characteristics used as, eg, chemical, mineralogical composition and particle size. Bauxites with different characteristics require different processing. With the increasing demand for alumina, new bauxite sources need to be explored and to know what kind of changes new ore source could require is fundamental. This work aimed to evaluate possible impacts caused by a new source and use this information to evaluate a new mine operation and increase processing capacity at Refinery.

Chemical characterization and reproduction of some stages of the Bayer process in bench showed that material from the new source of bauxite does not differ significantly in relation to the first ore confirming investments for opening a anew mine with a capacity of 4 million tons per year supporting production increase refinery production capacity of 1,5 million tons of alumina per year.

Keywords: alumina, bauxite, the Bayer process, feasibility, new sources.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....	14
3. SOLUÇÃO PROPOSTA – OBJETO DE ESTUDO DESTE TRABALHO.....	14
4. A BAUXITA .....	15
4.1 COMPOSIÇÃO MINERALOGICA .....	17
4.1 COMPOSIÇÃO QUIMICA.....	18
5. PROCESSO BAYER.....	20
5.1 OVERVIEW .....	20
5.2 PRINCIPAIS INSUMOS.....	22
BAUXITA .....	22
A) SODA CÁUSTICA (NAOH) .....	22
B) CAL (CAO) .....	22
C) CARVÃO .....	22
D) FLOCULANTE SINTÉTICO .....	22
E) ÓLEO DIESEL E BPF .....	22
F) ELETRICIDADE .....	22
G) ÁCIDO SULFÚRICO (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) .....	22
H) GÁS CARBÔNICO (CO <sub>2</sub> ) .....	22
I) FATORES DE CONSUMO .....	23
5.3 CIRCUITO PRINCIPAL.....	23
5.3.1 CASA DE FORÇA .....	24
5.3.2 MOAGEM.....	25
5.3.3 DIGESTÃO .....	25
5.3.4 CLARIFICAÇÃO.....	27
5.3.5 TROCA TÉRMICA.....	29

5.3.5 EVAPORAÇÃO .....	30
5.3.6 PRECIPITAÇÃO .....	31
5.3.7 CALCINAÇÃO .....	32
6. AMOSTRAS (PREPARAÇÃO) .....	33
6.1 FONTE .....	33
6.2 PREPARAÇÃO .....	33
7. ANALISES .....	33
7.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA.....	33
7.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA X FAIXA GRANULOMETRICA.....	36
7.3 ESTABILIZAÇÃO DO LICOR (RATIO) .....	37
7.4 CLARIFICAÇÃO .....	41
7.4.1 PARA 250 G / L .....	41
7.4.2 PARA 100 G / L .....	42
7.5 DESSILICAÇÃO .....	42
8. SITUAÇÃO ATUAL.....	44
9. CONCLUSÃO .....	45
10. REFERENCIA.....	46
ANEXO .....	47
1 - REQUISIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DE INFORMAÇÃO.....	48

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – RELAÇÃO DE PRODUÇÃO - BAUXITA X ALUMINA X ALUMINIO .....	13
FIGURA 02 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DA BAUXITA.....	16
FIGURA 03 – PRODUÇÃO POTENCIAL DE BAUXITA.....	16
FIGURA 04 – ALUMINA.....	20
FIGURA 05 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO FLUXO DE PROCESSO - REFINARIA ALUMAR.	24
FIGURA 06 – SISTEMA DE DIGESTÃO .....	38

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - DESCRIÇÃO MINERALÓGICA TÍPICA DOS TRÊS PRINCIPAIS FASES PRESENTES NA BAUXITA.....	18
TABELA 02 – FATORES DE CONSUMO .....	23
TABELA 03 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA JURUTI X MRN.....	34
TABELA 04 – ELEMENTOS COM CONCENTRAÇÃO MAIS ELEVADA JURUTI X MRN .....	36
TABELA 05 – ELEMENTOS PERIGOSOS (SSMA) .....	36
TABELA 06 – DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	36
TABELA 07 – PERCENTUAL RETIDO POR FAIXA.....	36
TABELA 08 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA POR FAIXA GRANULOMETRICA .....	37
TABELA 09 – PARÂMETROS DE DIGESTÃO .....	38
TABELA 10 – PARÂMETROS DA BAUXITA.....	38
TABELA 11 – PARÂMETROS INICIAIS DO LICOR.....	38
TABELA 12 – RATIO BLOW OFF .....	39
TABELA 13 – DECLÍNIO DO RATIO NO LICOR.....	39
TABELA 14 – DECAIMENTO DE RATIO.....	40
TABELA 15 – SÓLIDOS SUSPENSOS 250G/L.....	41
TABELA 16 – SÓLIDOS SUSPENSOS 100G/L.....	42
TABELA 17 – SÍLICA NO LICOR.....	43

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – PRODUÇÃO DE BAUXITA POR PAÍS .....	17
GRÁFICO 02 – COMPOSIÇÃO TÍPICA DE BAUXITA REGIÃO AM.....	19
GRÁFICO 03 – COMPOSIÇÃO TÍPICA DE BAUXITA AUSTRALIANA .....	19
GRÁFICO 04 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA JURUTI X MRN .....	34
GRÁFICO 05 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA JURUTI X MRN .....	35
GRÁFICO 06 – COMPOSIÇÃO QUÍMICA JURUTI X MRN .....	35
GRÁFICO 07 – DECLÍNIO DE RATIO .....	40
GRÁFICO 08 – DECLÍNIO DE RATIO .....	40
GRÁFICO 09 – SÓLIDOS SUSPENSOS (G/KL).....	41
GRÁFICO 10 – SÓLIDOS SUSPENSOS (G/KL).....	42
GRÁFICO 11 – SÍLICA NO LICOR X TEMPO.....	43

## DEFINIÇÕES

### Licor

É um líquido amarelado constituído de uma solução de sais de sódio,  $\text{NaAl(OH)}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e impurezas que é utilizado no processo de produção da alumina. Devido à sua constituição química, o licor deve ser manuseado com bastante cuidado, pois pode causar queimaduras químicas e térmicas.

### Green Liquor ou Licor Verde

É o licor rico em alumina que alimenta a precipitação. O licor verde é que carrega a produção da refinaria. É dele que iremos recuperar a alumina dissolvida na Digestão.

### Spent Liquor ou Licor Usado

É o licor pobre em alumina que sai da precipitação.

### Ratio (A/TC)

É a relação entre a massa de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e de TC (expressos como  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) no licor.

### TA (Total Alcalino) – g/L

É a concentração de soda ( $\text{NaOH}$ ) e carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) total presente no licor. Ela é expressa como g/L de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Abaixo o TA típico de alguns de nossos licores

### TC (Total Caustic) – g/L

Representa a concentração total de soda ( $\text{NaOH}$ ) tanto livre como associada ao Aluminato de sódio ( $\text{NaAl(OH)}_4$ ). Apesar de ser concentração de soda é expresso como gramas de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  por litro de licor. É uma das principais variáveis de controle da Refinaria e toda produção depende do controle do TC.

### Yield( g/L)

Massa de hidrato precipitado em relação ao volume de licor verde enviado para a precipitação.

## 1. Introdução

No mundo atual o alumínio é um dos compostos mais versáteis e importantes para humanidade. Ele está presente sob as mais variadas formas e possui aplicações diversas como, por exemplo: Tintas, produtos de higiene, aditivos para tratamento de águas, medicamentos, porém sem dúvida alguma sua mais importante aplicação é na forma de alumínio metálico onde está presente desde a industrial civil, como por exemplo, janelas e portões, chegando até a indústria aeroespacial na qual aviões e naves espaciais tiram proveito de suas propriedades (leveza, resistência).

O Alumínio é o metal mais abundante da crosta terrestre e o terceiro elemento mais abundante (8%) ficando atrás apenas de oxigênio e silício. Porém diferentes de outros compostos ele não é encontrado isolado na natureza. Muitas fontes de suas fontes são extremamente estáveis o que dificulta o seu processamento e a obtenção de alumínio puro.

No entanto, existe uma classe de minerais, os hidróxidos de alumínio e oxi-hidróxidos de alumínio. Sendo hidróxidos, eles são mais ou menos solúvel em base forte. A primeira fonte desses hidróxidos a ser explorado estava situado nas belas montanhas de Les Baux, no sul da França, e, portanto, ao minério extraído dali foi dado o nome apropriado "bauxita". O químico austríaco Karl Bayer reconheceu que o alumínio da bauxita poderia ser solubilizado em uma solução cáustica de hidróxido de sódio, na forma de aluminato de sódio, e posteriormente precipitado na forma de hidrato, óxido de alumínio tri-hidratado. Após alguns anos de trabalho e desenvolvimento esse processo foi patentado como Processo Bayer e até hoje é o método de maior utilização para obtenção do alumínio. A Bauxita é parte importantíssima e estratégica para o setor de produção. Sua localização geográfica, características físicas e peculiaridades na composição química precisam ser avaliadas para atestar a viabilidade de exploração. Pequenas alterações podem requerer diferentes etapas no processo da Bayer onerando o processo podendo inclusive inviabilizar a exploração do mesmo.

4 ton Bauxita → 2 ton Alumina → 1 ton Alumínio

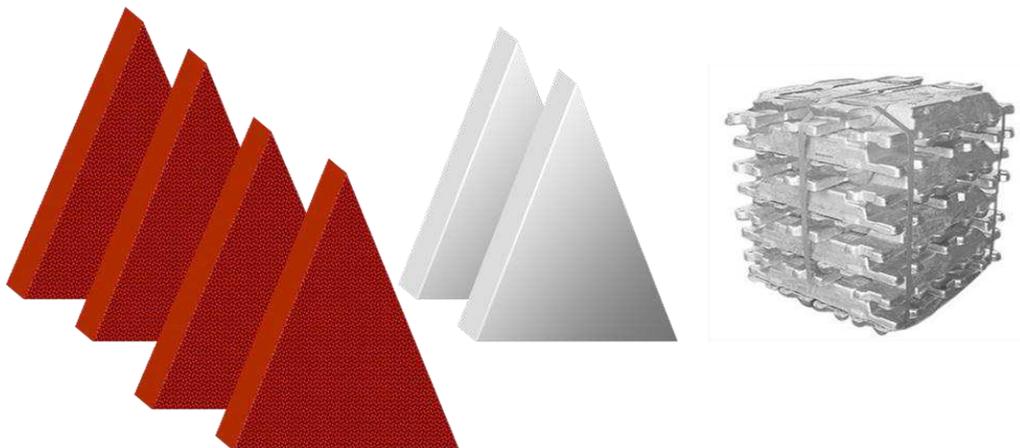


Figura 01 – Relação de produção - Bauxita x Alumina x Alumínio

## **2. Descrição do Problema**

De forma resumida, a Alumar utilizava 100% da Bauxita proveniente da Mineração Rio do Norte (MRN) desde o início das operações na primeira metade da década de 80. Com o passar dos anos o cenário mundial sedento por um aumento da oferta de alumina e alumínio abre oportunidade para o incremento de produção na região do Atlântico.

Aumentar a produção de alumínio e alumina passa pelo desenvolvimento de um fornecedor de Minério. A época a MRN já estava com a sua capacidade de produção comprometida então uma nova fonte deveria ser desenvolvida.

Alem de dados relevantes de capacidades de produção da própria mina, quantidade de minério disponível, localização itens importantíssimos as características químicas e físicas do minério devem estar de acordo com as especificações técnicas exigidas pela Refinaria evitando ou reduzindo ao máximo possíveis alterações no processamento da Refinaria.

Um possível fornecedor de Bauxita seria uma pequena cidade do oeste do Pará chamada de Juruti situada próximo da divisa com o estado do Amazonas. Um protocolo vasto de sondagens e análises foi realizado a fim de determinar a qualidade do minério desta região.

Porém, mesmo após toda a caracterização das amostras de sondagem terem gerado um conhecimento substancial sobre a nova fonte o conhecimento do comportamento do minério quando submetidos a etapas do processo Bayer e uma caracterização química mais aprofundada são de extrema importância.

## **3. Solução Proposta – Objeto de estudo deste Trabalho**

Realizar uma caracterização minuciosa do minério proveniente da Mina de Juruti e simular etapas críticas do processo Bayer a fim de avaliar possíveis impactos de sua utilização na Refinaria da ALUMAR.

Para isso as seguintes etapas foram propostas:

- Composição química total;
- Composição química por faixa granulométrica;
- Estabilidade da Solução Cáustica (Ratio);
- Clarificação da Solução Cáustica (sólidos suspensos);
- Taxa de sedimentação.

Os testes foram realizados em caráter comparativo submetendo uma amostra da Bauxita MRN e uma amostra da Bauxita JURUTI ao mesmo teste sendo a amostra da MRN funcionando como controle uma vez que esta já tem seu comportamento bem conhecido.

Os pontos escolhidos para teste visão abranger impactos como:

- Contaminação do produto final por impurezas provenientes da matéria prima;
- Impactos em perda por auto-precipitação;
- Extração;
- Desempenho da Clarificação do Licor;
- Desenvolver conhecimento sobre a nova fonte de bauxita;

Grande parte das referencias que embasam esse trabalho tratam-se de informações privadas da empresa não podendo assim ser expostas.

#### **4. A Bauxita**

Em 1821 na localidade de Les Baux, no sul da França uma rocha de coloração avermelhada, rica em alumínio foi descoberta por Berthier. A esse mineral foi dado o nome de Bauxita.

As bauxitas economicamente aproveitáveis possuem um conteúdo de alumina ( $Al_2O_3$ ) entre 50 e 55%. O teor mínimo para que ela seja aproveitável é da ordem de 30% (Anjos e Silva, 1983; Pagin et al., 1983).

A maior parte da bauxita processada atualmente, e no futuro próximo são denominadas de Lateritas. Laterita são solos cujos principais componentes são os hidróxidos de alumínio e de ferro, onde as águas pluviais removeram a sílica e diversos cátions.

Estas ocorrem principalmente nas regiões tropicais e sub-tropicais, na figura 02 tem-se o mapa dos principais depósitos de bauxita do mundo.

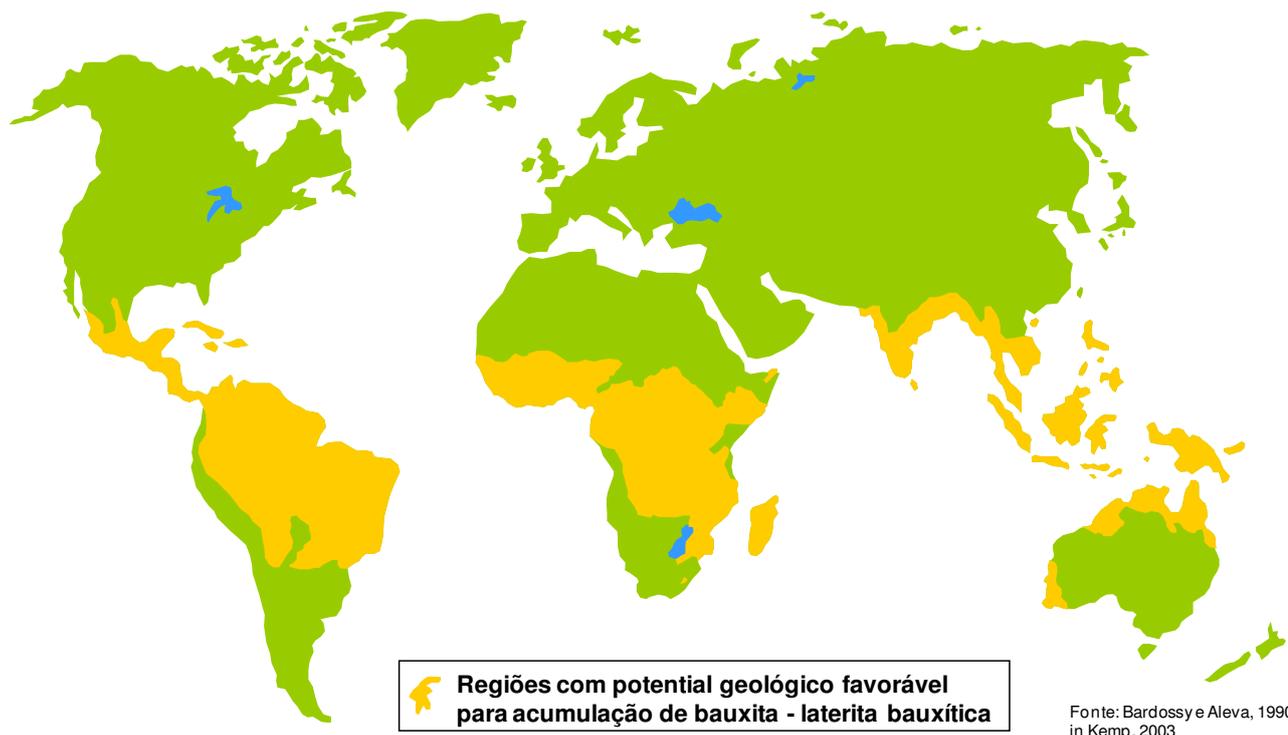


Figura 02 – Mapa de distribuição da Bauxita

Em termos de capacidade potencial para produção de Bauxita o Brasil estaria em terceiro lugar ficando atrás apenas de Guiné e Austrália os quais seriam respectivamente o primeiro e segundo lugares.

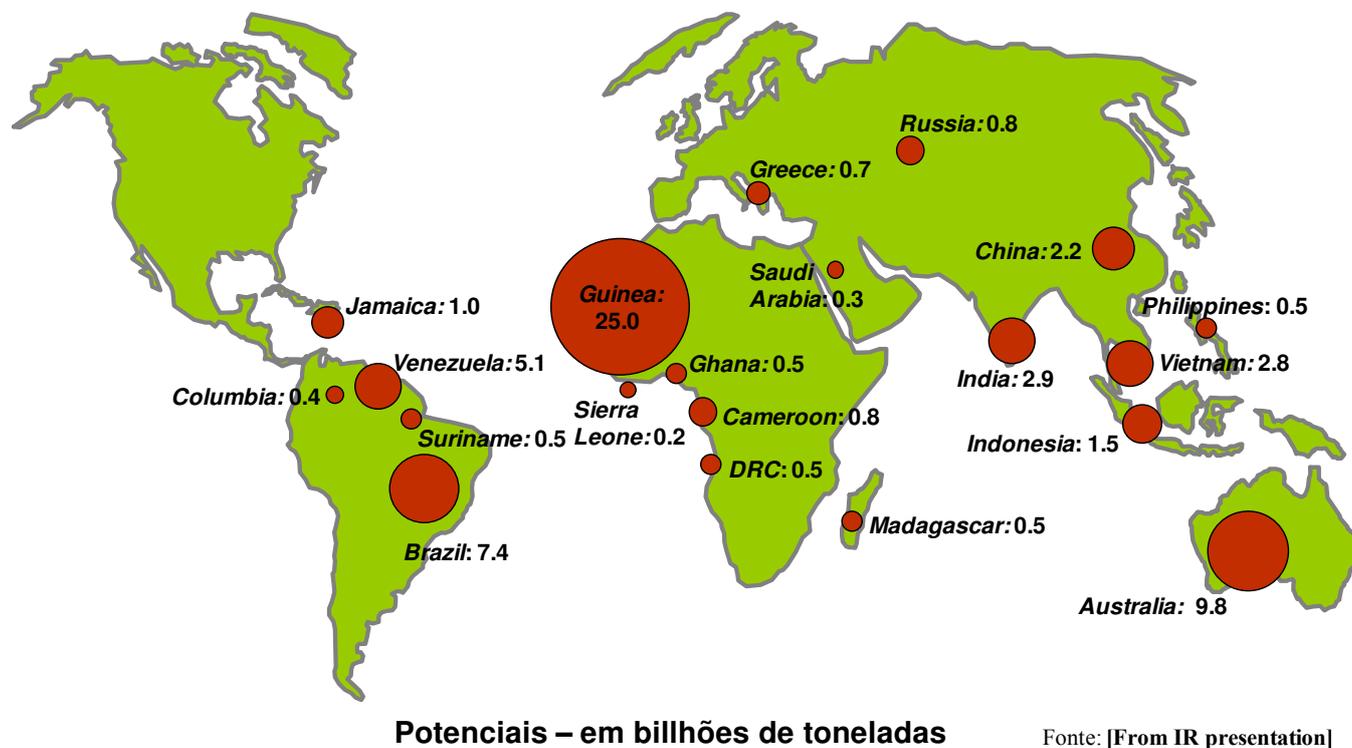


Figura 03 – Produção potencial de bauxita

Contudo a exploração não está ligada apenas à disponibilidade do minério. Uma série de pré-requisitos também são de caráter fundamental como:

- Acessibilidade ao minério (profundidade, tipo de terreno, etc.);
- Logística (beneficiamento, escoamento da produção);
- Infra-estrutura (inclusive energia) para montagem e operação;
- Recursos humanos;
- Condições técnicas, legais, sociais e ambientais adequadas;
- Competitividade/viabilidade financeira.

Um ponto importante que merece ser mencionado também é a questão geopolítica, pois muitas das reservas estão situadas em zonas de certa instabilidade o que por muitas vezes limita ou inibe as operações de mineração.

Diante do exposto acima a lista dos maiores produtores de Bauxita é um pouco diferente quando comparada à disponibilidade do minério. A Austrália assume o primeiro lugar seguido do Brasil em segundo. A Guiné, país que possui as maiores reservas, cai para a quarta posição atrás da China, Gráfico 1.

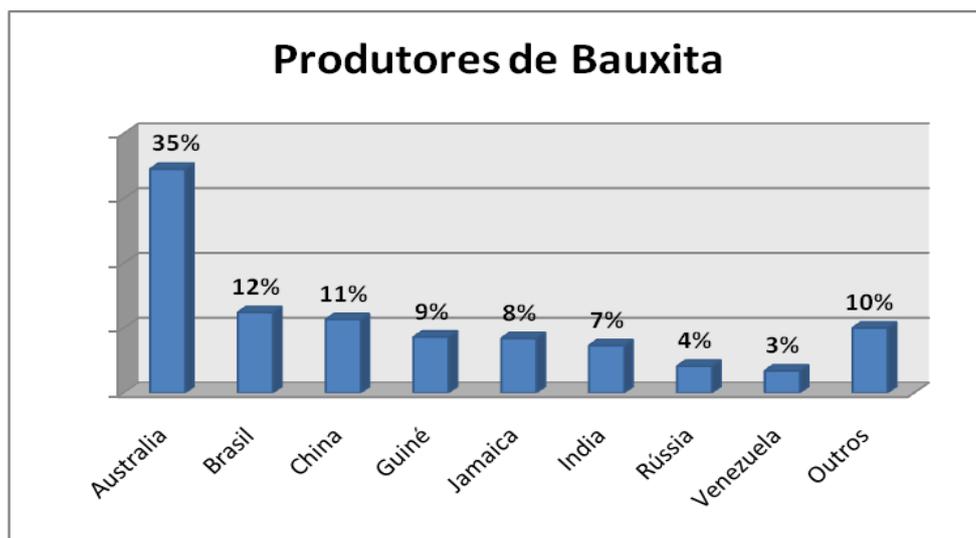


Gráfico 01 – Produção de Bauxita por país

#### 4.1 Composição Mineralógica

A Bauxita é uma mistura impura de minerais de alumínio, onde os mais importantes são gibbsita  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , diásporo  $\text{AlO}(\text{OH})$  e a boehmita  $\text{AlO}(\text{OH})$ . Esses minerais são conhecidos como oxihidróxidos de alumínio e suas proporções na rocha variam muito entre de um depósito para outro.

A principal diferença entre boehmita e diásporo, em relação à gibbsita, está na estrutura cristalina. A gibbsita existe na forma cristalina e os outros, na forma de monohidrato.

<b>Mineral</b>	<b>Gibbíta</b>	<b>Bohemita</b>	<b>Diásporo</b>
Fórmula química	Al(OH) <sub>3</sub> - γ	AlOOH - γ	AlOOH - α
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :H <sub>2</sub> O	1: 3	1: 1	1: 1
(%) máxima de alumínio	65,4	85,0	85,0
Sistema cristalino	Monoclínico	Ortorrômico	Ortorrômico
Dureza Moh	2,5-3,5	3,5-4,0	6,5-7,0
Densidade	2,42	3,01	3,44
Índice de refração	1,568	1,649	1,702
Temperatura (°C) de desidratação	150	350	450
Produto de desidratação	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - χ	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - γ	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - α
Solubilidade (g Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /L) (*)	128	54	Insolúvel
(*) Em solução de Na <sub>2</sub> O a 100 g/L, a 125 °C.			
<b>Bauxita Não Metalúrgica</b>		<b>Bauxita Metalúrgica</b>	
Constituintes	(%)	Constituintes	(%)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5 (máx.)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11 - 12
SiO <sub>2</sub>	5 - 7	SiO <sub>2</sub>	< 4,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	> 48
Densidade aparente > 3		* Alumina aproveitável pelo processo Bayer	

Fonte: Habashi, 1993.

Tabela 01 - Descrição mineralógica típica dos três principais fases presentes na bauxita

As fase mineralógica mais interessante para o processo Bayer é a gibbíta pois é a forma que exige o menor gasto energético para a sua dissolução no meio caustico, aproximadamente 143°C enquanto que o bohemita requer temperaturas da ordem de 250°C.

A bauxita da região amazônica é predominantemente gibbítica com uma concentração de aproximadamente 50%.

#### 4.1 Composição Química

Dentre as muitas impurezas que se encontram associadas ao minério as principais são: óxidos de ferro, argila, sílica, dióxido de titânio.

A presença ou ausência e a proporção entre esses constituintes citados conferem a cada bauxita características peculiares influenciando também nas etapas de refino. Normalmente fontes diferentes fornecem materiais com diferentes características.

Os teores de ferro têm impacto direto na qualidade da alumina, pois existe a necessidade de um teor mínimo de ferro para que ele ultrapasse a concentração de equilíbrio antes da etapa de precipitação do hidrato e assim não contamine o produto final.

A sílica está presente em duas formas principalmente o quartzo e a caulinita. O quartzo normalmente é retirado do processo de refino na etapa de clarificação sendo endereçado para os lagos de resíduo.

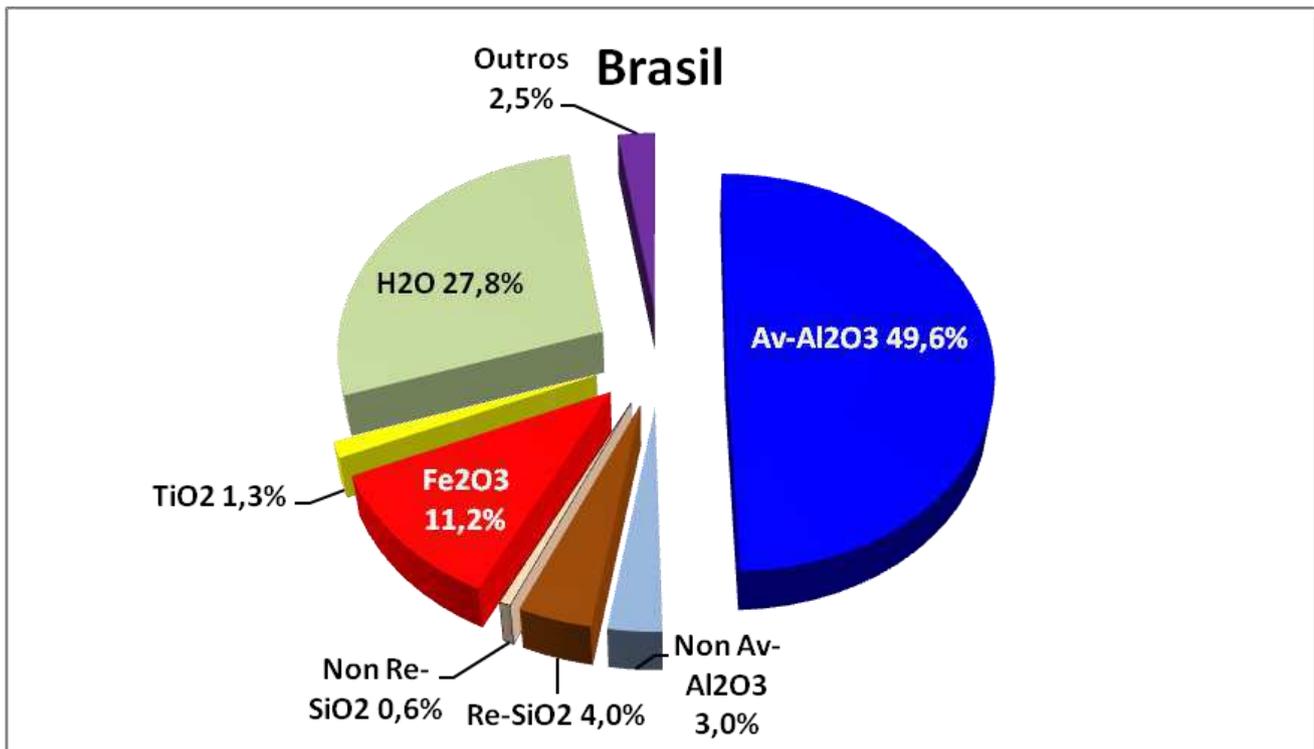


Gráfico 02 – Composição típica de bauxita região amazônica

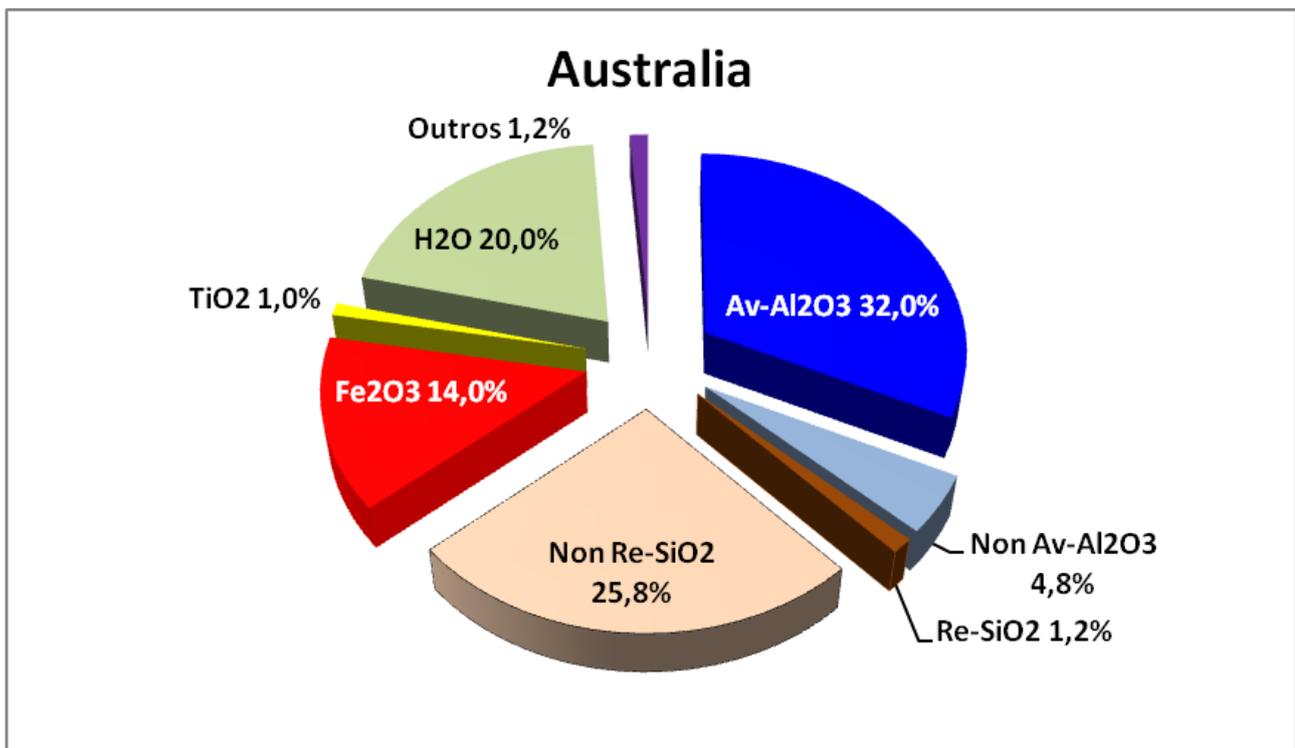
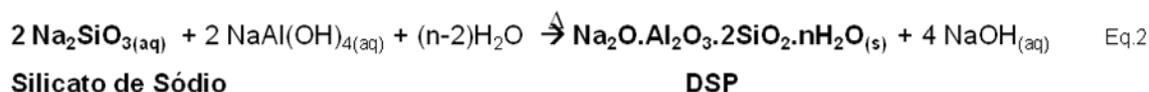
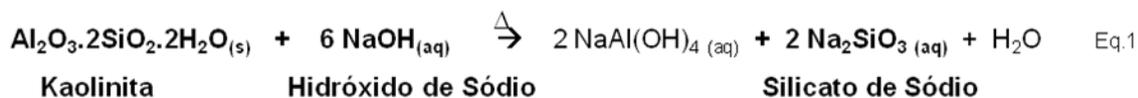


Gráfico 03 – Composição típica de bauxita australiana

A caulinita por sua vez é um composto de alumínio e silício ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) o qual nas condições de operação do Processo Bayer reage com a soda cáustica formando um composto conhecido como DSP (produto de dessilicação).



O DSP além de ser um consumidor ilegal de NaOH também é responsável por vários transtornos operacionais ao longo do processo Bayer pois o mesmo precipita de forma no interior de tubulações, tanques e vasos reduzindo assim o tempo de vida útil.

## 5. Processo Bayer

### 5.1 Overview

A primeira etapa na produção do alumínio é a extração das impurezas do minério de bauxita. Este processo químico é conhecido como refino e a técnica praticada hoje é o Processo Bayer, patenteado em 1887 pelo austríaco Karl Joseph Bayer. São de decisiva importância neste processo não só um alto teor do minério de alumina (gibsite ou boemita), mas também uma porção mínima possível de sílica (SiO<sub>2</sub>) e outras impurezas.

Al(OH) <sub>3</sub>	AlOOH
Gibsite	Boemita

A alumina é um pó branco seco, de consistência similar a areia fina de praia. Mais de 90% da alumina produzida no mundo é utilizada para produção de alumínio. O restante é empregado como abrasivo material refratário, na indústria química, cerâmica e indústria de vidros.

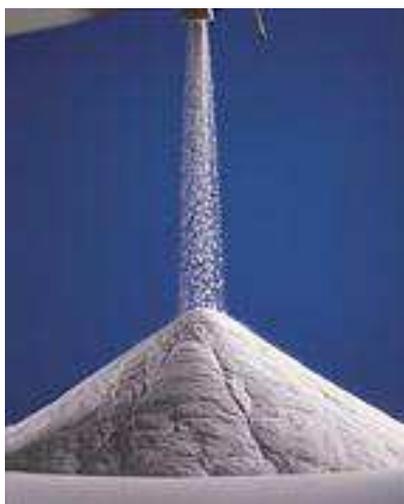
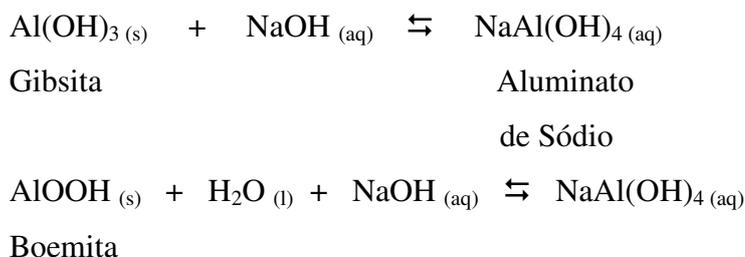


Figura 04 – Alumina.

Para extrair a alumina de outros componentes do minério de bauxita, o Processo Bayer emprega

uma solução de soda cáustica aquecida. A parte desejável do minério é extraída pelo tratamento com uma solução aquosa, sendo um processo tipicamente hidrometalúrgico.

No processo Bayer, a gibsita e/ou boemita presente na bauxita moída é misturada com uma solução de soda cáustica, **NaOH**, reage consoante a seguinte equação química:



A abertura da bauxita, ou *extração*, com o intuito de dissolver o alumínio nela presente dá-se em grandes tanques chamados de digestores. Note que o alumínio não é encontrado puro na natureza, e sim combinado a outros elementos. Na bauxita utilizada pela Alumar, predomina a gibsita (um tri-hidróxido). Além disso, a extração da alumina a partir da boemita (um mono-hidróxido) requer condições especiais, sendo desprezível a quantidade recuperada no Processo Bayer clássico. Vale ressaltar ainda que, na indústria e no comércio em geral, algumas nomenclaturas utilizadas diferem das recomendadas pela literatura. Por exemplo, uma forma corrente de se referir ao hidróxido de alumínio é *hidrato* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) ou alumina hidratada. Outro exemplo é quanto ao  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : em vez de óxido de alumínio diz-se *alumina*. O leitor não precisa se preocupar quanto a consistência das nomenclaturas ou representação da reação: todas as formas geram alumina.

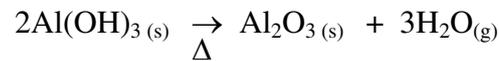
O processo Bayer se baseia também no fato da reação de solubilização da gibsita em meio cáustico ser reversível. Desta forma, através do controle da pressão e temperatura, conduz-se a reação no sentido direto (produção do aluminato – extração –) ou inverso (produção do hidróxido de alumínio – recuperação –). Isto porque a solubilidade do  $\text{Al(OH)}_3$  em soda cáustica aumenta com a temperatura, logo, a reação pode ser facilmente reversível pelo resfriamento da solução, recuperando-se o hidróxido de alumínio. Esta reação de *recuperação* ocorre em precipitadores:



Além de a reação ocorrer no sentido da formação do hidróxido de alumínio, ela também serve para recuperar a soda cáustica do processo, daí a necessidade de voltar com o licor fraco para o início

do processo.

A última etapa do processo Bayer, consiste na produção efetiva da matéria-prima do alumínio: a alumina. Para isso, o hidrato é aquecido a cerca de 1000°C em calcinadores (fornos de leito fluidizado). Essa fase é chamada de calcinação, e a reação envolvida é:



Após a calcinação, a alumina esta pronta para ser utilizada na produção do alumínio metálico em plantas específicas .conhecidas como Reduções (aplicação do Processo Hall - Reoult).

## **5.2 Principais insumos**

### **Bauxita**

O principal insumo, a Bauxita, está descrita no item 4.

#### **a) Soda Cáustica (NaOH)**

A soda cáustica possui, principalmente, duas funções:

- 1- como matéria-prima, dissolvendo o hidróxido de alumínio presente na bauxita (fase de extração);
- 2- lavagem cáustica removendo as incrustações de linhas e equipamentos.

#### **b) Cal (CaO)**

Utilizado como auxiliar de filtração, estabilizante do licor e na remoção de fosfatos.

#### **c) Carvão**

É usado nas caldeiras para obtenção de energia através da geração de vapor.

#### **d) Floculante Sintético**

É utilizado como auxiliar de decantação da lama nos espessadores e lavadores..

#### **e) Óleo Diesel e BPF**

O Diesel é usado para partida do calcinador e o BPF para sua operação.

#### **f) Eletricidade**

Utilizado para a operação dos equipamentos elétricos da Refinaria (bombas, instrumentos e etc).

#### **g) Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)**

Usado para lavagem ácida de trocadores de calor para remoção de incrustações nos tubos.

#### **h) Gás Carbônico (CO<sub>2</sub>)**

Usado na neutralização de efluentes alcalinos.

### **i) Fatores de Consumo**

O controle da quantidade de insumos necessários para a produção da alumina são vitais para o sucesso e continuidade operacional de uma refinaria. Dentre os insumos principais, também denominados de matéria prima primaria, os fatores de consumo típicos estão demonstrados na tabela 02.

<b>FATORES CONSUMO POR TON SGA</b>	
Bauxita (dry)	2,12 ton
Soda	90,1 kg
Carvão	131 kg
Óleo BPF	70,1 kg
Energia	7,13 GJ

Tabela 02 – Fatores de consumo

### **5.3 Circuito Principal**

Normalmente uma refinaria de alumina é dividida em áreas de forma a que cada uma é responsável por uma parte do processamento. Uma filosofia muito comum é considerar a planta como o corpo humano onde cada área é como um órgão onde mesmo cada uma tendo sua função específica todas são vitais e o funcionamento harmonioso entre todas é extremamente importante.

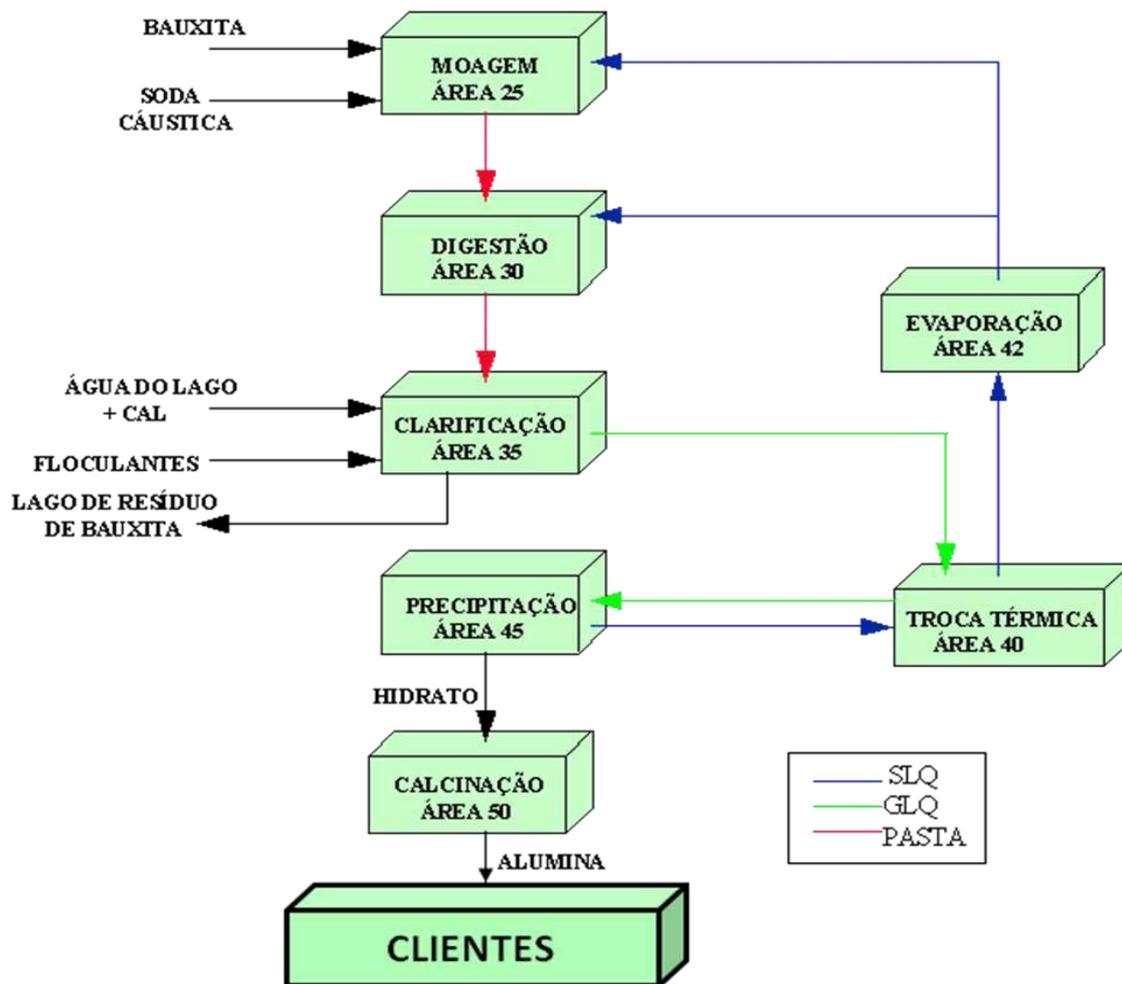


Figura 05 – Diagrama de blocos do fluxo de processo - Refinaria Alumar

### 5.3.1 Casa de Força

Área responsável pelo fornecimento da energia necessária aos processos da refinaria. Esta energia normalmente é conseguida através da queima de combustíveis como:

- Gás natural
- Carvão Mineral
- Óleo Combustível

A distribuição da energia normalmente acontece sob a forma de valor d'água. Parte da energia não aproveitada pelas áreas retorna a casa de força na forma de condensado para ser vaporizado novamente reaproveitando assim a energia e reduzindo o consumo de água para a produção de vapor.

### 5.3.2 Moagem

Área composta por sistema de transporte, correias, silo de armazenagem, moinhos ( rotativos) e tanques de estocagem de pasta. Tem como principal função:

- Transportar e armazenar o mineiro.
- Moer a bauxita, controlando a granulometria dos sólidos moinhos menor que 7% na malha +35 mesh.
- Favorecer o ataque mais eficiente da soda através do aumento da área de superfície da bauxita.
- Manter controlado o fluxo contínuo de pasta para a Digestão, com uma qualidade uniforme.
- Manter a concentração de sólidos entre 900 e 1100 g/L.

### 5.3.3 Digestão

Os principais objetivos da digestão são:

- Solubilizar o máximo possível a alumina tri-hidratada contida na bauxita, formando o aluminato de sódio (o que é feito a 147°C e 320 kPa).
- Remover a sílica reativa da pasta de bauxita, formando o DSP, que é um composto insolúvel.
- Reduzir a temperatura da pasta de bauxita de 147oC (temperatura na saída do último digestor) para 110oC, reaproveitando a energia liberada durante este processo (vapor regenerado) para aquecer o licor usado que alimenta a digestão.
- Produzir condensado de boa qualidade (condensação de vapor) para uso nas caldeiras.
- Remover o fosfato ( $P_2O_5$ ) através da reação com leite de cal.
- O princípio de operação da Digestão é criar as condições necessárias de alta pressão e temperatura para extrair a alumina contida na pasta de bauxita, pela reação com uma solução cáustica.

As etapas do Processo são:

- a) Aquecimento do licor e da pasta;
- b) Mistura de licor, pasta e vapor;
- c) Extração da alumina;
- d) Resfriamento da pasta.

Para que ocorra a Digestão são necessários 3 ingredientes: o licor usado, a pasta de bauxita e vapor.

Licor Usado:

O licor é uma solução aquosa de aluminato de sódio e soda cáustica, que está em contínua

circulação através da refinaria, tendo alternadamente alto teor de aluminato de sódio (após a Digestão) e baixo teor de aluminato de sódio (após a Precipitação). Soda cáustica é adicionada constantemente para compensar as perdas no processo.

O licor usado para digestão é estocado em tanques e deve ter uma concentração cáustica definida. O licor é bombeado para os aquecedores tubulares, passando por estágios de aquecimento por vapor vivo (live steam heater, LSH). O licor é sucessivamente aquecido até uma temperatura desejada. Saindo do último aquecedor, o licor vai para o misturador estático (ME), onde será adicionada a pasta de bauxita.

Pasta de Bauxita:

Dos tanques de estocagem de pasta de bauxita, a pasta entre 90 e 95°C é bombeada para o topo do aquecedor de contato (TE). Pela parte central, na lateral do TE, é conduzido vapor vindo dos flashes, aquecendo a pasta até 120-125°C. É importante lembrar que este aquecimento por contato também é diluição pela condensação do vapor.

Calor:

O licor usado e a pasta são bombeados para o misturador, que recebe ainda vapor vivo superaquecido, de modo que a mistura deve atingir 155°C. Logicamente, este vapor irá se condensar, o que representa água adicionada ao processo, ou seja, mais um ponto de diluição.

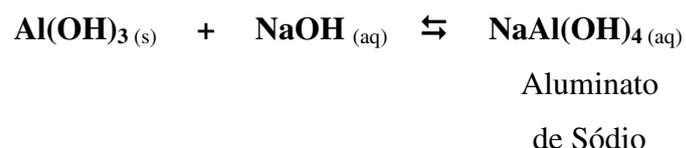
O vapor empregado no misturador tem um duplo preço: o da sua geração e o que se paga para remover a água de diluição que ele introduz no processo. Fica claro que para minimizar o uso de vapor vivo no misturador, é de grande importância que se mantenha os trocadores de calor da operando com máxima eficiência.

A mistura de licor usado e pasta iniciam a reação no misturador (ME). Saindo do misturador, a pasta passa por um banco de digestores, onde a digestão é completada. Isto é suficiente para que se consiga solubilizar toda a alumina da bauxita (reação bastante rápida) e que se tenha acabado o processo de dessilicação (que exige mais tempo).

As principais reações químicas da Digestão são:

a) Digestão:

Reação endotérmica:



b) Dessilicação: Começa desde a área de Moagem e se conclui na Digestão.



DSP

A reação de dessilicação ainda não é perfeitamente compreendida. Porém, estudos conduzem para a fórmula acima descrita, em que o 'X' irá depender dos constituintes do licor, tais como  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$  além de  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ .

### 5.3.4 Clarificação

Área a qual faz o tratamento de resíduos contidos na pasta digerida e manda para a Precipitação o licor verde, rico em alumina solubilizada, com o menor teor possível de resíduos.

Dentro da pasta que sai dos digestores existe uma mistura de alumina solubilizada na forma de aluminato de sódio ( $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ ) e outros compostos, que para o processo são considerados impurezas (materiais insolúveis, óxido de ferro e sílica).

Essas impurezas vão causar problemas para a recuperação da alumina na precipitação pelos seguintes motivos:

- a) Reduzem a produção pois aumentam a estabilidade do licor com a temperatura;
- b) Aumenta a produção de finos, pois reduzem a aglomeração devido à desativação das superfícies da semente, que são contaminadas pela adsorção das impurezas;
- c) Reduzem a eficiência da classificação pelo aumento da densidade e da viscosidade do licor, reduzindo assim, as condições do hidrato sedimentar.

As etapas do processo de Clarificação são:

- Decantação;
- Lavagem de Lama
- Filtração.

Após deixar a digestão, a pasta entra de forma contínua nos espessadores. Eles equipamentos têm como objetivos:

- Separar o máximo de finos do licor verde, para minimizar a carga para os filtros;
- Concentrar os finos em somente uma porção de alimentação total de licor para minimizar a carga líquida dos lavadores.

Assim, no espessador, acontece o processo de decantação do resíduo de bauxita. Eles possuem em seu interior um raspador que gira lentamente, carreando o decantado para o seu centro. No overflow (sobrenadante) desses tanques de decantação é onde se encontra a alumina solubilizada na forma de aluminato de sódio. O overflow é transbordado continuamente, recolhido em tanques dedicados e depois bombeado para o prédio de filtração.

A lama extraída pelo fundo do espessador (underflow) é enviada para a série de lavadores. Os lavadores têm como objetivo:

- Recuperar o máximo possível de aluminato de sódio e soda cáustica da lama, antes de enviá-la para o lago de resíduos;
- Controlar o volume da Refinaria através do controle da diluição, ou seja, quantidade de água do lago adicionada.

Nesses lavadores, é adicionada água proveniente do lago de resíduos. Essa água contém ainda um teor de soda e alumina que deverão ser recuperadas na maior taxa possível. Assim, água e lama fluem através dos tanques em sentido contrário, aumentando a eficiência de lavagem. A água do lago entra no último lavador ao passo que a lama entra no primeiro, percorrendo o circuito em contracorrente. O fluxo de água aumenta sua concentração de soda à medida que vai lavando a lama impregnada de licor. A lama que sai no underflow do último lavador da série é mandada para o lago de resíduos, onde vai decantar e o sobrenadante é bombeado de volta para os lavadores como água de lavagem.

#### Adição de Flocculantes

A separação da lama do licor verde que vai para os filtros é feita por intermédio da decantação desses resíduos nos espessadores. Como esse processo poderia ser lento demais para se manter o fluxo de volume adequado na planta, é lançado mão da introdução de flocculantes sintéticos nos tanques para acelerar esse processo.

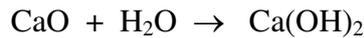
O flocculante tem a função de acelerar o processo de decantação de lama pela floculação das partículas finas em suspensão na massa líquida.

#### Adição de Cal

Tem como principais objetivos:

- Uso do auxiliar de filtração nos filtros (filter-aid). Este auxiliar funciona não como pré-capa dos panos de filtro e sim como um meio de aumentar a porosidade da torta.
- Controle do nível de fosfatos (carga orgânica expressa em  $P_2O_5$ ), no circuito do licor.
- Recuperação de soda da forma de carbonato para sua forma ativa de hidróxido de sódio (processo de causticização).
- Manter a estabilidade da solução de aluminato de sódio.

Nos tanques hidratadores de cal processa-se a transformação da cal (CaO) virgem em cal hidratada,  $Ca(OH)_2$ , através da adição de água. A reação é dada abaixo:

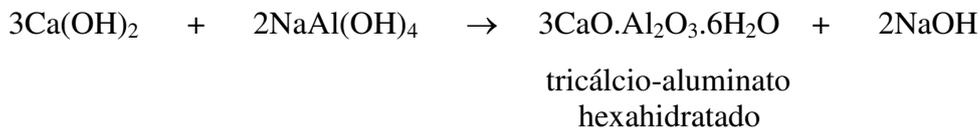


A reação de remoção dos fosfatos é realizada pela adição da cal hidratada no último digestor.



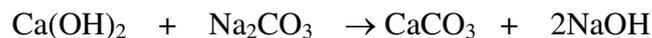
A causticização nada mais é do que ‘trocar’ o sódio pelo cálcio. Durante o processo de digestão, os compostos orgânicos são oxidados a  $\text{CO}_2$  que, em contato com  $\text{NaOH}$ , produz  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Além disso, há remoção dos íons fosfatos propriamente ditos do processo (os quais oxidam até  $\text{PO}_4^-$ ), expressos como  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

No que concerne ao filter aid, tricálcio-aluminato hexahidratado, tem-se a seguinte reação:



Na Causticização é feita a conversão dos carbonatos, indesejáveis ao processo, e recuperação de soda vinda na água de lavagem para o processo. Nem sempre a causticização ocorre, ficando na dependência de análises de laboratório para identificação da presença de carbonatos no licor.

A reação de causticização é dada pela seguinte equação química:



### 5.3.5 Troca térmica

A Área 40 tem como objetivo resfriar o licor verde que vai da Clarificação para a Precipitação. O licor verde se resfria ao ceder energia ao licor usado, que está voltando para a Digestão.

As etapas do processo são:

- Flasheamento;
- Troca Térmica;
- Formação e retirada de condensado;
- Retirada de gases não condensáveis;
- Condensador barométrico (vácuo).

O licor verde ou green liquor sai dos filtros com uma temperatura muito mais alta (acima de

100°C) do que a necessária para que a precipitação ocorra de forma eficiente. Por outro lado, o licor usado ou spent liquor que sai da Precipitação com temperatura baixa (62°C) para ser adicionado na mistura com bauxita na Digestão precisa ser aquecido.

A passagem em contra-fluxo do licor verde (pelos vasos de flash) e do licor usado (pelos tubos do aquecedor) permite que o primeiro seja resfriado enquanto o segundo se aquece. Vapor é extraído do licor verde nos vasos de flash, sendo então condensado no casco dos trocadores de calor e bombeado para o tanques de condensado.

O licor usado é bombeado para um condensador barométrico. Neste condensador, que opera sob vácuo, o licor é resfriado. Para condensar o vapor liberado pelo licor usado, são bombeados cerca de 1200 m<sup>3</sup>/h de água da lagoa de resfriamento ou Cooling Pool (CP), a 31°C.

Saindo do condensador barométrico, o licor usado passa pelos tubos de uma série de aquecedores, onde é sucessivamente aquecido pelo vapor regenerado que vem dos flashes, onde está passando o licor verde, o qual circula pelo casco. Saindo do último aquecedor o licor usado vai para o tanque de alimentação dos evaporadores.

O licor verde, que é bombeado dos tanques de filtrado para a área da troca térmica, passa por uma série de 5 vasos de flash que operam sob pressão absoluta decrescente. Saindo do último vaso de flash o licor verde é bombeado para os tanques de estocagem de licor verde de onde será bombeado para os precipitadores.

Cada vaso de flash está ligado à carcaça de um aquecedor tubular, cujos tubos recebem o licor usado. Quanto ao licor verde, como citado anteriormente, libera vapor à medida que passa por cada vaso de flash, vapor este que é conduzido pelo casco dos aquecedores.

A carcaça de cada aquecedor está ligada a uma tubulação comum, que por sua vez está ligada ao condensador barométrico (CB). Essa linha elimina os gases não condensáveis dos aquecedores.

Quanto mais frio estiver o licor usado, maior será sua capacidade de absorver calor liberado pelo licor verde (calor na forma de vapor). Por isso, antes de entrar nos aquecedores, o licor usado passa pelo condensador barométrico. O fluxo de água de resfriamento que passa pelo condensador é somado à água que foi evaporada e em seguida condensada em contato direto com a água de resfriamento. Para evitar entrada de ar e quebra de vácuo do condensador barométrico, a tubulação de descarga de água do condensador fica submersa em um poço.

### **5.3.5 Evaporação**

A Área 42 tem como objetivo remover da corrente de licor a água que é adicionada em outras fases do processo. Esta área baseia-se no fato de que o licor é aquecido nos aquecedores e depois resfriado através dos flashes. Neste flasheamento, evapora-se parte da água do licor.

As etapas do processo são:

- Aquecimento do licor;
- Geração de vapor pelos flashes;
- Formação e retirada de condensado;
- Retirada de gases não condensáveis.

Em várias fases do processo é adicionada água na corrente de licor. Esse processo necessário de adição de água estritamente controlado é conhecido por “diluição”.

Ocorre diluição do licor em duas circunstâncias:

Na adição de água para lavagem da lama nos lavadores, na água para hidratação da cal, na água dos sprays de lavagem dos desnevoadores dos evaporadores, etc. Mas essa água é facilmente controlada.

Há outra diluição, sem controle efetivo, mas também necessária: trata-se da água de mangueira com que se lava o piso dos prédios, canaletas, caixas de peneira, etc., e da água de selagem das gaixetas de bomba. Apesar de tudo, a única água de diluição sobre a qual não se tem controle nenhum é a de chuva.

Toda essa água deve ser removida do processo, o que é feito em parte pela evaporação nos vasos de flash da digestão e na troca térmica, sendo porém os evaporadores responsáveis pelo controle da evaporação. Deve-se evitar o máximo a diluição desnecessária, visto que a remoção dessa água é um processo caro, devido ao consumo de vapor e energia elétrica.

### **5.3.6 Precipitação**

A Área 45 tem como principal objetivo precipitar a alumina solubilizada, através do resfriamento do licor verde (Green liquor ou GLQ), com o maior rendimento possível (Yield) e de tal forma que a qualidade do hidrato formado atenda aos requisitos do cliente.

É principalmente na Precipitação que se garante a qualidade da alumina através de:

- Controle da resistência e tamanho do cristal;
- Granulometria: número de novas partículas formadas (nucleação ou quebra) deve ser igual ao número de partículas removidas do sistema (aglomeração, produto e dissolução).
- Resistência: A morfologia do cristal produzido deve ser tal que se garanta a resistência após a calcinação.
- Controle de sódio ocluído, principal componente do sódio total na alumina;
- Controle de eventuais contaminações que possam ocorrer gerando elevação do teor de impurezas metálicas na alumina (ferro, sílica e cálcio).

O processo tem duas etapas: Precipitação propriamente dita, e Classificação. A precipitação

possui linhas de tanques (precipitadores) em série em. Eles são agitados mecanicamente, e as duas linhas operam simultaneamente. O licor verde, após passar pela, segue para o tanque de licor verde. De lá, a solução vai para os precipitadores, fluindo de um precipitador para outro por transbordamento. No decorrer desse percurso, os cristais são precipitados e crescem em função da queda de temperatura, adição de semente e do tempo de retenção.

Os precipitadores, com overflow (transbordo) contínuo em série, são arranjados em zigue-zague, em cada linha. Esta distribuição foi projetada para promover menor distância de fluxo no caso de um precipitador ser retirado de operação. O Resfriamento do licor é promovido para aumentar o rendimento (yield) da precipitação e assim maximizar a produção de hidrato.

Nos últimos precipitadores da bancada há duas saídas, uma superior (overflow) e uma inferior (underflow). O overflow é direcionado para o tanque de semente grossa. De lá a semente grossa é bombeada pelo fundo para os filtros de semente. As saídas inferiores são bombeadas individualmente para os ciclones, onde são separados por tamanho de partícula. Os ciclones servem como classificadores primários. O fundo dos ciclones ou “underflow” possuem granulometria e concentração mais elevada recebendo o nome de produto o qual é bombeado para a Calcinação. Já o “overflow” dos ciclones, com baixa granulometria e concentração de sólidos, recebe o nome de semente e é destinado para os classificadores secundários, de onde sai a semente secundária. Nos classificadores secundários é feito o segundo estágio de classificação do hidrato onde obtem-se mais uma fração da semente grossa

O licor usado, que sai no overflow dos espessadores, já pobre em alumina faz o percurso de volta. Passa por um processo de aquecimento e concentração nas áreas da evaporação e da troca térmica até ser novamente introduzido na Digestão. O underflow dos espessadores segue para os tanques de transferência, e de lá, para a linha de sementes.

### **5.3.7 Calcinação**

A Área 50 da Refinaria da Alumar, etapa final do processo de obtenção da alumina, tem como objetivo:

Receber, filtrar, secar e calcinar o hidrato proveniente da Precipitação, de forma a obter a alumina calcinada, sempre assegurando a qualidade requerida pelos clientes. Uma vez calcinada, a alumina SGA esta pronta.

A Calcinação é o processo no qual o calor é usado para expelir materiais voláteis. No processo Bayer, esse processo consiste em secar a pasta úmida de alumina trihidratada para eliminar a água livre, e posteriormente, eliminar as três moléculas de água combinadas quimicamente que compõem a estrutura cristalina da alumina trihidratada. O aquecimento dos cristais é feito de forma a garantir o grau de calcinação desejado. O processo é altamente endotérmico, requerendo cerca de 1,69 MJ de

energia por kg de alumina (17% para evaporar a umidade do hidrato e 63% para calcinar a alumina).

Dentro do calcinador, o material é descarregado de encontro a um fluxo de ar de grande volume. O contato ocorre acima das chamas dos maçaricos, onde este ar de combustão atinge uma temperatura que varia de 950 a 1000°C . A calcinação instantânea ocorre neste contato, e imediatamente o material é levado para o vaso de retenção. O tempo de residência no forno é curto (cerca de 3 segundos) e o fluxo de alumina e gases passam por um ciclone, na parte superior do vaso de retenção, onde a alumina é separada, indo cair no leito fluidizado do vaso de retenção (HV). Neste vaso há uma combustão suplementar e pode-se afirmar que é neste estágio onde realmente a alumina deixa de ser hidratada para se tornar calcinada.

As etapas seguintes serão responsáveis pelo resfriamento da alumina calcinada afim de que a mesma possa ser transferida através de correias transportadoras.

## **6. Amostras (preparação)**

### **6.1 Fonte**

Duas amostras de bauxita foram fornecidas pelas respectivas minas:

- Bauxita da MRN (25 kg). Amostra típica da Bauxita da Mineração Rio do Norte.
- Bauxita de Juruti (37 kg) - Trincheira 1 e 2. Amostras homogêneas e similares.

### **6.2 Preparação**

As amostras foram tratadas em laboratório passando pelas seguintes etapas:

- Secagem – amostra seca em estufa a 110oC
- Homogeneização – Material homogeneizado utilizando a técnica de tombamento.
- Quarteamento
- Moagem/Pulverização – Utilizado moinhos de mandíbula para a primeira etapa de redução de tamanho. Para a Pulverização a amostra foi utilizado moinhos vibratórios com painéis de carbeto de tungstênio.

## **7. Análises**

### **7.1 Composição Química**

A Amostra de JURUTI, pulverizada (ate -325mesh) foi enviada para o TDG Technology Delivery Group of Alcoa World Alumina) para análise química realizada por XRF, ICP-MS e ICP-OES. As análises foram realizadas em duplicata. Média dos resultados de Juruti são comparados contra MRN. Tabela 3 e gráficos 4, 5 e 6.

Sample ID	Ag	As	Ba	Be	Bi	Cd	Ce	Co	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Gd	Ge
unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm
MRN Bxt	0	6.4	3	0	0.6	0	7.7	2.9	0	3.5	0.7	0.6	0.1	8.8	0.4	0
Juruti Bxt	0	7.5	4	0	0.4	0	8.0	3.0	0.1	0.0	0.7	0.6	0.1	9.9	0.4	0
	Hf	Ho	In	K	La	Li	Lu	Mn	Mo	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Re	Sb
unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MRN Bxt	14.3	0.16	0.13	0	5.0	0.0	0.15	16.3	1.5	1.9	7.4	7.6	0.6	0.0	0.0	0.7
Juruti Bxt	5.4	0.16	0.11	0	5.5	0	0.12	9	2	1.7	1.5	12.5	0.61	0.2	0	1.1
	Sc	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Ti	Tl	Tm	U	W	Y	Yb
unit	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MRN Bxt	7.2	0.0	2.5	0.4	6.5	2.3	4.0	0.1	0.2	0.85	0.0	0.1	2.5	3.9	8.0	0.9
Juruti Bxt	7	0	1.9	0.3	5.0	2.8	3.9	0.1	0.2	0.80	0	0.1	2.1	3.5	3.8	0.83
	Zn	Al	B	Cr	P	Ga	Nb	S	V	Zr	Th	TH_FUS	Ca	Mg	Na	U(Fus)
unit	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MRN Bxt	8.7	28.3	24.0	100	92	62.9	45.9	223	212	534	32.1	33.0	257.0	125.0	540.0	3.6
Juruti Bxt	6.5	28.9	40.0	125	100	58.6	39	230	263	192	29	30	100	250	200	4

Tabela 03 – Composição química JURUTI X MRN

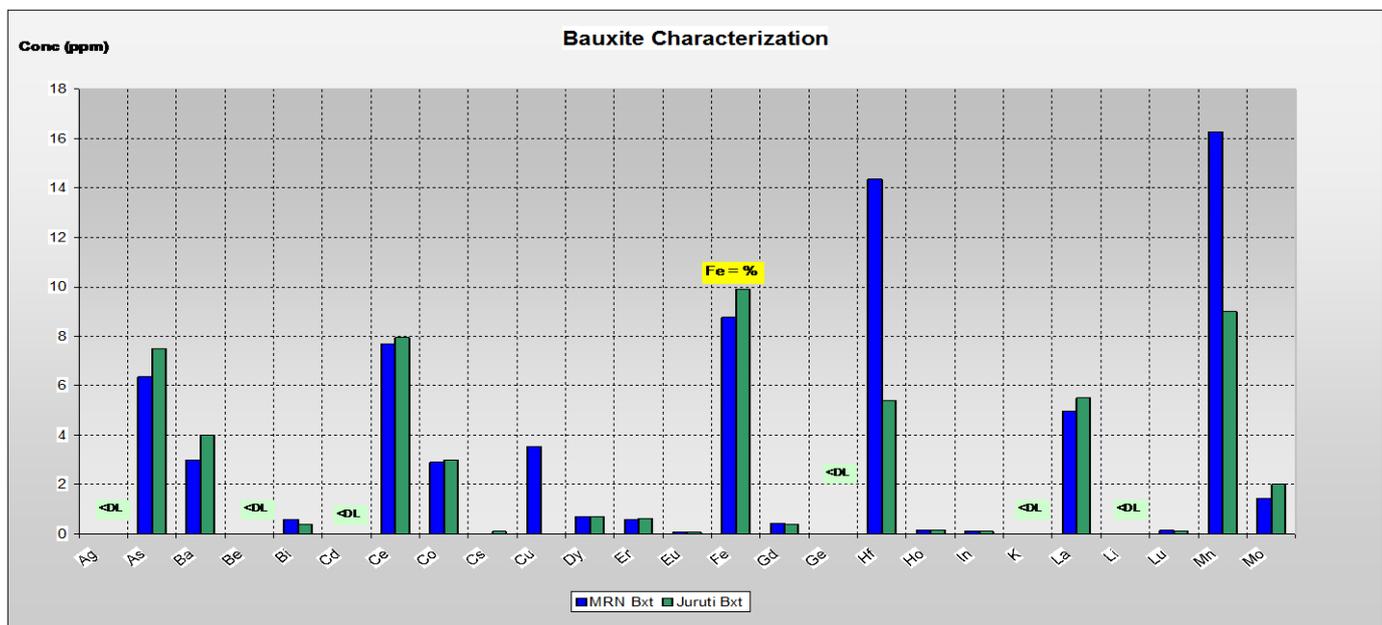


Gráfico 04 – Composição Química JURUTI X MRN

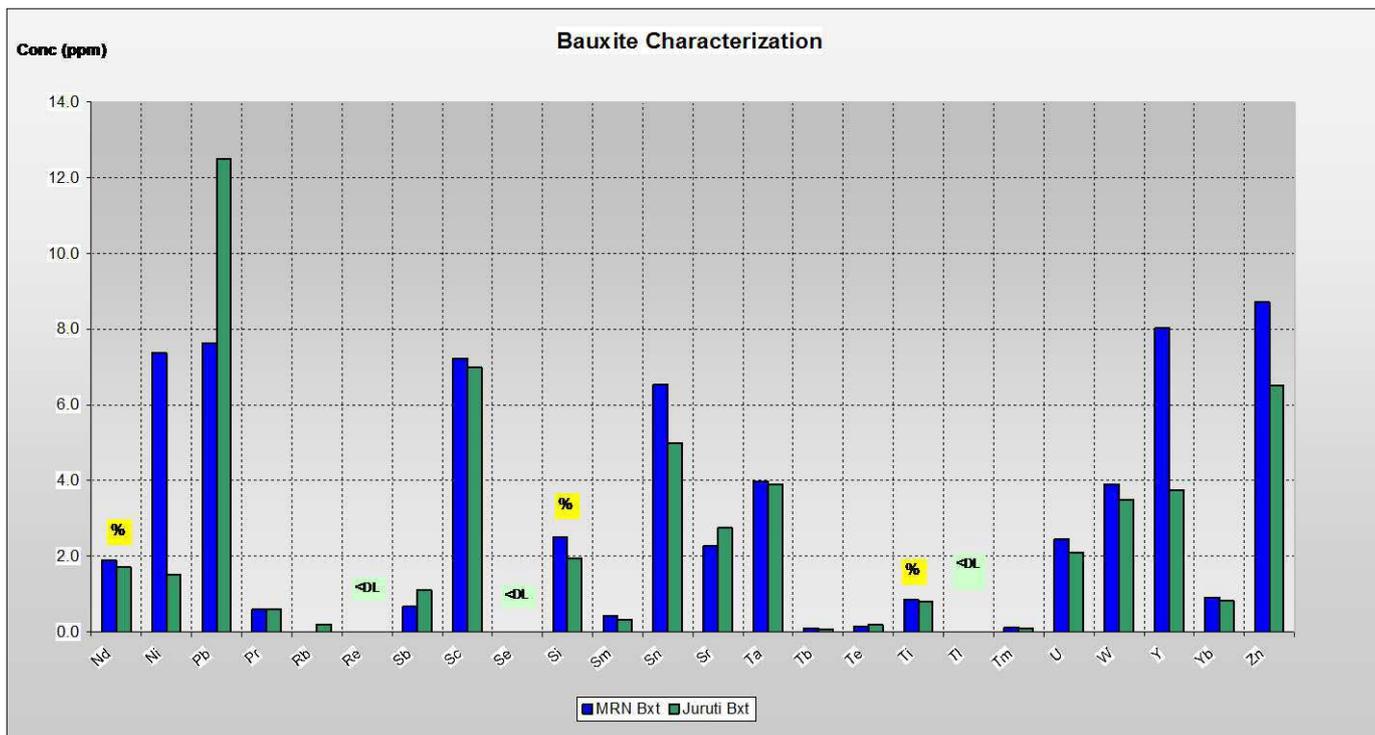


Gráfico 05 – Composição Química JURUTI X MRN

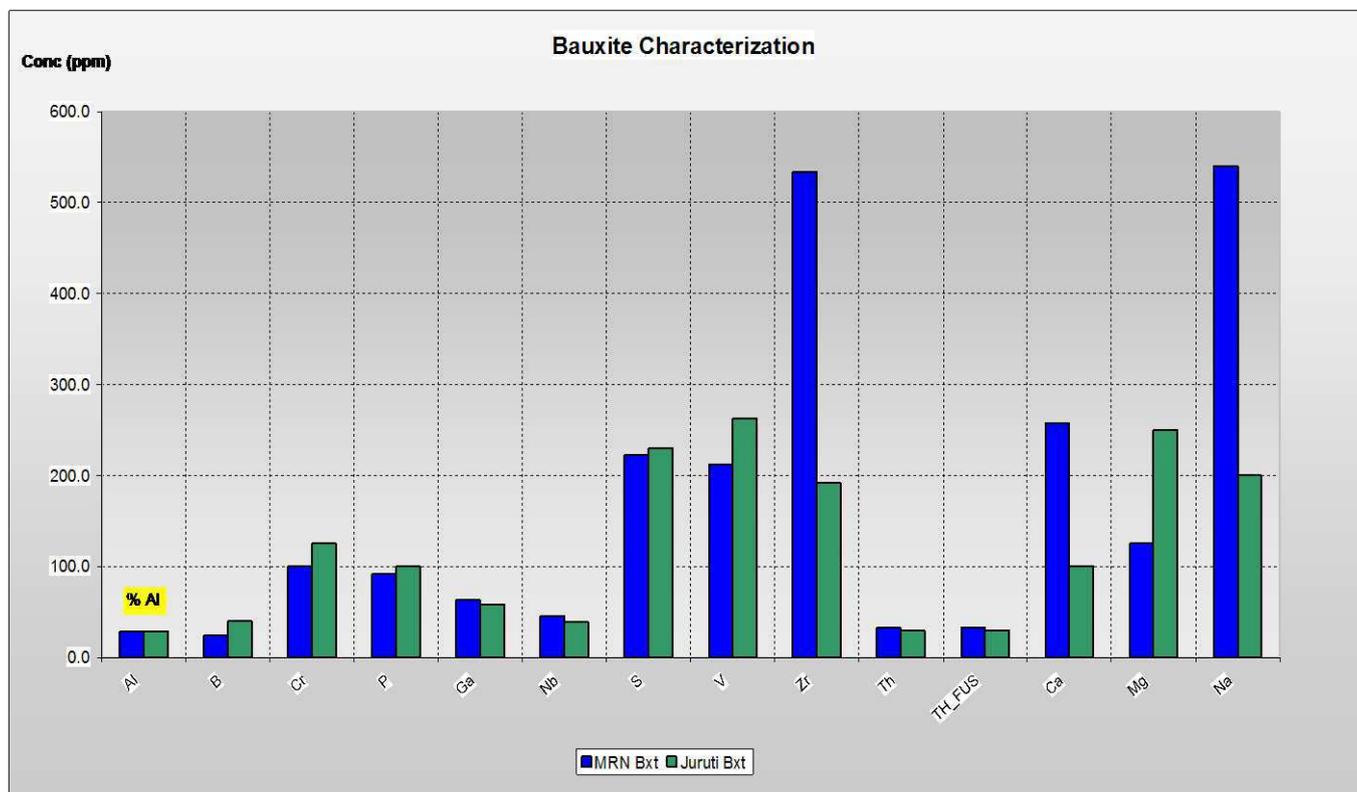


Gráfico 06 – Composição Química JURUTI X MRN

A maioria dos elementos em Bauxite JURUTI mostrou valores no mesmo nível ou mais baixos

em comparação com MRN. A tabela 4 mostra os elementos com as maiores diferenças onde Juruti foi maior que a MRN.

Element with high level in JURUTI against MRN (ppm)					
Element	Pb	B	Cr	V	Mg
Juruti Bxt	12.5	40.0	125.0	263.0	250.0
MRN Bxt	7.6	24.0	100.0	211.9	125.0
Juruti - MRN	4.9	16.0	25.0	51.1	125.0

Tabela 04 – Elementos com concentração mais elevada JURUTI x MRN

Os elementos considerados perigosos com relação a segurança das pessoas e meio ambiente não apresentaram níveis significantes de diferença, os resultados estão na tabela 5.

Element hazardous to EHS					
Element	Be	Th	TH_FUS	U(Fus)	Hg
unit	ppm	ppm	ppm	ppm	(ug/Kg)
Juruti Bxt	0.0	32.1	33.0	3.6	225.9
MRN Bxt	0.0	29.2	30.0	4.3	263.1

Tabela 05 – Elementos Perigosos (SSMA)

## 7.2 Composição química x Faixa Granulométrica.

Após homogeneização, as amostras foram divididas utilizando um divisor Jones em duas amostras representativas. O teste granulométrico foi realizado utilizando um sistema de Ro-Tap e um conjunto de peneiras por 30 minutos.

Granulometric Distribution Acumulated						
Sieves	+ 1 1/4	+3/4	+14#	+150#	+ 400#	-400#
MRN	18.3%	29.2%	63.8%	90.1%	99.8%	100.0%
JURUTI	11.1%	38.8%	67.1%	87.9%	99.6%	100.0%

Tabela 06 – Distribuição Granulométrica

Granulometric Distribution							
Sieves	+ 1 1/4	-1 1/4 +3/4	-3/4 +14#	-14# +150#	- 150# +400#	-400#	
MRN	18.3%	10.9%	34.6%	26.3%	9.7%	0.2%	
JURUTI	11.1%	27.7%	28.4%	20.7%	11.7%	0.4%	

Tabela 07 – Percentual retido por faixa

Após a determinação granulométrica foram coletadas separadamente a parte retida em cada

peneira. Estas porções foram pulverizadas e submetidas às seguintes análises:

Alumina disponível: digestão de 1,1 gramas com 10 ml de NaOH (102g / L), utilizando uma bomba de Paar durante 1 hora e 143 ° C com homogeneização. Filtração de 25ml de amostra, e adição de HCl 50% até a estabilização. A adição de 15mL de CDTA 0,07 M, 12 mL de hexametileno tetramina e 15mL de laranja de xilenol. Titulação com Zn 0.025 mol/L.

Sílica reativa: digestão das amostras de acordo com último item. A adição de 15mL de HCl 50% (v/v) e análise através de ICP-OES.

Alumina total, sílica, ferro e titânio: Estes metais foram quantificados por XRF utilizando pérolas de vidro. Análises realizadas em duplicata.

Chemical composition per size(%)								
Parameter	Sample	+ 1 1/4	-1 1/4+3/4	-3/4+14#	-14# +150#	- 150# +400#	-400#	Total Calculated
T-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	JURUTI	53.8	54.6	52.9	52.3	54.1	44.3	53.4
	MRN	56.1	55.0	54.5	53.0	49.4	44.7	53.9
Av-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	JURUTI	51.5	53.4	51.1	50.1	52.6	39.1	51.7
	MRN	55.1	53.4	51.1	48.9	44.8	37.0	50.9
SiO <sub>2</sub>	JURUTI	3.1	1.9	2.8	3.9	2.5	5.4	2.8
	MRN	2.3	3.6	4.4	5.6	6.1	8.5	4.4
Re SiO <sub>2</sub>	JURUTI	2.8	1.9	2.6	2.7	2.2	4.4	2.4
	MRN	2.2	3.5	4.0	4.3	5.3	6.8	3.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	JURUTI	11.0	11.6	14.2	14.3	11.9	26.8	12.9
	MRN	7.0	5.7	8.4	10.5	15.3	22.8	9.1
TiO <sub>2</sub>	JURUTI	1.5	1.4	1.4	1.3	1.0	2.3	1.3
	MRN	1.1	1.3	1.1	1.2	1.6	2.3	1.2

Tabela 08 – Composição Química por faixa Granulométrica

A diferença significativa no total de sílica reativa e ferro na amostra JURUTI são pontos marcantes e de interesse. O valor mais baixo de sílica reativa tem impacto direto na redução do consumo de soda cáustica como já mencionado anteriormente. Os teores mais altos de ferro podem influenciar na maior precipitação de ferro junto ao resíduo na etapa de clarificação diminuindo assim a concentração desse contaminante na alumina.

### 7.3 Estabilização do Licor (ratio)

As amostras foram digeridas em um reator PARR modelo 4862. Licor gasto foi utilizado para este processo. As condições iniciais são descritas na Tabela 9, 10 e 11.

Digestion Parameters	
Digestion Time	1 hour
Digestion Temp (oC)	143oC
Digestion Pressure	43 psi

Tabela 09 – Parâmetros de digestão

Bauxite Parameters		
Parametrs	MRN	JURUTI
Granulometric	Pulverized (-325mesh)	Pulverized (-325mesh)
Al2O3 -Available (%)	50.9	51.7

Tabela 10 – Parâmetros da Bauxita

Liquor Parameters - Initial conditions					
Samples	For digest	Al2O3	TC	TA	Ratio
1	MRN	148.6	326.5	349.3	0.455
2	MRN	142.0	322.8	347.3	0.440
3	MRN	134.2	315.8	337.6	0.425
4	JURUTI	143.3	332.5	356.8	0.431
5	JURUTI	140.3	325.1	348.6	0.432
6	JURUTI	134.5	313.4	332.9	0.429

Tabela 11 – Parâmetros Iniciais do Licor

A pasta foi preparada com 3 litros de licor gasto e 750g de bauxita. Após a digestão sob pressão de 24psi a remoção da pasta foi iniciada tentando simular um processo de flash (pressão de repouso; expansão de volume e concentração por evaporação). A Figura 06 mostra o sistema utilizado.



Figura 06 – Sistema de Digestão

Amostras foram imediatamente coletadas após a conclusão da transferência, simulação do Bow Off, o ratio foi determinado via titulação.

Blow Off - Ratio Results			
Sample	Replicate	Sample	RATIO
MRN	1	B. Off	0.742
MRN	2	B. Off	0.772
MRN	3	B. Off	0.710
JURUTI	1	B. Off	0.792
JURUTI	2	B. Off	0.755
JURUTI	3	B. Off	0.718
<b>MRN</b>	<b>Average</b>	<b>B. Off</b>	<b>0.741</b>
<b>JURUTI</b>	<b>Average</b>	<b>B. Off</b>	<b>0.758</b>

Tabela 12 – Ratio blow off

O restante da pasta foi transferida para proveta e colocada em banho de água a 90°C. Floculante (Nalco 9779, Conc. 0, 8%) foi adicionado em diferentes volumes (1, 2 e 3mL) para verificação do desempenho de decantação e clarificação. Estes experimentos serão descritos com mais detalhes em um tópico específico.

Para uma estabilidade ratio, as amostras foram coletadas a 0, 1, 2 e 3 horas e analisadas. Os resultados são apresentados na tabela 13 e gráfico 07 e 08.

Ratio Decline in Liquor							
Sample	Replicate	Time	RATIO	Sample	Replicate	Time	Resultado
MRN	1	Test Tank (30A)	0.455	JURUTI	1	Test Tank (30A)	0.431
MRN	1	Blow Off	0.742	JURUTI	1	Blow Off	0.792
MRN	1	1st hour	0.631	JURUTI	1	1st hour	0.729
MRN	1	2nd hour	0.631	JURUTI	1	2nd hour	0.718
MRN	1	3rd hour	0.624	JURUTI	1	3rd hour	0.710
MRN	2	Test Tank (30A)	0.440	JURUTI	2	Test Tank (30A)	0.432
MRN	2	Blow Off	0.772	JURUTI	2	Blow Off	0.755
MRN	2	1st hour	0.670	JURUTI	2	1st hour	0.684
MRN	2	2nd hour	0.661	JURUTI	2	2nd hour	0.673
MRN	2	3rd hour	0.655	JURUTI	2	3rd hour	0.666
MRN	3	Test Tank (30A)	0.425	JURUTI	3	Test Tank (30A)	0.429
MRN	3	Blow Off	0.710	JURUTI	3	Blow Off	0.718
MRN	3	1st hour	0.634	JURUTI	3	1st hour	0.670
MRN	3	2nd hour	0.622	JURUTI	3	2nd hour	0.662
MRN	3	3rd hour	0.615	JURUTI	3	3rd hour	0.651
Ratio Decline in Liquor - Average							
MRN	Average	Test Tank (30A)	0.440	JURUTI	Average	Test Tank (30A)	0.431
MRN		Blow Off	0.741	JURUTI		Blow Off	0.755
MRN		1st hour	0.645	JURUTI		1st hour	0.694
MRN		2nd hour	0.638	JURUTI		2nd hour	0.685
MRN		3rd hour	0.631	JURUTI		3rd hour	0.676

Tabela 13 – Declínio do ratio no Licor

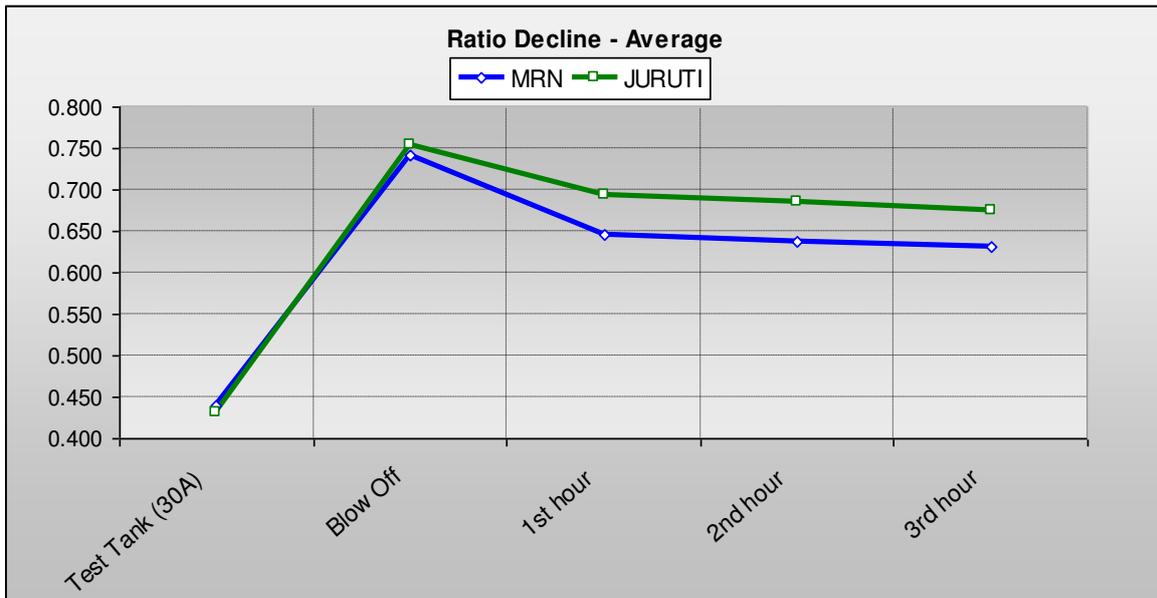


Gráfico 07 – Declínio de Ratio

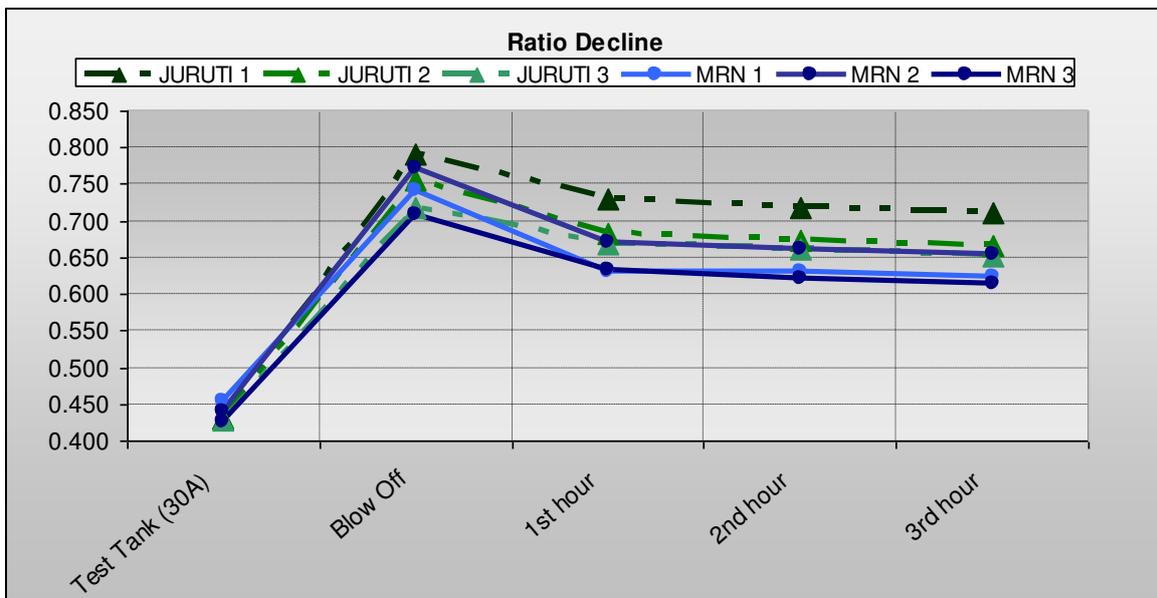


Gráfico 08 – Declínio de Ratio

O decaimento de ratio é semelhante para ambas as amostras de bauxita entre a primeira e a terceira hora do teste.

Ratio Drop Between B. OFF and 1st hour	
Juruti	MRN
10%	15%
Ratio Drop Between 1st hour and 3rd hour	
Juruti	MRN
3%	2%

Tabela 14 – Decaimento de Ratio

## 7.4 Clarificação

A eficiência de clarificação do licor foi avaliada em dois níveis de concentração de sólidos: 100 e 250 g / L. O primeiro nível, 100, é o valor desejado de sólidos em uma operação estável enquanto que o segundo representa uma condição limite de operação.

As medições foram realizadas após 40 minutos, utilizando um turbidímetro.

### 7.4.1 Para 250 g / L

Para este teste, as amostras preparadas para o teste de estabilidade do ratio foram utilizadas. Floculant (Nalco 9779; Conc. 0,8%) foi adicionado em dois volumes (1 e 3 ml). Após 1 hora da adição do floculante as amostras foram coletadas e concentração sólidos suspensos foi determinada.

Solids (g/k) in Liquor		
Floculant (ml)	MRN	Juruti
1	129.00	188.00
1	137.00	161.00
1	113.00	148.00
1	109.00	87.00
3	125.00	108.00
3	129.00	159.00

Tabela 15 – Sólidos suspensos 250g/l

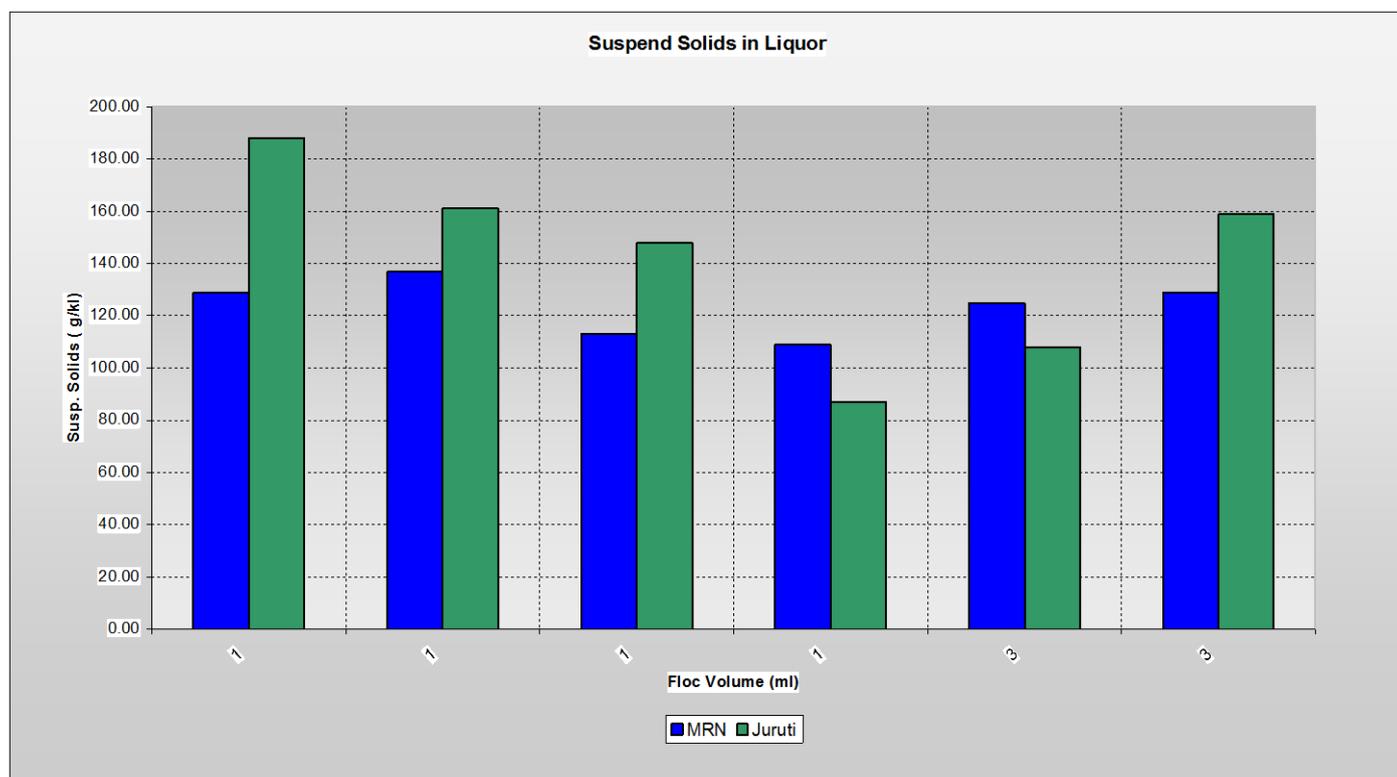


Gráfico 09 – 250g/l Sólidos Suspensos (g/kL)

### 7.4.2 Para 100 g / L

O teste de performance de clarificação com a lama a 100g/l visa simular as condições ideais de operação. Para o preparo dessas amostras a pasta com 250g/l foi diluída com licor de planta (transbordo do primeiro lavador) tal qual acontece normalmente.

Suspend solids in liquor (g/kl)		
Floculant (ml)	MRN	JURUTI
1	249	230
1	170	177
2	55	47
2	121	49

Tabela 16 – Sólidos Suspensos 100g/l

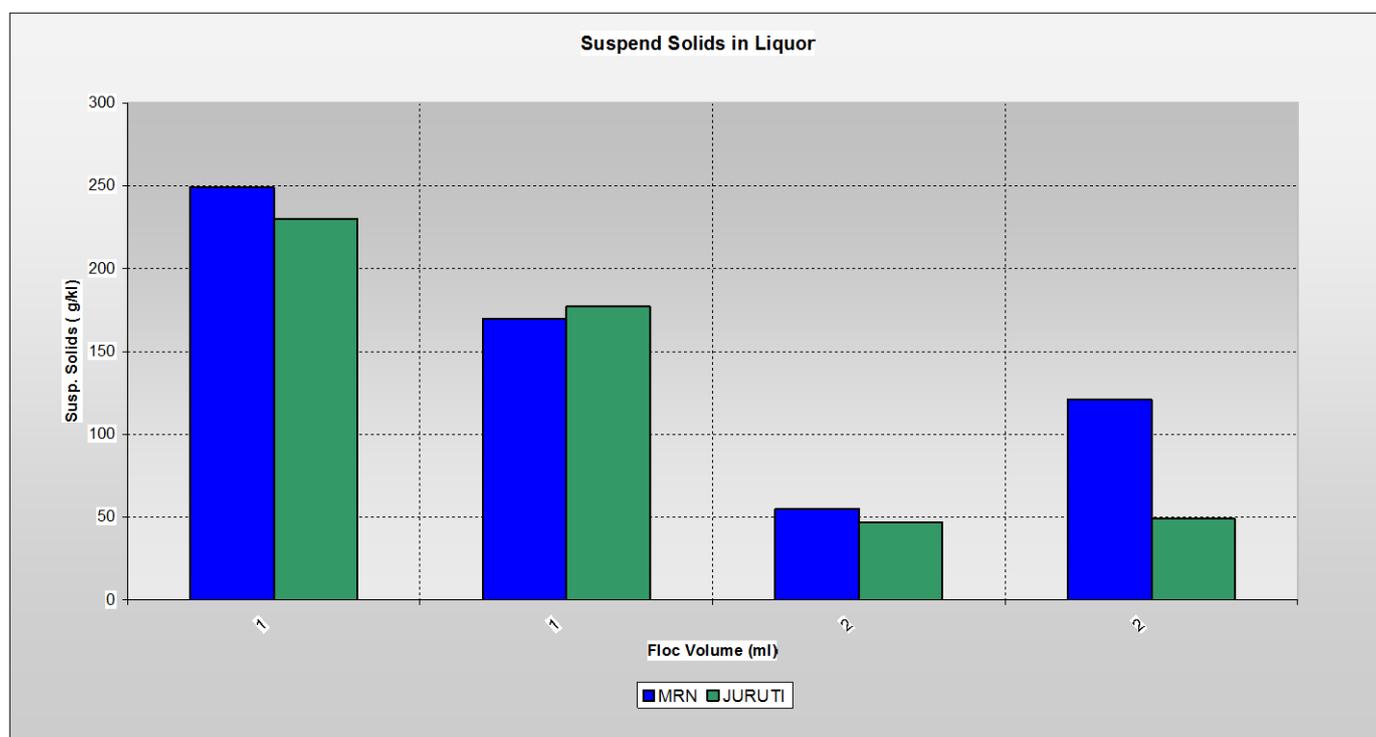


Gráfico 10 – 100g/l Sólidos Suspensos (g/kl)

### 7.5 Dessilicação

A caulinita presente da bauxita normalmente reage com a solução cáustica consumindo soda cáustica e formando o composto conhecido como DSP como já mencionado. O DSP por ser insolúvel em meio caustico precipita ao longo das tubulações, tanques e equipamentos fazendo com que seja necessária a realização de limpezas tanto mecânicas quanto químicas, lavagem acidas tornando

indisponíveis os mesmos por determinados períodos.

Porém a deposição desse material, DSP, em etapas anteriores a precipitação é importante, pois ele remove uma quantidade significativa da sílica que é um dos maiores contaminantes do produto final.

Para avaliação do processo de dessilicação uma amostra de bauxita pulverizada foi misturada a licor de gasto tal qual acontece no processo. A lama foi mantida aquecida a 95°C sob agitação. Um sistema de refluxo foi usado para evitar a evaporação. As amostras foram recolhidas a cada hora, durante 9 horas. Todas as amostras foram filtradas. Sílica foi determinada via ICP.

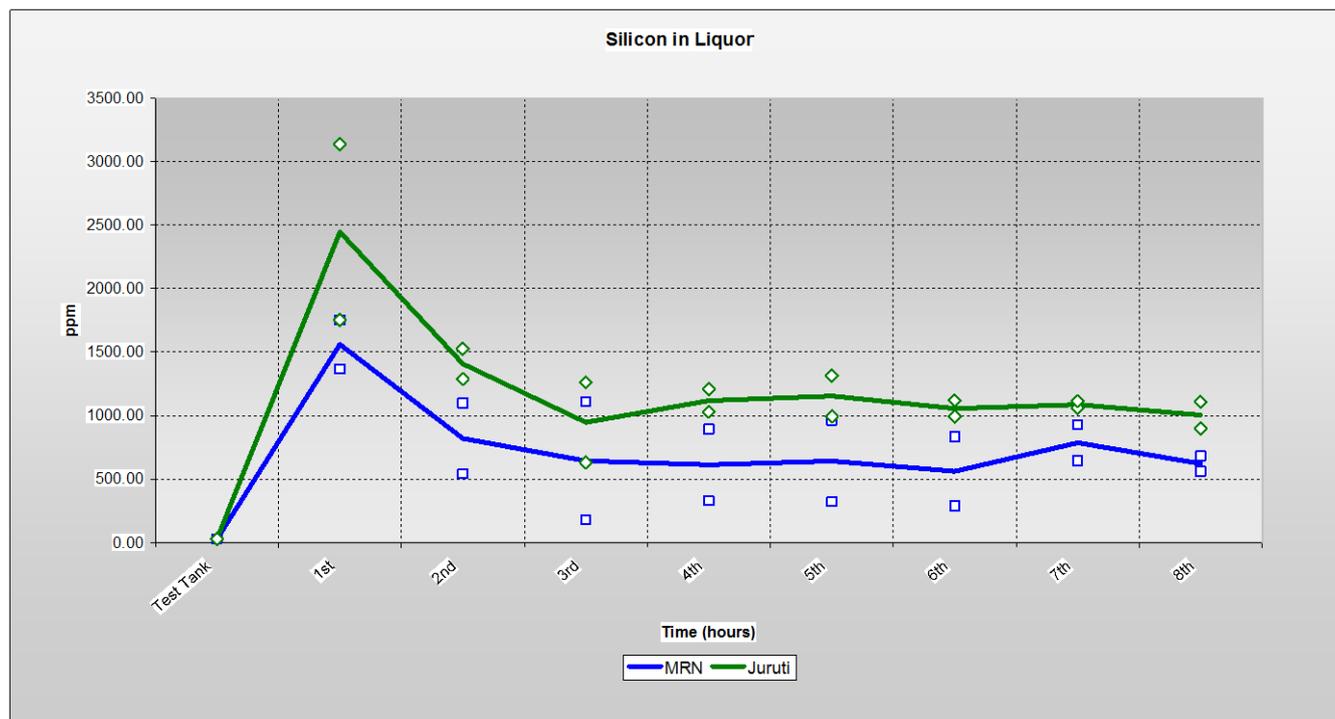


Gráfico 11 – Sílica no Licor x Tempo

Silicon in liquor ( ppm)						
Time	MRN 1	MRN 2	MRN Average	JURURI 1	JURURI 2	JURURI Average
Test Tank	27.5	28.7	28.1	28.7	29.1	28.9
1st	1366.7	1754.0	1560.4	1755.2	3136.0	2445.6
2nd	542.1	1096.7	819.4	1288.5	1526.8	1407.7
3rd	178.5	1108.9	643.7	1261.4	632.7	947.1
4th	329.6	894.5	612.0	1030.6	1205.2	1117.9
5th	322.0	963.4	642.7	994.6	1314.7	1154.6
6th	289.9	833.0	561.4	992.9	1118.8	1055.9
7th	644.3	929.5	786.9	1059.8	1113.9	1086.9
8th	562.2	680.0	621.1	899.6	1107.6	1003.6

Tabela 17 – Sílica no Licor

De acordo com os dados coletados, o processo de solubilização e deposição do DSP acontece durante as primeiras 2 horas para ambas as bauxitas. Sendo assim pode-se dizer que o ritmo da formação do DSP em uma região fora do esperado por conta da utilização da Bauxita de Juruti é pequeno uma vez que o seu comportamento é muito similar ao da bauxita da MRN.

## **8. SITUAÇÃO ATUAL**

A Bauxita de JURUTI começou a ser processada em agosto de 2010 representando hoje cerca de 40% do da massa total de Bauxita processada pela refinaria.

O desempenho atual da refinaria confirma que os resultados observados durante os testes aqui descritos. As diferenças entre os minérios não foram capazes de causar problemas perceptíveis.

Os teores de sílica reativa mais baixos e o os teores de ferro mais elevados na bauxita de juruti vêm se confirmando garantindo os impactos positivos com relação a redução do consumo de soda cáustica e a redução do teor de ferro na Alumina.

O parâmetro % alumina disponível foi o único que não se confirmou estando cerca de 1,5% abaixo do esperado. Mesmo com essa diferença a pior as metas não esta sendo comprometidas.

## 9. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos não é esperado impacto negativo significativo quanto à utilização da Bauxita proveniente da mina de JURUTI no processo da refinaria da ALUMAR.

Na verdade os valores de Sílica Reativa menores que os da Bauxita MRN indicam uma redução no consumo de soda cáustica.

Os valores de oxido de ferro, por serem mais altos, tendem a facilitar a precipitação do  $Fe_2O_3$  junto ao resíduo diminuindo assim a contaminação do produto final.

Essa compatibilidade do Minério de JURUTI com o processo atual da refinaria da ALUMAR viabiliza o início das operações tanto na mina de JURUTI quanto suporta um aumento de produção de ALUMINA no que tanque a qualidade da Bauxita.

## 10. REFERENCIA

HUDSON, L. K., MISRA, C., PERROTA, A. J., WEFERS, K. and WILLIAMS, F. S. **Aluminum Oxide**. Aluminum Company of America. Alcoa paper, 2000.

JONES, F. **The mechanism of Bayer residue flocculation**. Thesis presented as part of the requirements for the award of the Degree of Doctor of Philosophy of the Curtin University of Technology. p.1-191. 1998.

GOIS, C. C., LIMA, R. M. F. e MELO, A. C. - **Sedimentação de resíduo Bayer utilizando floculantes hidroxamatos e poliacrilamida**. Rem: Rev. Esc. Minas [online]. vol.56, n.2, pp. 119-122. 2003.

LI, L. Y., RUTHERFORD, G. K., - **Effect of bauxite properties on the settling of red mud**, Int. J. Miner. Process. 48 (1996) p. 169-182.

A.T. Owen<sub>1</sub> , P.D. Fawell \*, J.D. Swift<sub>1</sub> , J.B. Farrow - **The impact of polyacrylamide flocculant solution age on flocculation performance**. International Journal of Mineral Processing. 9 April 2002

Peter Smith The processing of high silica bauxites — **Review of existing and potential processes**. Hydrometallurgy 98 (2009) 162–176

Kirk-Othmer: **Encyclopedia of Chemical Technology**, 4/e, Volume 2; Copyright (c) 1992 by John Wiley and Sons, Inc.

Janaína A.M. Pereira, Marcio Schwaab, Enrico Dell'Oro, José Carlos Pinto, José L.F. Monteiro, Cristiane A. Henriques - **The kinetics of gibbsite dissolution in NaOH**. Hydrometallurgy 96 (2009) 6–13

ANJOS, F. V. e SILVA, J. B. (1983). **As usinas de produção de alumínio da ALCAN no Brasil – processo Bayer para produção de alumina e os processos eletrolíticos para a produção de alumínio**. ABM, São Paulo.

**ANEXO**

## 1 - Requisição para utilização de informação.

### REQUEST FOR EDITORIAL AND PHOTOGRAPHIC CLEARANCE

This form should accompany the paper/speech/photograph/script throughout the clearance process. Clearance steps should be completed sequentially, not concurrently. If less than two weeks is allowed for clearance, the author risks the material being rejected with no time for re-presentation, and hence having to withdraw from the intended publication/presentation. Further information is available from the Public Relations Manager, who acts as permanent chairperson of the Editorial and Photographic Clearance Committee.

AUTHOR(S) : Luis Eduardo Medeiros Frota

LOCATION : Sao Luis, Brazil DEPARTMENT Alumar Laboratory

TOPIC/TITLE: Comparison between JURUTI and MRN bauxite

PLACE & DATE OF PUBLICATION/PRESENTATION: Thesis Master Degree

FINAL APPROVAL REQUIRED BY (DATE): 29 February 2012

#### [1] TO BE SIGNED BY THE AUTHOR(S)

I/we have completed this paper to final draft stage. We have checked all the material for accuracy, correct spelling and punctuation, and it is now in the form in which we intend to present/publish. No material in this paper has been plagiarised or otherwise infringes copyright, and all experimental results have been obtained using recognised methods. Appropriate peer group review has been completed.

SIGNED: L Frota

DATE: 15 February 2012

#### [2] TO BE SIGNED BY THE AUTHOR'S MANAGER

I have read this paper thoroughly, and have marked on it any necessary changes. I am satisfied that it is the work of the author(s), that it is factually accurate, and that it does not divulge any information of proprietary value to Alcoa or its competitors. I confirm that conference/meeting attendance has been authorised per the company's policy on meeting with competitors. (NOTE: Papers by TDG personnel must be reviewed by Ian Harrison)

SIGNED: I.R. Harrison

DATE: 21 February 2012

SIGNED: L. Stonehouse

DATE: 21 February 2012

#### [3] TO BE SIGNED BY THE CHAIRPERSON OF THE EDITORIAL COMMITTEE

I have read this paper thoroughly, and have marked on it any necessary changes. I am satisfied that it conforms with the policies of the company, and that its presentation in this form will enhance the company's reputation. Where necessary, the paper has been rewritten professionally to achieve the required standard.

SIGNED: B. Doy

DATE: 21 February 2012

[4] PAPER RETURNED TO TDG ADMIN ASSISTANT (Jacquie Greene) FOR RETYPING, WITH CHANGES:

[5] COPY OF FINAL PAPER LODGED WITH TDG LIBRARY, KWINANA

DATE ARCHIVED: \_\_\_\_\_