



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E
INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
NATURAIS DA AMAZÔNIA

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO REJEITO DA
PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE BAUXITA EM JURUTI-
PARÁ

ANDSON PEREIRA FERREIRA

Santarém, Pará
Janeiro de 2016

ANDSON PEREIRA FERREIRA

**CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO REJEITO DA
PLANTA DE BENEFICIAMENTO DE BAUXITA EM JURUTI-
PARÁ**

Orientador: Prof. Dr. Manoel Roberval Santos
Co-orientador: Prof. Dr. Bruno Figueira

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Bioprospecção e manejo de recursos naturais da Amazônia.

Santarém, Pará
Janeiro de 2016

À Valquíria (*in memoriam*) e Maria José

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ser o Mentor da minha vida, das minhas realizações e sonhos e por nunca me desamparar, mesmo sem que eu mereça.

À minha querida avó Maria José que deu continuidade aos sonhos de minha mãe.

À Luane, por ter me ajudado e me compreendido nos momentos em que precisei.

À Eline, por ter me incentivado a participar da seleção do mestrado.

À minha família e amigos que são alicerces para nos motivar a conquistar e realizar sonhos, contribuindo de alguma forma para que este trabalho pudesse ser elaborado.

Ao Professor Roberval por não ter desistido de ser meu orientador e ao professor Bruno que aceitou o desafio de ser meu co-orientador.

À Alcoa, na pessoa do Engenheiro Ever Dias, que propiciou a coleta das amostras.

A todos os meus mais sinceros agradecimentos.

“Por que ninguém nos leva a sério? Só o nosso minério?”
Edmar Rocha

FERREIRA, Andson P. **Caracterização Tecnológica do Rejeito da Planta de Beneficiamento de Bauxita em Juruti- Pará**. 2016. 67 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Bioprospecção e Manejo de Recursos Naturais da Amazônia - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2016.

RESUMO

A necessidade de caracterizar tecnologicamente o rejeito da usina de beneficiamento de Bauxita em Juruti-PA para identificar sua composição química e mineralógica levou à realização deste trabalho tendo em vista que é necessário conhecer o que está sendo gerado e em que quantidade. A preocupação com os rejeitos de mineração de bauxita veio à tona com o rompimento de barragens em Miraflores - Minas Gerais. Esta pesquisa foi feita através da espectrometria de fluorescência de raios-x, da difração de raios-x e da análise térmica. A espectrometria de fluorescência de raios-x apontou a presença de treze elementos químicos: ferro, alumínio, silício, titânio, zircônio, cálcio, vanádio, potássio, cromo, enxofre, cobalto, nióbio e cloro. Percebeu-se que as principais fases mineralógicas do rejeito são representadas por gibbsita, hematita, caulinita e anatásio. Já a análise térmica apontou que as mudanças de fase mais significativas só ocorrem com uma temperatura acima de 300 °C, mostrando certa estabilidade térmica do rejeito. Os resultados demonstram que os componentes dos rejeitos do beneficiamento de bauxita em Juruti apresentam características apreciáveis pela engenharia civil, apontando a possibilidade de seu uso para aumentar a resistência do concreto.

Palavras-Chave: Rejeitos de Mineração, Bauxita, Juruti - PA.

FERREIRA, Andson P. **Caracterização Tecnológica do Rejeito da Planta de Beneficiamento de Bauxita em Juruti- Pará**. 2016. 67 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Bioprospecção e Manejo de Recursos Naturais da Amazônia - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2016.

ABSTRACT

The need for technologically characterize the waste from bauxite processing plant in Juruti-PA to identify with your position-chemical and mineralogical led to this work with a view that is necessary to know what is being generated and how much. Concern about the bauxite mining waste came up with the breaking of dams in Miraflores Gerais. This research was done by fluorescence spectrometry x-rays, the x-ray diffraction and thermal analysis. The x-ray fluorescence spectrometry indicated the presence of thirteen chemical elements: iron, aluminum, silicon, titanium, zirconium, calcium, vanadium, potassium, chromium, sulfur, cobalt, niobium and chlorine. It is noticed that the main mineralogical phases of the waste are represented by gibbsite, hematite, kaolinite and anatase. The thermal analysis showed that the phase changes most significant only occur at a temperature above 300 °C, showing some of the waste heat stability. The results demonstrate that the components of the Juruti bauxite beneficiation rejects exhibit appreciable characteristics of civil engineering, pointing to the possibility of its use to increase the strength of concrete.

Key Words: Mining Tailings, Bauxite, Juruti - PA.

SUMÁRIO

	Pág
1 INTROÇÃO GERAL.....	01
1.1 Generalidades.....	01
1.2 Objetivos.....	02
1.3 Problemática	02
1.4 Hipótese	03
1.5 Justificativa	04
1.6 Revisão Bibliográfica	05
1.6.1 A Bauxita	05
1.6.2 Gênese da Bauxita Amazônica	08
1.6.3 A Importância Econômica da Bauxita	11
1.6.4 A Lavra da Bauxita em Juruti-PA	14
1.6.5 O Beneficiamento da Bauxita em Juruti-PA	23
1.6.6 A Barragem de Rejeito	29
2 MATERIAIS E MÉTODOS	34
2.1 Descrição da Área de Estudo	34
2.2 Seleção e Preparação das Amostras	35
2.3 Técnicas e Equipamentos	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
3.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X	38
3.2 Difratomia de Raios-X	42
3.3 Análise Térmica	48
4 CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS	53

LISTA DE TABELAS

	Pág
Tabela 01 Produção Brasileira de Bauxita por Empresa em 2013	11
Tabela 02 Municípios Brasileiros Produtores de Bauxita em 2015	12
Tabela 03 Produção Brasileira de Alumina Empresa em 2013	13
Tabela 04 Produção Brasileira de Alumínio por Empresa em 2013.	14
Tabela 05 Cronograma de Amostragem	35
Tabela 06 Resultados da EFRX	38

LISTA DE FIGURAS	Pág
Figura 01 Perfil Litológico da Mina de Juruti	15
Figura 02 Esquema da Lavra <i>Strip Mining</i>	16
Figura 03 Tira de Bauxita Lavrada	17
Figura 04 Supressão Vegetal com Motosserras	18
Figura 05 Supressão Vegetal com Trator D6	18
Figura 06 Carregamento do <i>Topsoil</i>	19
Figura 07 Recomposição com <i>Topsoil</i>	19
Figura 08 Decapeamento com TE D11	20
Figura 09 Escarificação com TE D11	21
Figura 10 Carregamento da Bauxita	22
Figura 11 Caminhão com Bauxita	22
Figura 12 Etapas da lavra da Bauxita	23
Figura 13 Fluxograma do Beneficiamento da Bauxita em Juruti	24
Figura 14 Rolos do Britador Primário	24
Figura 15 Pilha de Bauxita Britada	25
Figura 16 <i>Trommel</i>	26
Figura 17 Bateria de Hidrociclones de 10"	27
Figura 18 Trem da Mina Juruti	28
Figura 19 Embarque da Bauxita	28
Figura 20 Fluxograma do Processo da Mina de Juruti	29
Figura 21 Lagoa de Sedimentação	30
Figura 22 Barragem de Rejeito	30
Figura 23 Rio Contaminado com Rejeito de Bauxita	31
Figura 24 Vista Aérea da Planta de Beneficiamento da Alcoa	32
Figura 25 Localização do Município de Juruti	34
Figura 26 Difractogramas com Identificação dos Picos	43
Figura 27 Análise Termal	48

I

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Generalidades

O alumínio é um metal cada vez mais necessário para o ser humano, pois possui inúmeras aplicações e por isso sua demanda se mantém em alta há vários anos. A única fonte economicamente viável de alumínio é a bauxita que tem o óxido de alumínio como seu principal componente. Suas reservas mundiais são 29 bilhões de toneladas, das quais 3,6 bilhões estão no Brasil, o que deixa o país com a terceira maior reserva, atrás de Guiné e Austrália (QUARESMA, 2015).

Em 2013 a produção nacional de bauxita alcançou 33,8 milhões de toneladas, deixando o Brasil como o quarto produtor mundial. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) o Pará é responsável por 86,5% da produção do país, tendo nos municípios de Oriximiná, Paragominas Juruti e Terra Santa suas minas ativas que produzem cerca de 29,24 milhões de toneladas anuais (DNPM, 2016).

De acordo com Quaresma (2015) a recuperação mássica da bauxita é, em média, 70%. Como 30% da bauxita lavrada é descartada durante o processo de beneficiamento, o Brasil gera anualmente cerca de 14,5 milhões de toneladas de rejeito do minério. Esse material é armazenado em grandes bacias de rejeitos, o que gera um elevado custo em transporte, armazenamento e monitoramento, para atender às normas ambientais vigentes. Em Minas Gerais, dois casos de rompimento dessas barragens na cidade de Miraf (em 2006 e 2007) chamaram a atenção para esse rejeito.

O Departamento de Produção, responsável pelo controle de qualidade na mineração de bauxita em Juruti, se preocupa em assegurar os padrões exigidos pelos clientes, que em geral incluem teores de alumina, ferro e sílica, além de umidade. Entretanto, ainda há uma carência no estudo e caracterização do rejeito produzido durante o processo de beneficiamento da bauxita.

Neste trabalho é descrita pela primeira vez a caracterização tecnológica de rejeitos da lavagem da bauxita, coletados na bacia de rejeito da usina de beneficiamento da mina de Juruti (Pará), tendo em vista que até então apenas a lama vermelha tem sido alvo de estudos. Para isso, foram utilizadas as seguintes técnicas analíticas: espectrometria de fluorescência de raios-x (EFRX) e difratometria de raios-x (DRX). Com os resultados obtidos, pretende-se contribuir com informações técnicas para estudos de importância ambiental, assim como reaproveitamento destes materiais em áreas como a construção civil.

1.2 Objetivos

Os objetivos do trabalho foram divididos em objetivos geral e mais três objetivos específicos.

1.2.1 Geral: Caracterizar tecnologicamente o rejeito de bauxita da mina de Juruti-Pa.

1.2.2 Específicos:

- Enumerar os elementos químicos maiores e traços através da fluorescência de raios-X;
- Identificar as principais fases cristalinas por difração de raios-X;
- Complementar a caracterização mineralógica das fases cristalinas e amorfas por transições de fases através de análise térmica.
-

1.3 Problemática

Em se tratando de atividade de extração mineral, as principais fontes de degradação são: a deposição de material estéril e a deposição dos rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento (IBRAM, 1987).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) define estéril como qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário. Rejeito é definido como material descartado proveniente de

plantas de beneficiamento de minério (BRASIL, 2002).

Em relação ao estéril, este não apresenta problemas ambientais na mineração de bauxita, pois a geração desse resíduo se dá apenas quando o minério precisa ser decapeado, mas de maneira geral o estéril de cobertura é depositado na própria cava da qual o minério foi anteriormente lavrado.

O grande problema é a geração de rejeito durante o beneficiamento da bauxita. Estes são descartes de sólidos originados do *overflow* dos hidrociclones com granulometria inferior a 400 mesh que são armazenados em barragem de rejeitos. O efluente é em forma de polpa (mistura de sólido mineral e água), que geralmente contem 5% a 8% de sólidos em peso e pH em torno de 7,0 (COELHO, 2015).

A bacia de rejeito ou qualquer outro sistema de disposição de rejeitos é uma estrutura de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes (BRASIL, 2002). Os rejeitos de mineração de bauxita são dispostos à superfície do terreno, em locais pré-selecionados e onde não exista minério em subsuperfície ou em cavas antigas.

Mesmo que os finos da bauxita sejam de natureza sólida, são oriundos de um processo de lavagem, resultando numa polpa, ou seja, o rejeito de bauxita é inicialmente mais líquido do que sólido.

Assim, a problemática levantada é qual os principais elementos químicos e quais as principais fases mineralógicas do rejeito de bauxita da mina de Juruti.

1.4 Hipótese

Levando-se em consideração que a bauxita é composta basicamente de alumina (Al_2O_3), sílica (SiO_2), óxido de ferro (Fe_2O_3) e óxido de titânio (TiO_2) e que o processo de beneficiamento em Juruti envolve apenas cominuição (britagem), classificação (peneiramento e ciclonação), lavagem (escrubagem) e filtragem (filtro prensa), é razoável esperar que seu rejeito também seja rico nesses mesmos componentes, com menor teor de alumina e maiores teores de sílica e ferro que no produto final.

Entretanto, os demais óxidos que integram a bauxita são muito variados, tanto em diversidade quanto em teores. Além dos quatro óxidos mais abundantes na bauxita espera-se encontrar no seu rejeito: óxido de cálcio (CaO), óxido de potássio (K₂O), óxido de manganês (MnO) e óxido de magnésio (MgO) em menores quantidades.

1.5 Justificativa

O rejeito da bauxita na mina de Juruti não passa por qualquer análise ou tratamento antes de ser encaminhado para a bacia de rejeito onde fica depositado sem que haja nenhum monitoramento, além daqueles realizados na própria estrutura da bacia de rejeito.

Apesar de não haver nenhum processo químico envolvido no beneficiamento da bauxita em Juruti, isso não garante que o rejeito gerado não represente perigo. Os rejeitos de bauxita do Projeto Trombetas em Oriximiná, onde também não é usado qualquer processo químico, causaram alterações das características abióticas e da estrutura das comunidades de macroinvertebrados bentônicos¹ do Lago Batata (FONSECA e ESTEVES, 1999).

Estudos realizados em duas usinas de tratamento de bauxita da Companhia Brasileira Alumínio (CBA) em Minas Gerais por KURUSU *et al* (2009) demonstraram que o rejeito ainda contém grande quantidade de alumina, sendo inclusive possível seu reaproveitamento por meio da flotação reversa.

O primeiro passo para se encontrar uma alternativa para esses resíduos é a sua caracterização. É necessário se definir o quê e quanto está sendo gerado, quais suas características físico-químicas e quais as possíveis interações químicas. Mesmo que nenhuma nova utilidade seja dada aos rejeitos, conhecê-los é importante também para verificar se eles não representam perigo para o meio ambiente.

Por si só a necessidade de identificar a composição mineralógica do rejeito da bauxita justifica a realização deste trabalho tendo em vista

1 Seres que se caracterizam por habitar o sedimento aquático ou sua superfície.

que se precisa conhecer o que está sendo gerado e em que quantidade. Mas há ainda a possibilidade de se encontrar uma destinação alternativa para o rejeito, contribuindo assim com a diminuição do volume do material descartado.

1.6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Abordaremos a seguir alguns pontos que são relevantes para trabalho. Iniciando com um breve histórico do alumínio e a gênese da bauxita com foco no nos depósitos amazônicos. Em seguida discutiremos a importância econômica da bauxita, da alumina e do alumínio no Brasil. Posteriormente falaremos da lavra e do beneficiamento na mina da Alcoa em Juruti com a finalidade de explicar a origem do rejeito, que é o objeto de estudo deste trabalho. Por fim abordaremos tanque de sedimentação e a barragem de rejeito, destino final do rejeito.

1.6.1 A Bauxita

Há oito mil anos, na Pérsia, já eram produzidos vasos com um tipo de barro contendo óxido de alumínio. Três mil anos depois, egípcios e babilônios usavam uma substância contendo alumina na fabricação de cosméticos e remédios. (ABAL, 2015). Mas até então não se conhecia o metal como o conhecemos hoje.

Apesar de ser o terceiro metal mais abundante do planeta², o alumínio não é encontrado puro na natureza. Seu minério mais comum é a bauxita, que recebeu esse nome por ter sido descoberta próxima à aldeia de Lês Baux, na França, por Pierre Berthier em 1821 (SAMPAIO, ANDRADE E DULTRA, 2005).

Em 1854 Henry Deville obteve, pela primeira vez, o alumínio por via química, e no ano seguinte expôs um lingote do metal que chamou a atenção por ser muito mais leve que o ferro. Já o processo de obtenção do alumínio por meio da redução eletrolítica da alumina dissolvida em banho fundido de criolita foi desenvolvido separadamente por Paul Louis

² O Ferro é o primeiro (34,63% - em massa) e o Magnésio é o segundo (12,7% - em massa). O Alumínio responde por 1,09% da massa do planeta. (COSTA, 1996).

Toussaint Héroult, na França e Charles Martin Hall, nos Estados Unidos, simultaneamente em 1886. (SERMETAL, 2015).

Esse processo ficou conhecido como Hall-Heróult e foi fundamental para a indústria global de alumínio. Apesar de ter passado por várias atualizações e ter algumas variações, os princípios do método Hall-Heróult são mantidos na indústria até os dias de hoje.

O Alumínio é o elemento metálico mais abundante na Crosta Continental (8,13 %)³ e o terceiro elemento mais abundante na natureza, logo após o oxigênio e o silício, (em massa, pois em volume o elemento mais abundante é o Nitrogênio). Devido à elevada afinidade com o oxigênio não é costume encontrar o alumínio como substância elementar, mas sim, em formas combinadas tais como óxidos ou silicatos. (COIMBRA, 2015).

O processo para obtenção da alumina a partir da bauxita foi desenvolvido e patenteado por Karl Josef Bayer em 1888, e se baseia na elevada solubilidade dos minerais portadores de alumínio em solução com soda cáustica. De maneira bem resumida as etapas do processo Bayer são: digestão, separação da lama vermelha, cristalização do hidróxido de alumínio e calcinação (SILVA FILHO, ALVES e DA MATA, 2007).

Em média 5 t de bauxita precisam ser submetidas ao ataque de 0,14 t de soda cáustica para produzir 2 t de alumina que submetida a um processo de redução que consome em cerca 13.000 kW produz 1 t de alumínio (MÁRTIRES, 2011).

Em 2013 as reservas mundiais de bauxita eram de 29 bilhões de toneladas, 3,6 bilhões de toneladas, 12,4% das quais em solo brasileiro com grande destaque para estado do Pará que possui os maiores depósitos de bauxita metalúrgica do país (SANTANA, 2014). Segundo Mártires (2001), cinco estados brasileiros (São Paulo, Pará, Santa Catarina, Minas Gerais e Maranhão) são detentores de reservas de bauxita de grau metalúrgico. Somente no estado de Pará encontram-se 90,8% dessas reservas que, quando somadas às reservas de Minas Gerais, perfazem 98,3%.

³ O Ferro é menos abundantes na Crosta, destacando-se no manto e no núcleo do planeta. O Magnésio destaca-se no Manto e também na Crosta Oceânica (Costa, 1996).

A bauxita é o principal minério da região Oeste do Pará, sendo explotada pela Mineração Rio do Norte (MRN) nas minas de Porto Trombetas (Oriximiná e Terra Santa) e pela *Aluminium Company of America* (ALCOA) na mina de Juruti (Juruti). Além disso, a Norsh Hydro também explota bauxita na cidade de Paragominas (Nordeste do estado) e a Votorantim Metais pretende instalar um complexo para extrair o minério e produzir alumina na cidade de Rondon do Pará (Sudeste do estado)

Para Sampaio e Neves (2002) o termo bauxita faz alusão à rocha bauxito, a qual pode ter as seguintes constituintes principais: a boehmita AlOOH , mais comum na Europa; diásporo AlO(OH) , mais comum na Ásia e a gibbsita Al(OH)_3 , mais comum em regiões de clima Tropical, como nas Américas do Sul e Central. Esses minerais são conhecidos como Oxidróxidos de Alumínio. Neste trabalho é utilizado o termo bauxita referindo-se ao minério de alumínio.

Algumas bauxitas têm composição que se aproxima à da gibbsita, todavia em sua maioria formam uma mistura, contendo impurezas como: sílica, óxido de ferro, titânio e outros elementos. Como consequência, a bauxita não é considerada uma espécie mineral⁴.

De acordo com a aplicação a bauxita é classificada em metalúrgica e não-metalúrgica (refratária). A bauxita metalúrgica é aplicada na obtenção da alumina que é transformada em alumínio. A bauxita não-metalúrgica é usada principalmente na indústria de refratários, mas sua aplicação se dá ainda em abrasivos, cimentos argilosos, indústria química, antiderrapante, retardador de chama, soldas etc. (SAMPAIO e NEVES, 2002). Quimicamente a diferença se dá principalmente pelo teor de óxido de ferro (Fe_2O_3) que na bauxita metalúrgica chega a 30% enquanto na não-metalúrgica não passa de 5%. No Brasil, em torno de 92% da bauxita apresenta altos teores de ferro, sendo classificadas como metalúrgica (QUARESMA, 2015).

4 Espécie Mineral: Para ter essa denominação, é necessário ter as seguintes características: Estado Sólido, composição química definida, estrutura interna na forma de arranjo geométrico organizado dos átomos que os constituem, origem inorgânica e natural. A bauxita não atende à 2ª característica.

As maiores empresas na exploração de bauxita no mundo são: Comalco, Alcan, Alcoa, Rio Tinto e BHP na Austrália, a CVG na Guiné e a MRN no Brasil. Os dois maiores produtores de alumínio do mundo são Estados Unidos e Canadá, mesmo nenhum deles possuindo reservas de bauxita, sendo totalmente dependentes da importação do minério (IBRAM, 2011).

Além da alumina outras fases também podem estar presentes na bauxita, tais como quartzo (SiO_2), hematita (Fe_2O_3), anatásio (TiO_2) e caulinita (Al_2SiO_5). Dessa forma, a composição química de amostras destes minérios se destaca por apresentar elevado teor de alumínio (Al), acompanhado por ferro (Fe), silício (Si) e titânio (Ti). Outros elementos costumam estar presentes, porém em quantidades menores como Cálcio (Ca), Potássio (K), Manganês (Mn) e Magnésio (MgO). Menos abundantes, ocorrem ainda Boro (B), Bário (Ba), Berílio (Be), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Lítio (Li), Molibdênio (Mo), Chumbo (Pb), Estanho (Sn), Estrôncio (Sr), Vanádio (V), Ítrio (Y), Zinco (Zn) e Zircônio (Zr), como elementos traços, ou seja, na escala de parte por milhão (ppm) (SILVA e OLIVEIRA, 1992).

Um trabalho mais recente de Leonardi, Ladeira e Santos (2010) com perfis bauxíticos no sudeste do Brasil (Minas Gerais e São Paulo) inclui ainda, como seus possíveis componentes: Pentóxido de Fósforo (P_2O_5), Óxido de Sódio (Na_2O), Gálio (Ga), Nióbio (Nb), Rubídio (Rb), e Tório (Th); todos em ppm.

Deve-se ressaltar que há outros minerais com alto teor de alumínio na natureza, como a alunita ($\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$), e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) (SAMPAIO, ANDRADE e DUTRA, 2005), porém a obtenção de alumínio a partir desses minerais seria muito cara, inviabilizando economicamente o processo.

1.6.2 Gênese da Bauxita Amazônica

A concentração de elementos químicos ou minerais acima da abundância normal da crosta terrestre formado por processos geológicos é denominada depósito mineral (CAVALTI NETO e ROCHA, 2010). Os depósitos contêm minerais de minério que no caso da bauxita é a alumina.

Os depósitos de bauxita da região amazônica são formados a partir de processos superficiais, especificamente em depósitos residuais. Esses depósitos são formados por processos intempéricos que atuam transformando ou concentrando minerais, originando assim as jazidas lateríticas. (BIONDI, 2004).

A Concentração de minerais primários ocorre pela acumulação relativa do mineral de interesse. É o caso do fósforo na apatita, do nióbio no pirocloro e do cromo na cromita. No caso da formação de novos minerais ocorre a destruição do mineral primário e formação de outro mineral. Como exemplo temos a hematita (ferro), anatásio (titânio) e a gibbsita (alumínio) (GIANNINI, 2000).

O intemperismo pode ser de três tipos: físico, biológico ou químico. O intemperismo físico causa a fragmentação da rocha sem promover mudanças químicas e ocorre devido a variações no nível de pressões, que levam à fadiga do material. O intemperismo biológico é causado pela ação de vegetais através da ação desagregadora de ácido húmico, que é uma solução ácida resultante da extração de componentes orgânicos do solo ou do subsolo, normalmente húmus, por soluções aquosas percolantes (LEMES, 2014).

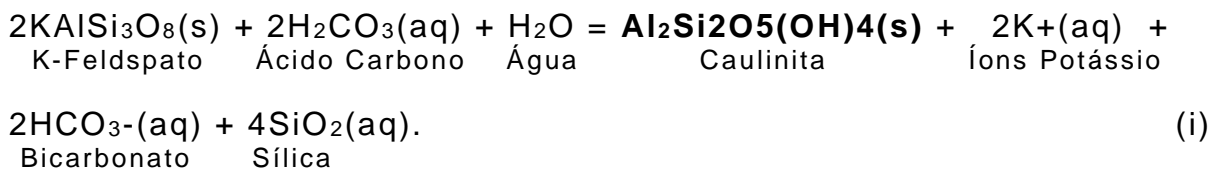
Já os processos que levam ao intemperismo químico são aqueles que, por meio de reações químicas, resultam na decomposição da estrutura dos minerais, sendo muito importantes em regiões de clima tropical úmido. Processos químicos que atuam sobre os minerais constituintes das rochas: dissolução, oxidação, redução, oxirredução, hidratação, lixiviação e troca de íons. Os fatores envolvidos são: facilidade de acesso da água e do ar no material rochoso, reatividade do maciço rochoso em relação à água, grau de agressividade da água e tempo (LEMES, 2014).

Somente o intemperismo químico é capaz de concentrar metais. Ele ocorre porque todos os principais minerais em rochas ígneas e metamórficas e, alguns minerais de rochas sedimentares, são instáveis na superfície da Terra. Esses minerais se alteram para novos minerais estáveis, os mais comuns são os argilo-minerais, principalmente caulinita, montmorillonita e illita. São acompanhados por vários óxidos e hi-

dróxidos, particularmente aqueles de ferro, alumínio e titânio. Isso explica a presença desses elementos na bauxita e também no seu rejeito. (GIANNINI, 2000).

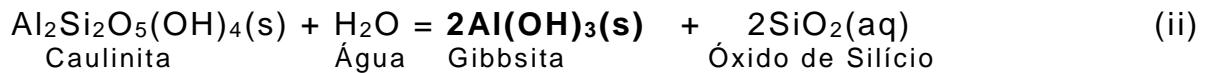
A bauxita se forma em regiões tropicais e subtropicais por ação do intemperismo químico sobre rochas aluminossilicáticas. Apesar de ser frequentemente descrita como um minério de alumínio, a bauxita não é uma espécie mineral propriamente dita, mas um material heterogêneo formado de uma mistura de hidróxidos de alumínio hidratados ($[AlO_x(OH)_{3-2x}]$, $0 < x < 1$) contendo impurezas. A proporção de gibbsita, boehmita e diásporo varia dependendo da localização geográfica do minério (JESUS 2011). No Brasil, a gibbsita é o mineral mais comum na bauxita.

O mineral fonte da gibbsita é o feldspato potássio que sob a ação da água e do ácido carbônico (ambos geralmente oriundos das chuvas) reage formando a caulinita, o bicarbonato, a sílica e liberando íons de potássio, conforme descrito na equação abaixo.



O Alumínio nessa reação fica retido nos minerais argilosos residuais e óxidos. A extração de alumínio de silicatos é economicamente proibitiva, entretanto, em climas tropicais como na Amazônia paraense, a grande disponibilidade de água permite o desenvolvimento intenso do intemperismo químico, de tal forma que a sílica é removida da caulinita e um hidróxido de alumínio permanece como resíduo. Por isso o depósito é denominado residual (BIONDI, 2004).

Se parte da massa da rocha original é perdida em solução durante o intemperismo, a concentração de Alumínio aumenta, até que quantidades econômicas sejam atingidas no resíduo. Dessa forma, a caulinita reagindo com a água forma a gibbsita e o óxido de silício, conforme representado na equação abaixo.



Na prática, o produto final do intemperismo não é o hidróxido puro, mas uma mistura de óxidos e hidróxidos de alumínio com composição média de $\text{Al}(\text{OH})_3$, que é a Gibbsita (BIONDI, 2004). As quantidades das principais impurezas presentes na bauxita variam com a região de origem, causando alterações no aspecto físico do minério, que pode variar de um sólido marrom-escuro ferruginoso até um sólido de cor creme, duro e cristalino (CONSTANTINO *et al.*, 2002).

1.6.3 Importância Econômica da Bauxita no Brasil

De acordo com Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa Mineral (ABPM) os maiores produtores mundiais de bauxita são Austrália, Indonésia, China e Brasil, com 30%, 19%, 15% e 13% respectivamente do total anual de 260 milhões de toneladas (ABPM, 2014).

Em 2013 o Brasil produziu 33,8 milhões de toneladas. Desse total, a distribuição por empresa está representada na tabela 01.

Tabela 01: Produção Brasileira de Bauxita por Empresa em 2013

Empresa	Produção (Mt)	Participação (%)
MRN	17,3	51,2
Norsk Hydro	7,5	22,2
Alcoa	5,5	16,3
Votorantim—CBA	2,9	8,6
Outras	0,6	1,7
TOTAL	33,8	100,0

Fonte: ABAL 2014

Vale ressaltar que os dados de produção de bauxita atendem ao critério "base úmida". Isso tem a finalidade de torná-los comparáveis aos divulgados por várias fontes. Especificamente no ano de 2013, o teor médio de umidade da bauxita foi da ordem de 12%.

Os números de 2013 apontam que a produção nacional de bauxita apresentou uma leve queda de 1,8% em relação ao ano anterior. A estabilidade da produção pode ser explicada pela demanda constante e ao

custo de energia elétrica, tendo em vista que o setor é um grande consumidor de energia elétrica para a produção de alumínio primário (SANTANA, 2014).

O estado do Pará continuou sendo o maior produtor nacional do minério em 2013 com mais de 29 milhões de toneladas de bauxita produzidas, o que representa um percentual de 86,5% da produção brasileira (SANTANA, 2014). Os três municípios paraenses que produziram o minério naquele ano foram Oriximiná (MRN), Paragominas (Norsk Hydro-Mineração Paragominas) e Juruti (Alcoa).

A partir de 2014 o projeto Trombetas, da Mineração Rio do Norte, situado no município de Oriximiná, passou a lavrar bauxita em minas localizadas no município de Terra Santa - PA, mas o beneficiamento continua ocorrendo em Porto Trombetas, elevando para quatro o número de municípios produtores de minério de alumínio no Pará.

Além do Pará a bauxita é lavrada em Minas Gerais, São Paulo, Santa Catarina, Goiás e Espírito Santo. Os 20 municípios produtores de bauxita nesses 6 estados estão na tabela 02

Tabela 02:.

Ord.	Município	UF	CFEM(R\$)
01	Paragominas	PA	28.992.987,04
02	Oriximiná	PA	26.594.037,01
03	Terra Santa	PA	15.477.522,17
04	Juruti	PA	13.610.886,70
05	São Sebastião da Vargem Alegre	MG	1.858.884,40
06	Divinolândia	SP	590.384,96
07	Mirai	MG	433.568,91
08	Barro Alto	GO	349.951,87
09	Santa Bárbara	MG	160.183,73
10	Santa Rita do Novo Destino	GO	308.317,28
11	Poços de Caldas	MG	346.626,71
12	Lavrinhas	SP	252.333,45
13	Correia Pinto	SC	140.776,88
14	Caldas	MG	131.193,14
15	Andradas	MG	42.174,75
16	Itamarati de Minas	MG	12.515,90
17	Senador Amaral	MG	11.450,99
18	Rosário da Limeira	MG	1.706,51
19	Paracatu	MG	258,72
20	Afonso Cláudio	ES	121,96
TOTAL			

Fonte: DNPM 2016

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em 2015 a mineração paraense de bauxita recolheu CFEM no valor de R\$ 84.675.432,92. Desse montante, Juruti contribuiu com R\$ 13.610.886,70, equivalente a 16% do total. Levando-se em consideração que 65% do valor recolhido são repassados diretamente para o município produtor, Juruti fez jus a R\$ 8.847.076,35 em 2015, média de R\$ 737.256,36 ao mês.

Do total da bauxita comercial cerca de 90% é usada para a produção metalúrgica da cadeia do alumínio (alumina e alumínio primário), e o restante 10% usadas para outros fins, como refratário, abrasivo, cimentos argilosos, velas de ignição, química (sulfato de alumínio) e outros (QUARESMA, 2015). No Brasil esse percentual chega a 95%.

A produção nacional de Alumina em 2013 foi de 9,94Mt distribuída em 6 grandes empresas: Alunorte/Norsk Hydro (Barcarena - PA), Alcoa (São Luís - MA e Poços de Caldas - MG), BHP Billiton (São Luís - MA), Votorantim/CBA (Alumínio - SP), Alcan (São Luís - MA) e Hindalco (Ouro Preto - MG). A produção é vista na tabela 03.

Tabela 03: Produção Brasileira de Alumina Empresa em 2013

Empresa	Produção (Mt)	Participação (%)
Alunorte/Norsk Hydro	5,377	54,1
Alcoa	2,186	22,0
BHP Billiton	1,239	12,4
Votorantim-CBA	0,792	8,0
Outras (Alcan e Hindalco)	0,347	3,5
TOTAL	9,941	100,0

Fonte: ABAL 2015

O estado do Pará, com a Alunorte/Norsk Hydro, também lidera o Ranking na produção de Alumina com 54,1%, sendo que empresa localizada em Barcarena recebe bauxita da Norsk Hydro e também da MRN.

Já a bauxita de Juruti é levada para São Luís no Maranhão, estado que não possui mina de bauxita, mas responde por 34,4% da produção de alumina no complexo Alumar, das empresas Alcoa e BHP Billiton.

Já a Votorantim-CBA, localizada em no estado de São Paulo, responde por 8% da alumina brasileira enquanto Alcan e Hindalco em Minas Gerais produzem 3,5%. Isso se deve ao fato de a maioria da bauxita de

Minas Gerais ser do tipo refratária, o mesmo ocorrendo em Santa Catarina e Goiás, esses últimos que não produzem alumina.

Apenas cinco empresas produzem alumínio primário no país: Votorantim-CBA (Alumínio - SP), Albras (Barcarena - PA), Alumar (São Luís - MA), Alcoa (Poços de Caldas - MG) e Novelis (Ouro Preto - MG). A unidade de redução do consórcio Alumar tem como principais acionistas as empresas Alcoa Alumínio S.A. e BHP Billiton Metais S.A. A distribuição da produção de alumínio por empresa está na tabela 04.

Tabela 04: Produção Brasileira de Alumínio por Empresa em 2013.

Empresa	Produção (1000t)	Participação (%)
Votorantim-CBA	413,3	31,7
Albras	405,5	31,1
Alumar	365,1	28,0
Alcoa	78,2	6,0
Novelis	41,7	3,2
TOTAL	1.303,8	100,0

Fonte: ABAL 2015

Como grande parte da alumina produzida no Pará e no Maranhão são exportadas, estes são o segundo e o terceiro estado na produção de alumínio respectivamente, sendo São Paulo o maior produtor do Brasil. Não por acaso a Votorantim-CBA está localizada na cidade de Alumínio - SP.

1.6.4 A Lavra da Bauxita em Juruti - PA.

Para se entender como ocorre a lavra, é necessário conhecer o perfil do corpo mineralizado da mina. A bauxita em Juruti está localizada numa profundidade de 2,5m a 18,5m, sendo um corpo mineral de origem sedimentar que tem, no máximo, 6m de espessura. O perfil litológico da mina de Juruti é apresentado na figura 01.

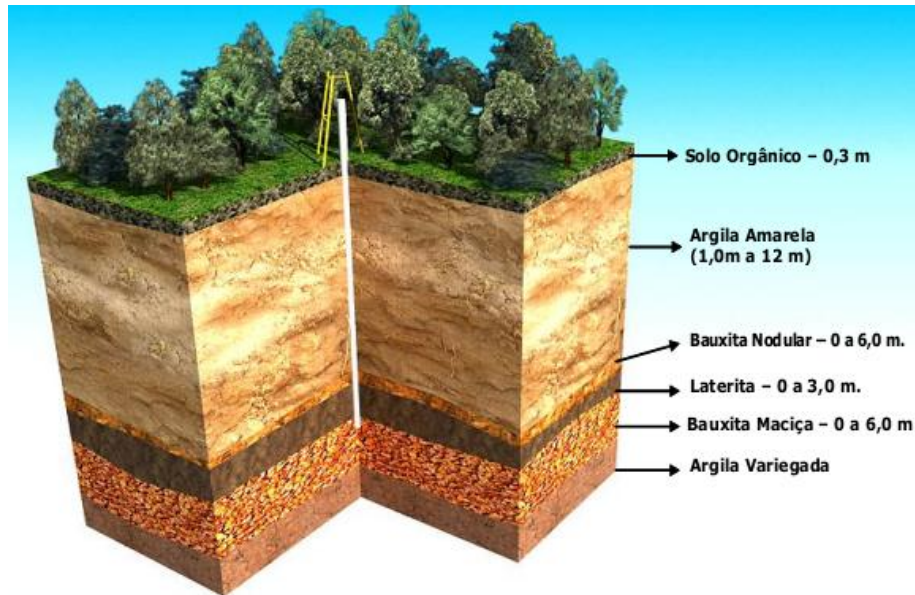


Figura 01: Perfil Litológico da Mina de Juruti
 Fonte: ALCOA, *apud* AMARAL, 2015.

O horizonte abaixo do solo orgânico é argiloso de coloração amarelada, denominada argila belterra, formada basicamente por caulinita e gibbsita. Trata-se de uma camada altamente porosa e permeável, apesar de se argilosa. Sua espessura pode variar de 1 a até 12 m (ALCOA, *apud* AMARAL, 2015).

A camada de bauxita nodular é formada por estruturas na forma de nódulos com tamanhos entre 0,5 e 2 cm presos em uma matriz argilosa, similar à da cobertura. Os nódulos podem ser mais aluminosos ou mais ferruginosos, dependendo da altura em que se localiza no perfil. Quanto maior a profundidade, mais ferruginosos eles serão. Estão sendo realizados estudos para procurar métodos de concentração que viabilizem seu aproveitamento econômico. A espessura desta camada pode chegar a 3 m (BRELAZ, 2013).

O horizonte seguinte é de laterita, também denominada bauxita ferruginosa onde o elevado teor de ferro confere uma coloração escura. Apresenta nódulos maiores que podem formar grandes agregados quando cimentados por óxidos de ferro. A espessura desta camada é bastante variável, podendo ter de alguns centímetros a 3m. (SOUZA, 2014).

Na camada de bauxita maciça é onde ocorre a maior concentração

de gibbsita. Há também a presença tanto de óxidos de ferro como de caulinita, mas em uma proporção muito menor. Quartzito pode ser encontrado mais próximo da zona ferruginosa. O topo desta camada é mais massivo e contém pouca argila. À medida que aumenta a profundidade, a camada deixa de ser massiva e passa a se apresentar em blocos, com preenchimento de argila entre eles. Esta camada varia de 3,5 a 6m (SOUZA, 2014).

No horizonte inferior tem-se a presença de material argiloso e ainda gibbsita e já não possui importância econômica, denominado argila variegada.

A lavra de bauxita em Juruti é feita de modo tradicional, a céu aberto com a recuperação da área sendo feita contemporaneamente com a extração do minério; método conhecido como lavra em tiras ou *strip mining*. Nesse método a lavra progride por meio de uma série de cortes paralelos, na forma de trincheiras profundas, denominadas de tiras.

O material é removido da área intacta a partir da parede lateral que forma a trincheira. Esse material é reposicionado na cava lateral na forma de pilhas obedecendo ao ângulo de repouso do material. O processo é realizado esquematicamente conforme a figura 02.



Figura 02: Esquema da lavra *strip mining*. Fonte: Souza, 2014.

O material é removido da área intacta a partir da parede lateral que forma a trincheira. Esse material é reposicionado na cava lateral na forma de pilhas obedecendo ao ângulo de repouso do material. Na figura 03 é possível ver uma tira pronta para ser lavrada.



Figura 03: Tira de Bauxita Lavrada.
Fonte: BRELAZ, 2013.

A lavra da mina de Juruti tem a seguinte sequência:

- a. supressão vegetal,
- b. remoção do solo orgânico,
- c. decapeamento,
- d. desmonte mecânico,
- e. carregamento e
- f. transporte.

Atualmente a exploração da bauxita em Juruti, acontece em quatro frentes de lavra, todas no platô Capiranga. Todo minério vindo das diferentes frentes de lavra passa pelo processo de blendagem, isso acontece devido variações de teores de cada tira.

A supressão vegetal consiste no desmatamento de uma área e em seguida carregamento a vegetação destinando-a para sua utilização final de acordo com as normas ambientais. Na mina de juruti a supressão vegetal é realizada por empresas terceirizadas. Realiza-se previamente o afugentamento e captura da fauna e posteriormente o manejo da flora para o reflorestamento da área minerada.

Esta atividade é realizada com operadores de moto serra que são encarregados de cortar arvores de médio e grande porte (Diâmetro na Altura do Peito > 80 cm) e executar o retalhamento das mesmas transformando-as em toras. Na figura 04 é possível verificar o trabalho dos operadores de motosserra.



Figura 04: Supressão Vegetal com Motosserras.
Fonte: AMARAL, 2015.

Em seguida são utilizados tratores de esteiras D61 da Komatsu (figura 05) para a limpeza da área desmatada e escavadeiras que auxiliam no carregamento da galhada em caminhões que transportam este material para os depósitos de estéril que são locais estratégicos de re-conformação de áreas degradadas com a atividade de lavra.



Figura 05: Supressão Vegetal com Trator D6
Fonte: SOUZA, 2014.

Na mina de Juruti as galhadas são depositadas no fundo das cavas para auxiliar na revegetação de áreas já lavradas. Já as toras de madeiras são transportadas usando-se carregadeiras de rodas WA200 Komatsu e caminhão madeireiro 2423 da Mercedes Bens, para serem estocadas e direcionadas para o processo final junto aos órgãos competentes.

A etapa de Remoção do solo orgânico compreende a retirada da primeira camada do solo de coloração escura com uma espessura aproximada de 30 cm, rica em nutrientes. Utiliza-se escavadeiras PC400, e

caminhões basculantes Scania P420. A figura 06 mostra o momento do carregamento do caminhão.



Figura 06: Carregamento do *Topsoil*.
Fonte: AMARAL, 2015.

O *topsoil* removido é transportado para cima do estéril que foi removido da tira que já foi lavrada para reconformação da área degradada, com o objetivo de que este solo orgânico (rico em nutriente e contendo sementes de árvores nativas, raízes, galhos, troncos e etc.) recomponha o solo e as árvores nativas cresçam novamente fazendo um reflorestamento natural, método chamado de “mão de Deus”.

Na figura 07 foi destacado a camada de solo orgânico que foi devolvido para a área já minerada. É possível perceber ainda que já há vegetação, oriunda do reflorestamento natural.



Figura 07: Recomposição com *Topsoil*.
Fonte: SOUZA, 2014.

O decapeamento compreende a remoção da camada de estéril que varia entre 10 e 12 m de espessura. A remoção do estéril é feita pela

empresa terceirizada U&M, para isso ela conta com 04 tratores de esteiras TE D11 T/CD (para decapeamento das tiras) com capacidade de remover até 44 m³ de argila por laminada, 01 trator de esteiras TE D9T, 01 trator de esteiras TE D6R (para reconformação do estéril e apoio), 01 escavadeira EH 365 D com capacidade de movimentar até 4,5 m³ por ciclo, 01 escavadeira EH 349D com capacidade de movimentar até 3,1 m³ por ciclo (todas da CATERPILLAR), 07 caminhões basculante 4844 da Mercedes Bens com capacidade de transportar até 17 m³ por ciclo, 01 moto niveladora para apoio, 01 caminhão comboio para abastecimento dos equipamentos e 01 caminhão pipa para umectação das vias. (AMARAL, 2015).

A liberação do minério só acontece após a remoção da camada de laterita. Toda laterita removida é empurrada para área de bota fora e também utilizada na construção, conformação e manutenção de vias de acessos principais e intermediários, que servem de tráfego para máquinas, caminhões e caminhonetes. A maior parte do estéril é removida com a lâmina dos tratores, processo esse que pode ser visto na figura 08.



Figura 08: Decapeamento com TE D11
Fonte: AMARAL, 2015.

O desmonte da camada de bauxita é realizado no método mecânico também com tratores TE D11, com auxílio um dispositivo em forma de gancho denominado “*ripper*” que fica acoplado na parte traseira do equipamento que em contato com a rocha é capaz fragmentá-la. Esse processo é conhecido como escarificação. A etapa de desmonte do minério

gera matacões que devem atender ao *topsize* (tamanho da capacidade do britador) da planta que corresponde no a 1,2 m. A figura 09 mostra um *ripper* fincado no minério, realizando a escarificação.



Figura 09: Escarificação com TE D11
Fonte: AMARAL, 2015.

A tira em geral mede 200 m de comprimento e 25 m de largura e é constituída de uma só bancada contendo de 07 ou 08 blocos (25 m X 25 m). As tiras possuem um padrão de nomenclatura na ordem alfabética que vai de A a Z, que são demarcadas pela topografia no local com estaqueamento e bandeirolas numeradas.

O carregamento e o transporte de minérios são feitos pela empresa terceirizada. O carregamento é feito por escavadeiras hidráulicas EH 349D da caterpillar, que possui uma concha com capacidade de carregar até 3,1 m³ de material, uma lança que juntamente com o braço podem alcançar até 6m de profundidade, esteiras que lhe permite trafegar em terrenos de difíceis acessos, giro de 360º horário e anti-horário. É um equipamento de porte médio e tem capacidade de produzir até 350 t/h. A figura 10 mostra a escavadeira sobre a camada de minério realizando o carregando no mesmo nível do caminhão, o qual é visto já cheio na figura 11.



Figura 10: Carregamento da Bauxita
Fonte: AMARAL, 2015



Figura 11: Caminhão com Bauxita
Fonte: AMARAL, 2015.

O transporte é feito por caminhões rodoviários 4844 da Mercedes, estes possuem uma caçamba com capacidade de transportar até 21 m³ (foi modificada para suportar este volume), esses caminhões suportam transportar uma massa de 37 t. O minério sai das frentes de lavra e segue até o britador localizado na planta de beneficiamento. Os caminhões com a caçamba cheia ficavam abaixo da capacidade pois a bauxita tem densidade relativamente baixa.

As etapas da lavra são ilustradas de maneira simplificada na figura 12 onde a primeira etapa representa a supressão vegetal, a segunda etapa é representada pela retirada do solo orgânico, a terceira etapa mostra o decapeamento e na quarta e última etapa já é possível perceber o desmonte do minério.

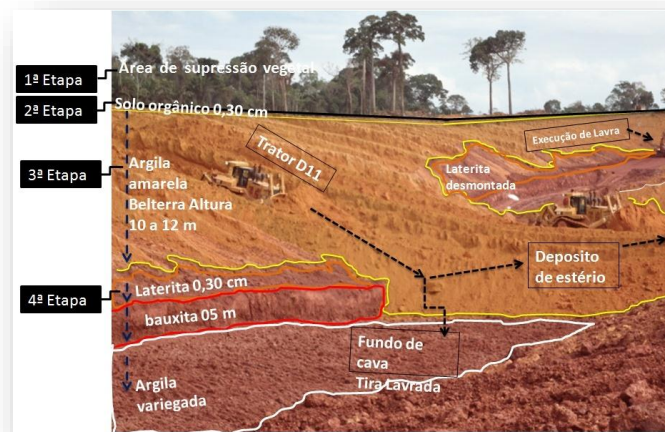


Figura 12: Etapas da lavra da bauxita
Fonte: SOUZA, 2014.

1.6.5 O Beneficiamento da Bauxita em Juruti-PA

O beneficiamento do minério é feito por etapas sucessivas de britagem, lavagem em *scruber* e peneiras *trommel* e classificação granulométrica em um conjunto de peneiras vibratórias dotadas de “*sprays*” lavadores em duas linhas paralelas. O retido das peneiras vai direto para o pátio de produto, não sem antes passar por uma torre de amostragem. As frações mais finas seguem, sob a forma de polpa, para baterias de hidrociclones, capazes de recuperar as frações finas e superfinas contidas na polpa. A fração menor que 400 mesh sai como rejeito e segue por tubulação para os reservatórios ou lagoas de rejeito. O fluxograma da planta de beneficiamento é apresentado de forma simplificado na figura 13, sendo possível verificar todas as operações unitárias realizadas na planta, desde a britagem até a filtragem.

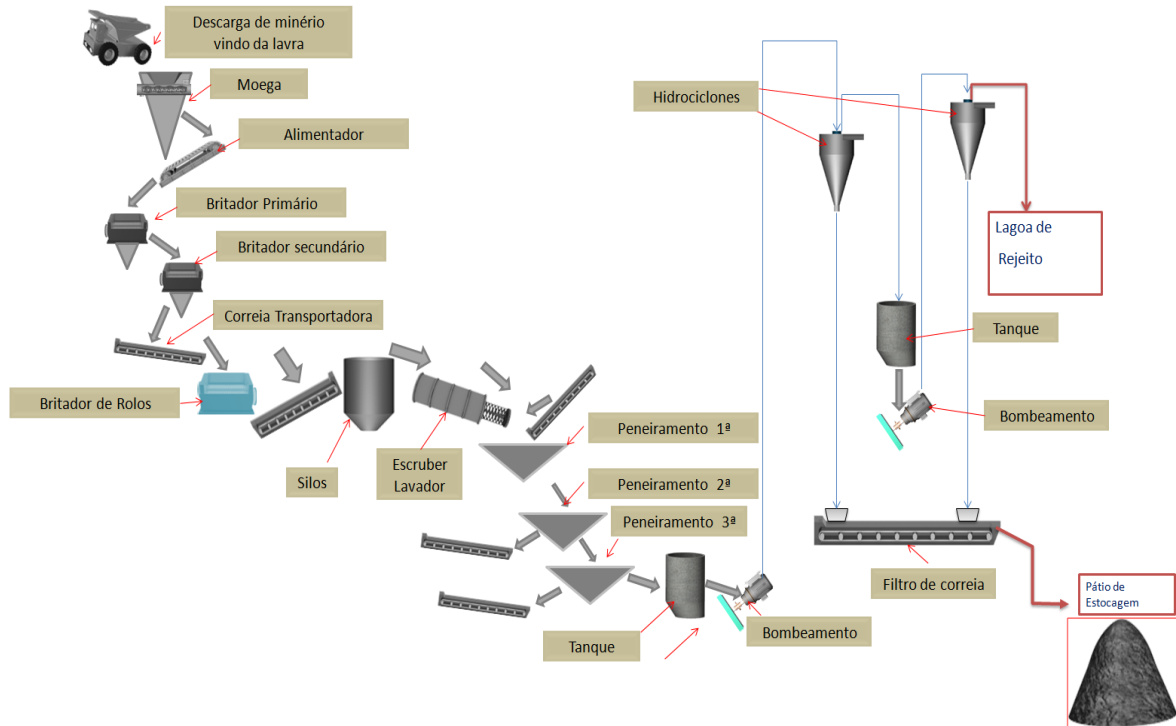


Figura 13: Fluxograma do Beneficiamento da Bauxita em Juruti.
Fonte: ALCOA *apud* BATISTA, 2014.

O material proveniente da mina é basculhado na moega de onde o alimentador de sapatas transporta a bauxita até o britador primário, que possui um *topsize* de 1200 mm, e sua saída de alimentação para o britador secundário é de 340 mm, que por sua vez reduz o minério até 130 mm. Os britadores primário e secundário são do tipo rolos dentados devido à baixa abrasividade do material. A figura 14 destaca os dentes do rolo do britador.



Figura 14: Rolos do Britador Primário
Fonte: BATISTA, 2014.

Ao sair da britagem secundária o material alimenta o circuito de transportadores que começa pela correia de sacrifício que suporta a queda por gravidade do material. Logo no início dessa transportadora existe o extrator de sucatas que deve retirar contaminantes metálicos da correia transportadora, caso este equipamento venha a falhar logo a frente dele há um detector de metas que quando acionado desliga todo o circuito, pois materiais metálicos podem danificar os equipamentos subsequentes.

A correia transportadora conduz às empilhadeiras que fazem a homogeneização tipo *windrow-chevron* garantindo assim uma mistura de teores do minério estocado no pátio de bauxita britada. A figura 15 mostra a empilhadeira em operação, formando a pilha de minério britado.



Figura 15: Pilha de Bauxita Britada
Fonte: FERREIRA, 2014.

A alimentação da planta de beneficiamento pode ser feita pelo minério do pátio de homogeneização através de carregadeiras que alimentam uma correia transportadora a qual conduz o material para o prédio de lavagem. Esse processo é denominado *off line*.

Outra possibilidade é que a correia transportadora encaminhe o minério direto da britagem para o prédio de lavagem, o que é denominado alimentação *on line*. Esse método vem sendo bastante utilizado por reduzir custos. Há ainda a possibilidade de uma alimentação *on line* simultânea com a *off line*. Antes do prédio de lavagem o minério britado passa por uma torre de amostragem, parte integrante do controle de qualidade.

No prédio de lavagem o minério é processado no conjunto *scrubber/trommel* que faz parte do tambor de escrubagem e tem a função de desagregar a argila da bauxita. Esse processo ocorre através das aletas que se encontram no interior do *scrubber*. Acoplado ao *scrubber* está o *trommel* (peneira rotativa, que atua na separação por tamanho de partículas por telas de aço com malhas de 4, 3 e 2 polegadas. A figura 16 mostra o *trommel* que irá substituir o anterior.



Figura 16: Trommel.
Fonte: FERREIRA, 2014.

As partículas acima de 4 polegadas são encaminhadas para o rebitador de rolos dentados para adequação granulométrica cujo produto alimenta peneiras vibratórias de dois *decks* dotadas de telas de aço de 2" e 4 mm respectivamente. A bauxita maior que 4 mm é descarregada em um transportador de correia e incorporada ao produto final da planta (produto granulado), enquanto o *undersize* (menor que 4 mm) é direcionado à última etapa do peneiramento.

Já o minério menor que 2" que sai do *trommel* é encaminhado para a peneira vibratória de dois *decks* com telas de aço com malha de 1" e 1/4". O *oversize* desse peneiramento é o produto final que é levado para o pátio de bauxita lavada por um transportador de correia. Já o material abaixo de 1" se junta ao *undersize* da peneira do rebitador e é encaminhado para a última etapa de peneiramento em peneiras de dois *decks* com telas de 4 mm e 1,6 mm. O *oversize* é produto final e encaminhado para o pátio de bauxita lavada.

O minério menor que 1,6 mm é direcionado através de calhas e

canaletas até um tanque de polpa que será levada para a etapa de recuperação de finos nas baterias de hidrociclones. A ciclonagem primária é feita por duas baterias, cada uma com 10 ciclones de 26" polegadas. O *underflow* desse estágio alimenta um tanque que recebe diluição de água bruta e em seguida é bombeada para alimentar filtros que gera o produto final denominado fino de bauxita cujo granulometria é entre 1,6 mm e 150#.

Já o *overflow* da ciclonagem de 26" alimenta um tanque e em seguida é encaminhado para ciclonagem de 10". O *underflow* dessa ciclonagem é um material que possui granulometria menor que 150# e maior que 400# o qual é direcionado para os filtros de correia e constitui o produto final denominado superfino de bauxita. A figura 17 mostra umas das baterias de ciclone de 10 polegadas.



Figura 17: Bateria de Hidrociclones de 10".
Fonte: FERREIRA, 2014.

O *overflow* das baterias de ciclones de 10" é descartado para uma tubulação que se destina ao tanque de sedimentação da planta e constitui o rejeito do processo de beneficiamento da bauxita, possuindo granulometria inferior a 400 mesh. Esse é o objeto de estudo deste trabalho.

Toda a produção da planta de beneficiamento (granulados e finos) compõe um produto único, que segue transportado pela ferrovia de 55 quilômetros, por composições com número variável de vagões (entre 20 e 40 vagões por composição), cada um com capacidade de 80 toneladas, até as instalações do porto. A figura 18 mostra o trem vazio no pátio de bauxita lavada.



Figura 18: Trem da mina Juruti
Fonte: AMARAL, 2015.

Na área do porto, o produto é descarregado, estocado e expedido em navios com capacidade de até 55 mil toneladas e transportado até a refinaria da Alumar em São Luís - MA. Na figura 19 é possível ver a correia transportadora e o *ship loader* em operação, realizando o embarque da bauxita.



Figura 19: Embarque da Bauxita
Fonte: AMARAL, 2015.

Resumidamente o fluxograma do processo da mina de Juruti, da lavra ao embarque, está representado na figura 20.

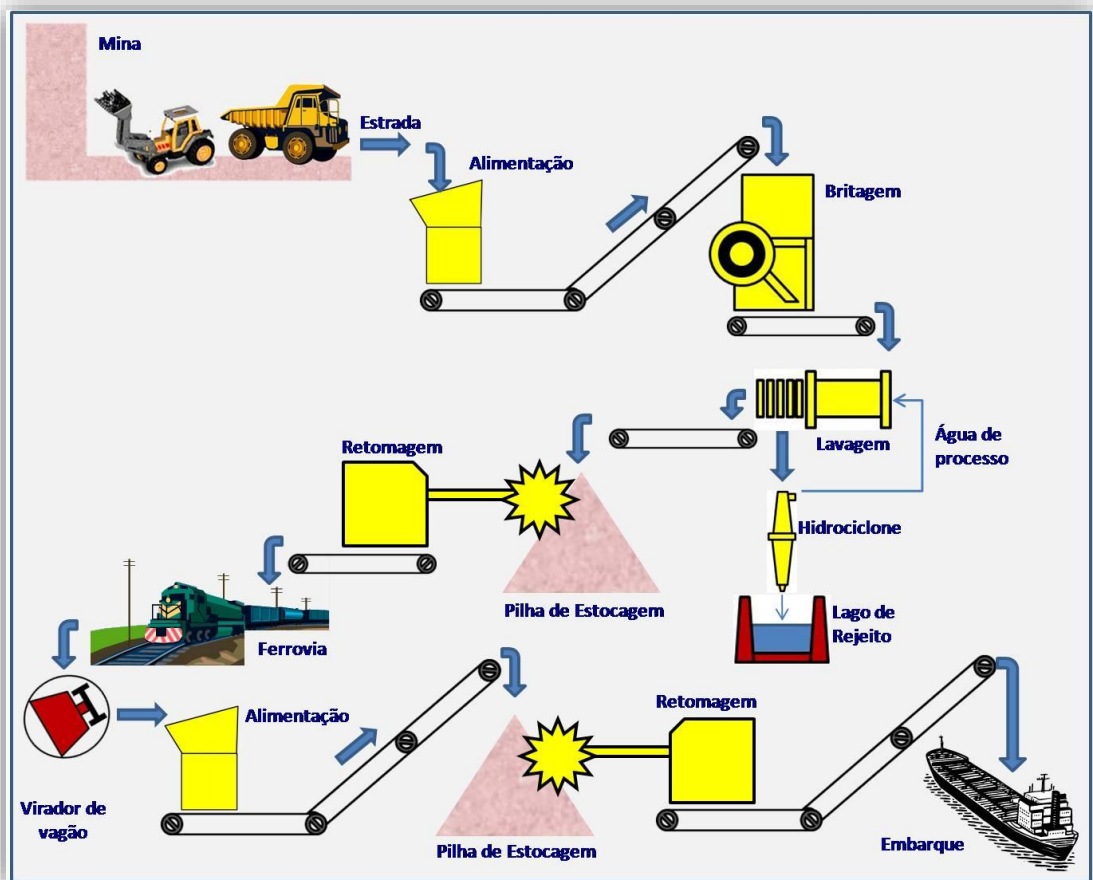


Figura 20: Fluxograma do Processo da Mina de Juruti
Fonte: ALCOA *apud* BRELAZ, 2015.

A Mina de Juruti foi inaugurada em 15 de setembro de 2009. O primeiro embarque de bauxita do Projeto Juruti ocorreu no dia 05 outubro de 2009. Para transportar o minério até a capital maranhense, o navio cargueiro MV Norsul Camocim transportando 43 mil toneladas de bauxita percorreu 1,6 mil quilômetros em 80 horas (IBRAM, *apud* FERREIRA 2013).

1.6.6 A Barragem de Rejeito

O material com granulometria menor que 400 mesh que sai do *overflow* das baterias de ciclones de 10 polegadas segue por uma tubulação com destino ao reservatório ou lagoa de rejeito. O primeiro destino, porém, é a lagoa de sedimentação que é completamente impermeabilizada, tanto nas laterais quanto no fundo. O objetivo inicial é que a polpa que chega com um teor de sólido entre 5 e 8% sedimente-se naturalmente no

fundo da lagoa. A lagoa de sedimentação que recebe o material descartado da usina de beneficiamento é vista na figura 21.



Figura 21: Lagoa de sedimentação
Fonte: BRELAZ, 2013.

O segundo passo é a dragagem do rejeito sedimentado para a barragem de rejeito, o que é feito através de uma draga de sucção. As dragas flutuam na lâmina d'água da lagoa de sedimentação e conduzem o material decantado para a barragem de rejeito que atualmente está localizada ao lado da lagoa de sedimentação. Nesse momento a polpa de rejeito está com um percentual de sólido entre 28 e 30%.

Diferentemente do primeiro reservatório a barragem de rejeito é uma estrutura com impermeabilidade apenas nas laterais, permitindo que parte da água infiltre no solo, já que o objetivo é o armazenamento final do rejeito. Grande quantidade de água volta para a lagoa por transbordo e o restante é simplesmente evaporado, deixando apenas as partículas sólidas. A figura 22 mostra uma barragem de rejeito da Mineração Rio do Norte já no fim da sua vida útil.



Figura 22: Barragem de Rejeito
Fonte: BRELAZ, 2013.

Assim, dentro de alguns anos esse local ficará cheio de material, sendo necessário providenciar uma nova área para destinação do rejeito. Em Juruti já está sendo providenciada uma nova barragem de rejeito, localizada distante da primeira, pois aproveitará uma área minerada anteriormente.

A área do rejeito possui um sistema de circuito fechado para alimentar a planta de beneficiamento de água recuperada: a lagoa de decantação recebe água de drenagem da barragem de rejeito e água nova da base Capiranga, no rio Juruti Velho (distante cerca de 15 quilômetros). Dessa forma, a água da polpa do rejeito é recirculada para o processo de lavagem da bauxita em um reaproveitamento que chega a 85%, sendo necessária a captação de apenas 15%.

O monitoramento das barragens de rejeito está muito mais rigoroso devido a incidentes ocorridos recentemente em Minas Gerais. A barragem de rejeito de lavagem de bauxita da mineração Rio Pomba Cataguases instalada em Miraí - MG rompeu-se em março de 2006 despejando cerca de 400 milhões de metros cúbicos de polpa de rejeito (lama) no rio Fubá, que é a afluyente do rio Muriaé. A figura 23 mostra a coloração típica da polpa de bauxita no rio Fubá.



Figura 23: Rio contaminado com rejeito de bauxita.
Fonte: ALMEIDA, 2009.

Menos de um ano depois, em 10 de janeiro de 2007 a barragem voltou a se romper, provocando o vazamento de 2 bilhões de metros de

lama que atingiu dois municípios mineiros e quatro municípios fluminenses além de deixar vários bairros de Mirai alagados (CETEM, 2015).

A mineradora foi multada em 50 milhões de reais em 2006 e como foi reincidente, a multa em 2007 foi de 75 milhões de reais. Além disso, a Rio Pomba teve que arcar com os custos da recuperação das áreas atingidas e indenizações aos moradores que ficaram desalojados. A empresa diz que o rompimento da barragem foi provocado pelo excesso de chuvas. Mesmo assim o governo do estado interditou a mineradora por tempo indeterminado.

Para evitar problemas similares, além das vistorias periódicas nas suas barragens, a Alcoa mantém uma estação meteorológica ao lado da lagoa de sedimentação com o objetivo de medir a quantidade de água precipitada e também a quantidade evaporada, mantendo assim uma margem segura na vazão de rejeito depositado.

Vale ressaltar que o tanque de sedimentação e a barragem de rejeitos ocupam uma área quase do mesmo tamanho da área destinada a todas as outras instalações da planta de beneficiamento conforme se verifica na figura 24.



Figura 24: Vista Aérea da Planta de Beneficiamento da Alcoa
Fonte: O IMPACTO, 2015.

A Alcoa completou recentemente seis anos de operação e com a produção atual ainda não encheu a primeira barragem de rejeito. Mas, quando isso ocorrer, o destino da área deverá ser semelhante ao que ocorre na Mineração Rio do Norte (da qual a Alcoa é acionista). Lá, quando a barragem enche é abandonada. Posteriormente são plantadas

gramíneas leguminosas, que favorecem a fixação de nitrogênio no solo, e após o seu desenvolvimento completo, são plantadas espécies nativas, que constituem a revegetação definitiva dessas áreas. E assim encerra o processo do rejeito da planta de beneficiamento.

Fazendo-se a caracterização desse rejeito será possível propor sua utilização de forma alternativa, reduzindo-se com isso a necessidade de se construir novos espaços para o armazenamento desse material, contribuindo não apenas com a economia da mineradora, mas principalmente com o meio ambiente.

II MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico inclui a descrição da área de estudo, seleção e preparação das amostras, além das técnicas e equipamentos utilizados.

2.1 Descrição da Área de Estudo

O Município de Juruti está localizado no extremo Oeste do Estado do Pará, pertencendo à mesorregião do Baixo Amazonas e microrregião de Óbidos. A sede do município localiza-se nas coordenadas geográficas 02° 09' 09" S e 56° 05' 42" W Gr, limitando-se ao Norte com os municípios de Oriximiná e Óbidos, a Leste com Óbidos e Santarém, ao Sul com o município de Aveiro e a Oeste com os municípios de Terra Santa e Parintins, este último já no estado do Amazonas.

A cidade de Juruti está a 855 Km (em linha reta) distante de Belém, capital do estado do Pará, e a 450 Km de Manaus, capital do Estado do Amazonas. Possui uma área de 8.306,298 Km² (PMJ, 2005). A população do município é de 47.086 habitantes de acordo com o censo 2010, com uma estimativa de 53.989 habitantes em 2015, o que corresponde a uma densidade de 6,5 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2016). A figura 25 dá uma boa ideia de localização do município, evidenciando inclusive a microrregião ao qual Juruti pertence.

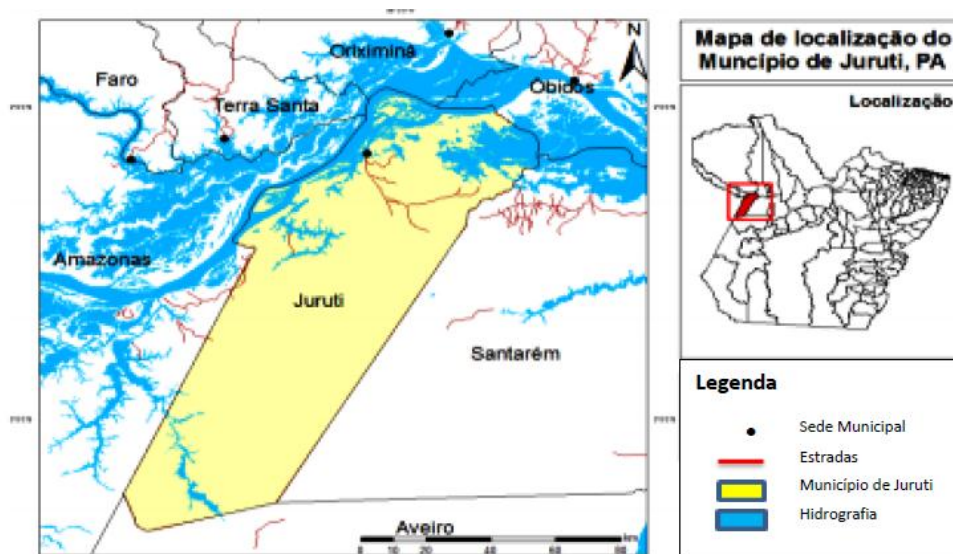


Figura 25: Localização do Município de Juruti
Fonte: FERREIRA, 2013.

A mina de bauxita de Juruti está localizada a aproximadamente 60 Km da sede do município e possui uma reserva que pode chegar a 700 milhões de toneladas métricas, apesar de apenas 180 milhões terem sido confirmadas pela Alcoa, o que já significa um dos maiores depósitos de bauxita de alta qualidade do mundo (ALCOA, 2015).

2.2 Seleção e Preparação das Amostras

As amostras foram coletadas na polpa da lavagem, proveniente do *oversize* do hidrociclone de 10” antes que este seja levado para a bacia de rejeitos. Foi encaminhado um ofício para o setor de processos/control de qualidade da Mina de Juruti solicitando amostras do rejeito. A metodologia adotada para a coleta é descrita abaixo.

O período de coleta foi discutido conjuntamente com a mineradora e estabeleceram-se os meses de setembro, outubro e novembro de 2012, sempre na primeira e na terceira semanas de cada mês, totalizando assim seis amostragens nos quatro meses de coleta. O cronograma de coleta ficou definido conforme a tabela 05 apresentada a seguir:

Tabela 05: Cronograma de amostragem

	Mês	Início da Coleta	Término da Coleta
Setembro	1º Semana do mês	04/09/2012	11/09/2012
	3º Semana do mês	18/09/2012	25/09/2012
Outubro	1º Semana do mês	02/10/2012	09/10/2012
	3º Semana do mês	16/10/2012	23/10/2012
Novembro	1º Semana do mês	30/10/2012	06/11/2012
	3º Semana do mês	13/11/2012	20/11/2012

Fonte: Autor

Como a usina opera em duas linhas (Linha 01 e Linha 02) o rejeito de ambas as linhas foi coletado conjuntamente, acumulando-se durante o período de uma semana, formando uma única amostra de 12 litros de polpa, que foi encaminhada para o Laboratório Físico da própria Alcoa.

Em seguida a amostra foi decantada para se proceder à retirada do sobrenadante (excesso de água), tomando-se os devidos cuidados para não remover os sólidos. Após a máxima retirada de água da amostra, esta foi colocada na estufa a uma temperatura de 120 C° durante 12

horas. O procedimento mais usado para a retirada da umidade é o aquecimento a 105°, mas no protocolo adotado pela Alcoa usa-se 120° para evitar a oxidação da amostra, principalmente devido à presença de minerais de ferro.

Esse material seco foi acondicionado em embalagens contendo 500 g, devidamente identificado e nos entregue pessoalmente pelo supervisor técnico da Alcoa. De posse das amostras o passo seguinte foi passá-las individualmente no homogeneizador em Y para se obter amostras mais homogêneas. Após o processo de homogeneização seguiu-se o quarteamentos das amostras usando-se o quarteado Jones até se obter $\frac{1}{4}$ do volume inicial.

De cada uma das 6 amostras já quarteadas foram retiradas duas cápsulas de um grama, uma para a difração de raios-x e outra para a espectrometria de fluorescência de raios-x, totalizando 12 cápsulas, as quais foram identificadas e encaminhadas via sedex para o laboratório de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). Os resultados das análises foram encaminhados via correio eletrônico.

Para a análise térmica também foi retirada uma cápsula de um grama de cada amostra. Na Universidade Federal do Pará (UFPA) as seis cápsulas foram misturadas umas com as outras e analisadas conjuntamente.

2.3 Técnicas e Equipamento

Para a determinação dos elementos quantitativos nas amostras de rejeitos utilizou-se a técnica analítica espectrometria de fluorescência de raios-x. O equipamento empregado foi um espectrômetro da Rigaku, modelo ZSXMini II. Os teores dos elementos foram detectados em pastilhas fundidas preparadas a partir da fusão de 1,0g da amostra pulverizada com 7,0 g de tetraborato de lítio. As condições analíticas para a dosagem dos elementos presentes nas amostras foram: detectores selado e de fluxo, cristais analisadores PET, Ge, PX1, PX3 e LIF200, potência do tubo 24 kV e 90 mA ou 50 kV e 50 mA. O *software* utilizado para a análise quantitativa foi o SemiQ, desenvolvido pela Philips. Essa etapa foi reali-

zada no Laboratório de Raios-X do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará.

Para a caracterização mineralógica dos rejeitos empregou-se um difratômetro de raios-x, modelo DMAXB. As medidas de difração de raios-x foram realizadas pelo método do pó. As condições experimentais empregadas foram as seguintes: extensão (θ - 2θ): 3° a 100° ; $2,0^\circ/\text{min}$; radiação CuK α ; 50 kV; 100 mA; fendas de: divergência = $1,0^\circ$; espalhamento = $1,0^\circ$; recepção=0,30 mm. Essa etapa também foi realizada no Laboratório de Raios-X do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará.

O equipamento utilizado para a análise térmica é Shimadzu 60H. Usou-se razão de aquecimento de 10, 20 e 30°Cmin^{-1} desde a temperatura ambiente até 1100°C . A massa da amostra $\sim 7\text{mg}$, atmosfera com ar sintético e vazão do gás de arraste 50mLmin^{-1} . Os dados obtidos na análise nas razões de aquecimento citados foram aplicados ao modelo cinético Model Free Kinetics e Flynn Wall para a obtenção dos parâmetros cinéticos relacionados à decomposição da amostra.

III RESULTADOS E DISCUSSÕES

Passaremos agora a apresentar os resultados e discutir cada técnica separadamente. Iniciaremos com a espectroscopia de fluorescência de raios-x. Em seguida passaremos para os resultados da difração de raios-X. Na conclusão será feita uma abordagem mais abrangente.

3.1 Espectrometria de Fluorescência de Raios-X

Os espectrogramas gerados pelas amostras são bastante relevantes para demonstrar qualitativamente os principais elementos químicos constituintes do rejeito. O Resultado laboratorial possibilitou a elaboração da tabela 06 com base na espectrometria de fluorescência de raios-x.

Tabela 06: Resultados da EFRX.

Óxido	Amostra 1 teor (%)	Amostra 2 teor (%)	Amostra 3 teor (%)	Amostra 4 teor (%)	Amostra 5 teor (%)	Amostra 6 teor (%)	Média teor (%)
Fe₂O₃	66,223	57,912	65,232	61,002	63,153	63,192	62,786
SiO₂	13,747	16,816	14,931	16,175	14,725	14,523	15,153
Al₂O₃	11,762	16,374	12,646	14,664	14,250	14,438	14,022
TiO₂	7,689	7,893	6,518	7,519	7,477	7,256	7,392
ZrO₂	0,229	0,247	0,263	0,267	0,211	0,333	0,258
CaO	0,156	0,215	0,143	0,198	0,101	0,105	0,153
V₂O₅	0,000	0,426	0,000	0,000	0,000	0,000	0,071
K₂O	0,087	0,000	0,054	0,101	0,083	0,000	0,054
Cr₂O₃	0,000	0,117	0,124	0,000	0,000	0,000	0,040
SO₃	0,107	0,000	0,089	0,000	0,000	0,000	0,033
Co₂O₃	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,141	0,024
Nb₂O₅	0,000	0,000	0,000	0,074	0,000	0,000	0,012
Cl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,002
TOTAL	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000

Fonte: Autor

As amostras do rejeito mostram a presença dos seguintes elementos químicos, em forma de óxido, com as médias de teores:

- Alto: Fe_2O_3
- Médio: SiO_2 e Al_2O_3
- Baixo: TiO_2
- Traços: ZrO_2 , CaO , V_2O_5 , K_2O , Cr_2O_3 , SO_3 , Co_2O_3 , Nb_2O_5 e Cl .

Arenare (2009) também usando EFRX para caracterizar a bauxita de Juruti encontrou os seguintes relação entre os teores dos elementos:

- Alto: F e O
- Médio: Al
- Baixo: Si e Ti
- Traços: Na, Cl, S, P e Cr.

A primeira diferença encontrada foi em relação ao silício, que apresenta baixo teor na bauxita e médio teor no seu rejeito. Isso reflete a uma característica dos rejeitos, que é o aumento do teor dos minerais de ganga em relação minério *in natura*.

A segunda diferença se refere aos cinco elementos traços que não foram relatados na bauxita e apareceram no rejeito. Zr, Ca, V, K e Nb. Por último há dois elementos, P e Na, que aparecem na bauxita e não aparecem no rejeito.

De acordo com Arenare (2009) os minerais de ganga mais comuns associados ao minério de alumínio são: caulinita, quartzo, hematita, goethita, rutilo e anatásio. Já os minerais de ganga secundários são: crandallita, wavellita, calcita, ilita, litioforita, magnesita, dolomita, dawsonita, celestita, piritita, gahnita, cromita, shubnelita, e zircão.

O óxido de ferro apresentou teor médio de 62,786% sendo que o menor teor encontrado foi 57,912% e o maior foi 66,223%. O óxido de ferro é um dos principais componentes da bauxita e aparece na forma de hematita (Fe_2O_3) e/ou goethita (FeOOH).

O dióxido de silício apresentou teor médio de 15,153%, registrando um mínimo de 13,747% e um máximo de 16,816%. Embora o dióxido de silício possa ser encontrado em diversas formas diferentes na natureza, inclusive, topázio e ametista, na bauxita sua presença se deve à caulinita

($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e ao quartzo (SiO_2).

A sílica presente na bauxita constitui-se um problema para as minas de bauxita metalúrgica e como o seu teor aumenta com a diminuição da granulometria, esperava-se que sua concentração fosse relativamente elevada no rejeito da lavagem. Em todas as amostras o teor de silício no rejeito da bauxita foi superior ao teor de alumínio.

O óxido de alumínio no rejeito tem teor médio de 14,022%, apresentando certa variação de teores entre as amostras. O teor mínimo de alumina registrado foi 11,762% e o máximo de 16,374%. As pedras preciosas rubi e safira são compostas principalmente por óxido de alumínio e as suas cores características são-lhes dadas por traços de impurezas. Na bauxita o alumínio pode vir em forma de gibbsita, bohemita e diásporo, além da caulinita.

Como o quarto principal componente da bauxita é o óxido de titânio, no rejeito não é diferente. O dióxido de titânio apresentou um teor médio de 7,392%, sendo o menor teor igual a 6,518% e o maior igual a 7,893%. O dióxido de titânio pode aparecer na bauxita como dois minerais distintos: Anastásio Rutilo.

Os teores médios dos óxidos de ferro, alumínio, silício e titânio somam 99,353% dos óxidos identificados nas amostras. Os óxidos dos demais elementos atômicos com menores teores na amostra de rejeito totalizam 0,647% da massa. Apenas dois outros óxidos estão presentes em todas as amostras: óxido de zircônio e óxido de cálcio.

O zircônio na bauxita se apresenta na forma de zircão (ZrSiO_4), um silicato de zircônio, correspondendo a um teor teórico de 67% de ZrO_2 e 33% SiO_2 . O zircão apresenta propriedades parecidas às do titânio, destacando-se sua alta dureza (7,5).

O cálcio geralmente aparece na bauxita na forma de calcita (CaCO_3), que é um mineral bastante comum e disseminado na natureza, se destaca por ser um dos principais componentes do cimento e usado também na fabricação de argamassa.

O vanádio e o cromo que ocorrem na bauxita na forma dos minerais shcherbinaita ($\text{Fe}_2(\text{V}_2\text{O}_8).2\text{H}_2\text{O}$) e cromita (FeCr_2O_4) respectivamente destacam-se como elementos extremamente resistentes à corrosão.

O potássio está presente na bauxita na forma de ilita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$). É um dos principais macro nutrientes dos vegetais, mas Paula (2010) tentou usar o rejeito da bauxita como substrato agrícola sem sucesso.

O enxofre ocorre na forma de pirita FeS_2 que apresenta 53,4% de enxofre e 46,6% de ferro tendo dureza 6. Lima (2012) estudou a aplicação do enxofre na indústria de cimento, mas não na sua composição e sim no processo de fabricação.

O Cobalto, que além de ser resistentes tem elevada dureza, é mais comumente encontrado nos minerais cobaltita (CoAsS) e esmaltita (CoAs_3); ambos associados ao Arsênio, o qual apresenta riscos para a saúde, podendo contaminar a água. Gonçalves (2011) verificou que a contaminação da água por arsênio pode ocorrer até mesmo de forma natural. Embora apenas umas das seis amostras pesquisadas apresentou cobalto, é necessário aprofundar mais a pesquisa nesse sentido em Juruti.

O nióbio é outro elemento bastante resistente à corrosão, inclusive a altas temperaturas. Por isso, materiais resistentes à corrosão podem ser obtidos com adição de nióbio em sua composição (MARTINS e SANTOS, 2013).

Ao todo a espectrometria de fluorescência de raios-x aplicado às amostras encaminhadas para o laboratório detectou a presença de 13 elementos químicos distintos através dos seus óxidos. Em ordem alfabética dos seus símbolos, os elementos encontrados foram: Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Cloro (Cl), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Enxofre (S), Ferro (Fe), Nióbio (Nb), Potássio (K), Silício (Si), Titânio (Ti), Vanádio (V) e Zircônio (Zr).

O gráfico 01 ilustra a composição média das amostras de rejeito de bauxita com o percentual em termos de massa. Nesse gráfico é possível identificar claramente os quatro elementos mais abundantes nas amostras. Como a quantidade dos elementos traços totaliza 0,647%, esse valor foi denominado “outros” e detalhado, também em forma percentual, no gráfico 02 para facilitar a visualização e a comparação de cada um dos demais nove elementos identificados nas amostras.

Gráfico 01. Composição do rejeito da bauxita (em %)

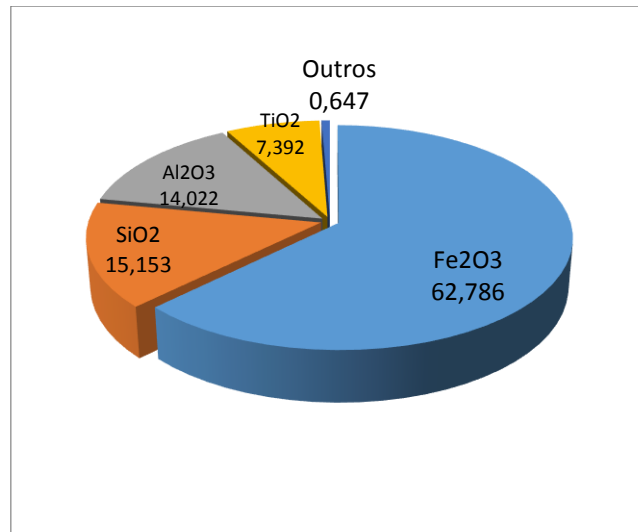
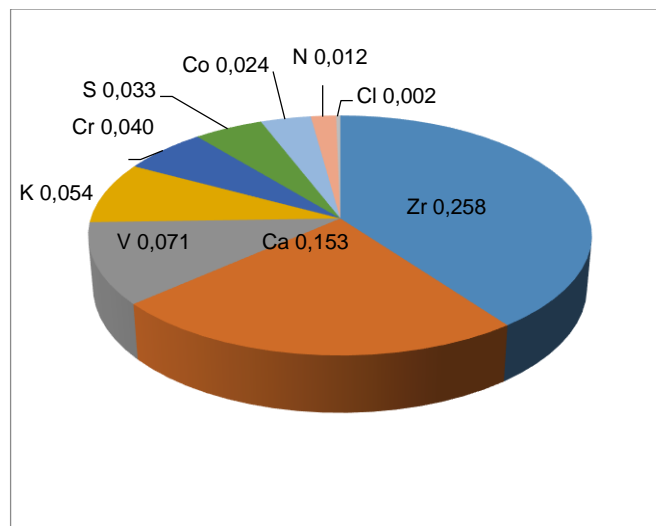


Gráfico 02. Elementos Traços no rejeito da bauxita (em %)



3.2 Difractometria de Raios-X

Os difratogramas de raios-x são capazes de fornecer informações sobre os principais minerais presentes nos rejeitos. A figura 26 mostra os difratogramas gerados pelas cinco primeiras amostras.

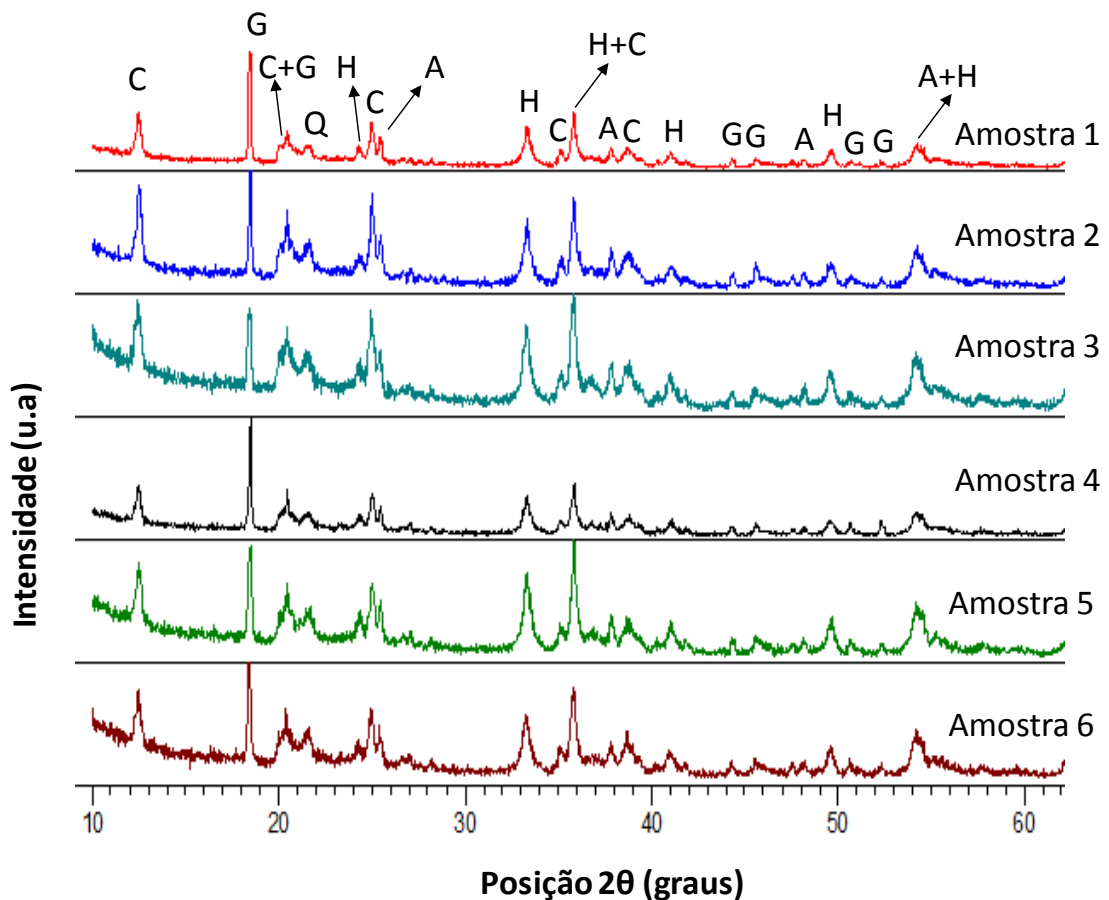


Figura 26: Difratomogramas com identificação dos picos.

Os principais minerais encontrados no rejeito da bauxita são:

- G= Gibbsita: $\text{Al}(\text{OH})_3$
- H= Hematita: Fe_2O_3
- C= Caulinita: $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- A= Anatásio. TiO_2
- Q= Quatzo: SiO_2

É possível identificar nos difratogramas de todas as amostras 23 picos com intensidade significativa, sendo 6 de gibbsita, 6 de hematita, 5 de caulinita, 4 de anatásio e 1 de quartzo. Tal identificação dos picos está de acordo com o trabalho de Antoniassi (2010), que estudou o minério de bauxita da mina de Porto Trombetas, PA, utilizando difração de raios-x com refinamento Rietveld.

É importante ressaltar que a quantidade de picos de cada fase cristalina não está relacionada com o percentual da fase nas amostras. No entanto, a intensidade dos picos fornece uma indicação da significância da fase cristalina na amostra, embora não seja o único fator que contribui para o percentual da fase na amostra. O percentual das fases cristalinas na amostra é possível ser determinado utilizando o refinamento pelo método Rietveld, porém neste trabalho não foi possível fazer este tipo de análise devido à quantidade de fases cristalográficas identificadas na amostra.

Os picos correspondentes à gibbsita foram identificados com base no padrão ICSD 027698, com estrutura cristalina monoclinica e grupo espacial P21/n. A hematita foi identificada com base no padrão ICSD 201098, com estrutura cristalina romboédrica e grupo espacial R-3c. A caulinita por sua vez foi identificada com base no padrão JCPDF 00-029-1488, com estrutura cristalina monoclinica, e grupo espacial C*/*. O anatásio foi identificado com utilizando-se o padrão JCPDF 01-073-1764, com estrutura cristalina tetragonal e grupo espacial I41/amd. Finalmente o quartzo foi identificado através do padrão JCPDF 00-027-0605, com estrutura cristalina cúbica e grupo espacial Fd3m.

Usando espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), Pontes, Santos e Figueira (2015) também encontraram as mesmas cinco fases minerais em estudos preliminares de caracterização com rejeitos de bauxita da mina de Juruti.

Também usando a difração de raios-x, sete fases minerais foram identificadas na bauxita (*in natura*) de Juruti por Arenare (2009): gibbsita, caulinita, hematita, goethita, magnetita, anatásio e bohemita. Três dessas fases (goethita, magnetita e bohemita) não foram encontradas no rejeito. Por outro lado, o rejeito apresentou quartzo, que não foi identificado na bauxita.

O maior pico foi registrado para a gibbsita, porém os picos mais frequentemente identificados são de hematita. Caulinita também apresenta vários picos, enquanto o anatásio e quartzo são claramente as fases minoritárias.

Com isso, constata-se que o rejeito do beneficiamento da Alcoa em Juruti, tal qual a própria bauxita, apresenta grande fração gibbsitica ($\text{Al}(\text{OH})_3$), associada aos minerais de caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e hematita (Fe_2O_3), contendo uma pequena quantidade de anatásio (TiO_2) e quartzo (SiO_2).

A gibbsita é um hidróxido de alumínio constituído de óxido de alumínio e água, na seguinte proporção:



Massas Atômicas: Al = 26,98; O = 16 e H = 1,008

$$2\text{Al}(\text{OH})_3 = 2 \times [26,98 + (16 + 1,008) \times 3] = \mathbf{156,008}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = (26,98 \times 2) + (16 \times 3) = \mathbf{101,96}$$

$$3\text{H}_2\text{O} = 3 \times [(1,008 \times 2) + 16] = \mathbf{54,048}$$

$$\text{Óxido de Alumínio} = 101,96 / 156,008 = \mathbf{65,36\%}$$

$$\text{Água} = 54/156 = \mathbf{34,64\%}$$

A hematita é um óxido de ferro com cerca de 70% de ferro e 30% de oxigênio.



Massas Atômicas: Fe = 55,85 e O = 16

$$2\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2 \times [(55,85 \times 2) + (16 \times 3)] = \mathbf{319,4}$$

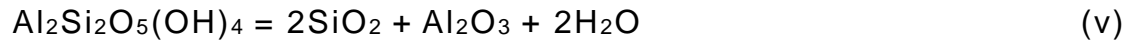
$$4\text{Fe} = 4 \times 55,85 = \mathbf{223,4}$$

$$3\text{O}_2 = 3 \times (16 \times 2) = \mathbf{96}$$

$$\text{Ferro} = 223,4 / 319,4 = \mathbf{69,94\%}$$

$$\text{Oxigênio} = 96 / 319,4 = \mathbf{30,06\%}$$

Já a caulinita é um silicato de alumínio hidratado, sendo formada por sílica, óxido de alumínio e água.



Massas Atômicas: Al = 26,98; Si = 28,08 O = 16 e H = 1,008

$$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 = (26,98 \times 2) + (28,08 \times 2) + (16 \times 5) + (16 + 1,008) \times 4 = \mathbf{258,152}$$

$$2\text{SiO}_2 = 2 \times [28,08 + (16 \times 2)] = \mathbf{120,16}$$

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = (26,98 \times 2) + (16 \times 3) = \mathbf{101,96}$$

$$2\text{H}_2\text{O} = 2 \times [(1,008 \times 2) + 16] = \mathbf{36,032}$$

$$\text{Sílica} = 120,16 / 258,152 = \mathbf{46,54\%}$$

$$\text{Óxido de Alumínio} = 101,96 / 258,152 = \mathbf{39,50\%}$$

$$\text{Água} = 36/258 = \mathbf{13,96\%}$$

O Anatásio é um óxido de titânio com cerca de 60% de titânio e 40% de oxigênio.



Massas Atômicas: Ti = 47,87 e O = 16

$$\text{TiO}_2 = 47,87 + 16 \times 2 = \mathbf{79,87}$$

$$\text{Ti} = \mathbf{47,87}$$

$$\text{O}_2 = 2 \times 16 = \mathbf{32}$$

$$\text{Titânio} = 47,87 / 79,87 = \mathbf{59,93\%}$$

$$\text{Oxigênio} = 32/79,87 = \mathbf{40,07\%}$$

Os compostos de ferro (hematita) e titânio (anatásio) encontrados na bauxita são geralmente insolúveis em soluções básicas e têm pouco efeito na extração seletiva do alumínio. Os compostos de silício presentes na bauxita (caulinita) são rapidamente dissolvidos na etapa de digestão do minério. A presença de sílica na bauxita pode causar problemas na sua digestão, entre eles, o consumo de NaOH, devido à dissolução e reprecipitação da sílica como um complexo de aluminossilicatos de sódio e à formação de incrustações especialmente em superfícies trocadoras de calor (JESUS 2011).

Kurusu (2009) propôs a utilização da separação magnética nos rejeitos de bauxita. A fração magnética, composta dos minerais de titânio e ferro, poderia ser usada como aditivo para a fabricação de cimento Portland. Já a fração não-magnética, formada principalmente por minerais de silício, poderia ser usada como substituta da areia na construção civil.

Inúmeros pesquisados estudam a aplicação do resíduo de bauxita vem ganhando espaço nas pesquisas científicas e tecnológicas, em associação ao cimento. Podemos citar: Silva Filho, Alves e Da Motta (2007), Antunes, Conceição e Navarro (2011), Ribeiro et al. (2011), Tellesca et al. (2011). Todos porem se referiam ao rejeito do processo Bayer, ou seja, a lama vermelha.

A possibilidade de aplicação dos rejeitos da indústria de alumina como incremento ao cimento já foi constatada em estudos anteriores, demonstrando que a presença de minerais de ferro não é inconveniente. A sugestão de Kurusu (2009) de realizar a separação magnética para se obter um concentrado de hematita e anatásio adicionar ao cimento encareceria o processo.

A proposta que surge, então, é a aplicação do rejeito da lavagem de bauxita da mina de Juruti na composição do concreto, tendo em vista que a hematita, com alto teor de ferro, com dureza entre 6 e 6,5 e o anatásio, com alto teor de titânio, com dureza entre 5,5 e 6 podem ser capazes de proporcionar maior resistência ao concreto.

Há ainda entre os elementos traços o zircônio e o cobalto que também apresentam durezas elevadas. Além disso, o rejeito contém elementos muito resistente à corrosão, como vanádio, cromo nióbio, cobalto, zircônio. Citamos ainda o fato do cálcio, do potássio, e da própria alumina serem utilizados na composição do cimento e do quartzo ser o mineral mais abundante da areia usada na preparação do concreto.

Liberato et al. (2005) afirma que, no caso do rejeito da indústria de alumina, nem é necessário realizar a calcinação para aplicação no cimento Portland, sendo uma alternativa para a utilização de uma grande quantidade deste tipo de resíduo.

3.3 Análise Térmica

A análise termogravimétrica (TGA) foi empregada para realizar uma análise das mudanças nas propriedades físicas e químicas do rejeito. O que se verificou foi a ocorrência de fenômenos químicos, inicialmente desidratação, e também a decomposição, além de oxidação ou redução. A figura 27 mostra a o resultado da análise termal das amostras.

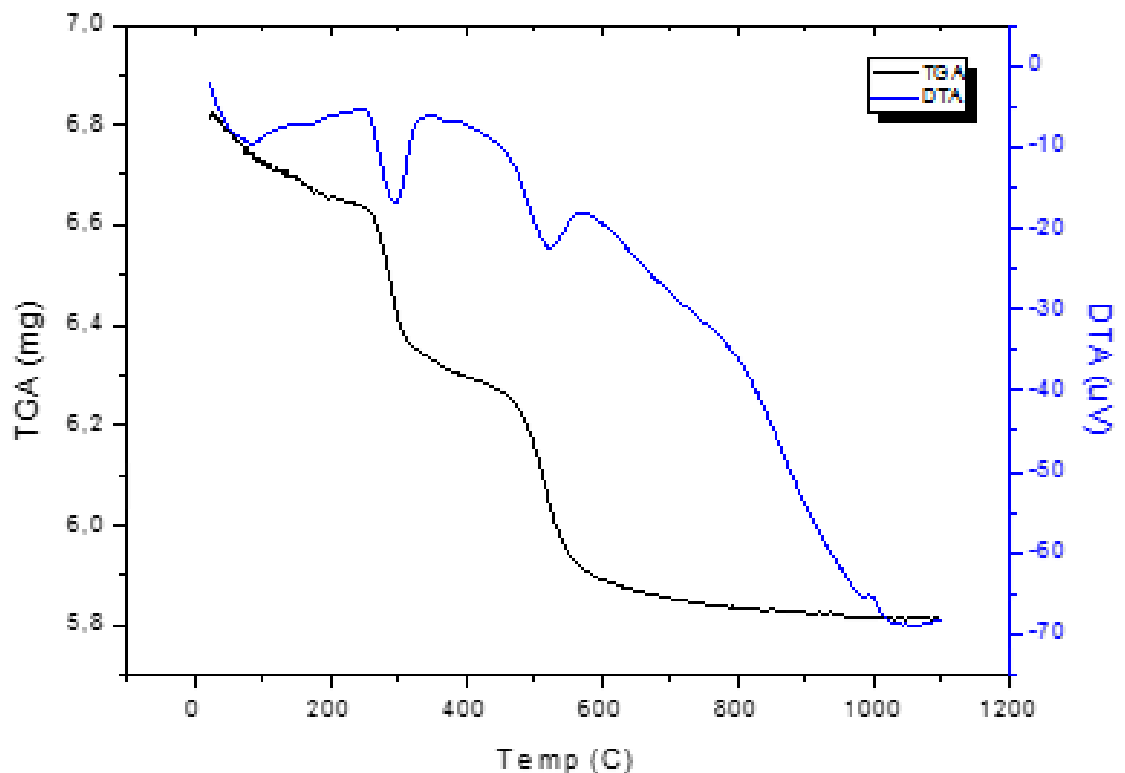


Figura 27: Análise Termal

A análise termal mostrou que ao se aquecer o rejeito até 1100 °C ocorreu uma perda de massa de cerca de 16%. Podemos verificar claramente que os fenômenos ocorreram nos seguintes intervalos de temperatura:

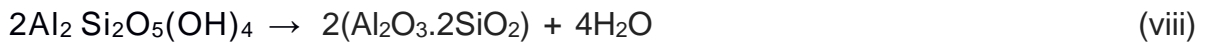
A partir de 590 °C a amostra já está termicamente estável, apresentando uma pequena curvatura até os 1100 °C. Provavelmente cada um desses fenômenos está associado a um dos minerais presentes no rejeito. O termograma mostra que o rejeito apresenta três perdas de massa claramente definidas:

- a) 3,48% entre 30-260 °C
- b) 5,51% entre 260-460 °C
- c) 5,36% entre 460-590 °C

A primeira perda de massa pode ser atribuída a dois fatores: a perda de água livre (temperatura próxima a 100 °C) e a decomposição da gibbsita com a formação de uma alumina de transição (x -Al₂O₃) ou criptocristalina. (250 °C) seguindo a reação:



A última perda de massa está associada à saída da água de constituição da caulinita, formando a metacaulinita, de acordo com a reação:



Já a análise termal através da DTA apresenta sete pontos relevantes, representados nos seguintes intervalos de temperatura:

- I. 30-100 °C
- II. 100-260 °C
- III. 260-300 °C
- IV. 300-340 °C
- V. 340-540 °C
- VI. 540-600 °C
- VII. 600-1100 °C

Temos diminuição do volume em I, III, V e VII. Já nos intervalos II, IV e VI ocorre aumento de volume.

No intervalo I, que vai até 100 °C, claramente a diminuição do volume se deve à desidratação, tendo em vista que coincide exatamente com o ponto de ebulição da água.

O aumento volumétrico observado entre 100 e 260 °C coincide com o limite da primeira perda de massa verificado na curva de TG, podendo então inferir que se deve ao mesmo fenômeno, ou seja, decomposição da gibbsita com a formação de uma alumina de transição, que se consolida a cerca de 250 °C.

Nos intervalos 260 – 300 °C e 300 -340 °C ocorre uma rápida redução de volume seguida de um aumento igualmente rápido, inclusive os intervalos de temperatura de ambos é o mesmo, cerca de 40 °C. Com isso, o volume a 340 °C volta a ser igual ao volume à 260 °C.

Na curva DTA o evento endotérmico observado a entre 600 e 1200°C é atribuído a fenômeno físico, pois nenhuma variação de massa é observada nessa temperatura. O aspecto desse evento térmico é característico de processo de cristalização. Esse fenômeno físico deve estar relacionado a transição da fase do anatásio para o rutilo, pois a literatura, embora seja divergente, aponta que isso ocorre entre 670 e 1200 °C.

IV CONCLUSÃO

A preocupação ambiental tem ganhado cada vez mais espaço nas atividades de mineração e casos recentes de rompimento de barragens de rejeitos de bauxita em Mirai (em 2006 e 2007) e minério de ferro em Mariana (2015), ambos em Minas Gerais, trazem à tona o debate sobre a composição mineralógica dos materiais descartados após o beneficiamento mineral.

No caso da mina de bauxita de Juruti isso não é tão preocupante devido a dois fatores. O primeiro se refere ao fato de não haver a adição de nenhum produto químico ao longo de todo o processo de beneficiamento. O segundo fator diz respeito à própria barragem de rejeito, pois a mesma tem uma capacidade volumétrica relativamente pequena quando comparada às bacias de os minérios.

Além disso, o fato dessas bacias de rejeitos serem fechadas e sua área ser até mesmo revegetada mostra que oferece um menor potencial ofensivo ao meio ambiente. Por outro lado, a busca de aproveitamento dos rejeitos representa a produção de subprodutos e uma diminuição do material descartado, aumentando a vida útil das barragens de rejeito.

Ao realizar a caracterização do rejeito da usina de beneficiamento, a espectrometria de fluorescência de raios-x apontou a presença de 13 elementos químicos, com destaque para ferro, alumínio, silício e titânio. Os demais elementos são zircônio, cálcio, vanádio, potássio, cromo, enxofre, cobalto, nióbio e cloro.

Não se verificou a presença de elementos que possam representar ameaça de dano ao meio ambiente. Mas o cobalto encontrado em uma das amostras pode ser visto como um indicativo da presença de arsênio, tornando necessário, portanto, a realização de estudos mais profundos sobre a presença desse elemento, pois isso pode demonstrar um risco de contaminação das águas subterrâneas decorrente da percolação.

A difração de raios-x leva-nos à conclusão que, tal qual o minério de alumínio, o rejeito do beneficiamento da Alcoa em Juruti, é formado

por uma grande fração de gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), que está associada à caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) e à hematita (Fe_2O_3), contendo também uma porção menor de anatásio (TiO_2), além de apontar a presença de quartzo.

Sendo a sílica presente na caulinita e no quartzo um deletério para o minério de alumínio e sabendo que seu teor aumenta com a redução da granulometria, percebe-se que o aproveitamento da gibbsita a partir do seu rejeito da lavagem de bauxita é economicamente proibitivo.

Por outro lado, a hematita que é composta por 70% de ferro e o Anatásio, que tem na sua composição 60% de titânio apresentam a alta dureza como uma característica comum. Tendo em vista que a lama vermelha, resíduo gerado na produção de alumina, está sendo empregado na em misturas para cimento, um possível uso do rejeito do beneficiamento da bauxita é como um dos componentes do concreto, substituindo parte da areia, com o intuito de aumentar sua resistência.

A presença, entre os elementos traços, de anticorrosivos como o cromo, vanádio, cromo nióbio, cobalto, zircônio e elementos que já fazem parte da composição do concreto, seja no cimento como o cálcio e o potássio, seja na areia, como o silício, reforçam a ideia da possível aplicação do rejeito da mineração em Juruti como agregado para a construção civil, na composição do concreto.

A análise termogravimétrica foi importante para corroborar essas informações. Os resultados obtidos mostram que as mudanças de fases e de massa começam a ocorrer de maneira mais significativa com temperaturas em torno de 300°C . Como a preparação do concreto não envolve temperaturas elevadas essas mudanças de fase não representam impedimento.

A mina de Juruti tem uma produção média de 5 milhões de toneladas de minério lavrado por ano, com recuperação mássica de 70%. Assim o total de rejeito gerado nos 6 anos de operação chega a 9 milhões de toneladas. A possibilidade de utilizar parte desse material significa um aumento na vida útil das barragens de rejeito.

REFERÊNCIAS

ABAL. Associação Brasileira do Alumínio. **História do Alumínio**. Disponível em <<http://www.abal.org.br/aluminio/historia-do-aluminio/>>. Acesso em 14 mai. 2015.

ABPM. Associação Brasileira de Empresas e Pesquisa Mineral. **BAUXITA**. Disponível em <<http://www.abpm.net.br/downloads>> acesso em 25 ago. 2014.

ALCOA. **Juruti**. Disponível em https://www.alcoa.com/brasil/pt/info_page/Juruti.asp> Acesso em 20 de mai. De 2015.

ALMEIDA, Luciana. **Ibama multa Alunorte por vazamento de rejeitos em córrego de Barcarena**. Ibama, 29 abr. 2009. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/2009/04/ibama-multa-alunorte-por-vazamento-de-rejeitos-em-corrego-de-barcarena/>> Acesso em 06 mai. 2015.

AMARAL, Alceu M. **Relatório de Tarefas: Decapeamento na Minas de Juruti**. Centro Técnico de Aprendizagem. Juruti: CTA, 2015.

ANTUNES, M. L. P.; CONCEIÇÃO, F. T.; NAVARRO, G. R. B. **Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de suas Propriedades para Futuras Aplicações**. *In*: International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2011.

ANTONIASSI, Juliana L. **A Difração de Raios X com Método de Rientveld Aplicada a Bauxita de Porto Trombetas, PA**. 111 pag. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. São Paulo, 2010.

ARENARE, D. S. **Caracterização de Amostras de Bauxita Visando a Aplicação de Métodos de Concentração Gravítica**. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia. Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

BATISTA, Cristina C. **Relatório de Tarefas: Britagem Primária e Secundária**. Centro Técnico de Aprendizagem. Juruti: CTA, 2014.

BIONDI, J. C. **Processos Metalogenéticos e os Depósitos Minerais Brasileiros**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

BRASIL. **Resolução Nº 29, de 11 de dezembro de 2002** - Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/29_2002_diretrizes_outorga_agua_mineral.pdf>. Acesso em 14 mai. 2015.

BRELAZ, Jânio S. **Relatório de Tarefas: Coleta de Amostras para Determinação de Teores**. Centro Técnico de Aprendizagem. Juruti: CTA, 2013.

LIBERATO, Caio C. **Efeito da calcinação do resíduo de bauxita nas características reológicas e no estado endurecido de suspensões com cimento Portland**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 53-61, out./dez. 2012.

CAVALCANTI NETO, Mário T. O. e ROCHA, Alexandre M. R. **Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**– Natal/RN: Editora do IFRN, 2010.

CETEM. Centro de Tecnologia Mineral. **Rompimento de barragem da Mineradora Rio Pomba Cataguases afeta qualidade da água em MG e no RJ**. Disponível em <<http://verbetes.cetem.gov.br/verbetes/ExibeVerbete.aspx?verid=107>> Acesso em 20 mai. 2015.

COELHO, José Mário. **Projeto de Assistência Técnica ao Setor de Energia: Outras rochas e minerais industriais**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT46_Perfil_da_Fluorita.pdf/e6daf01b-abb8-487f-a478-960bf3682a6c>. Acesso em 14 mai. 2015.

COIMBRA. Universidade de. **Alumínio: História**. Disponível em <<http://nautilus.fis.uc.pt/st2.5/scenes-p/elem/e01310.html>>. Acesso em 14 mai. 2015.

CONSTANTINO, V.R.L. *et al.* **Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita**: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. *Química Nova*, Vol. 25 (3), p.490-498, 2002. São Paulo: SBQ, 2002.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Arrecadação da CFEM por substância**. Disponível em <https://sistemas.dnpm.gov.br/arrecadacao/extra/Relatorios/arrecadacao_cfem_substancia.aspx> acesso em 20 jan. 2016.

FERREIRA, Andson P. **Impactos Sociais e Econômicos da Implantação da Mina de Juruti**. *in* 6º Simpósio Brasil-Alemanha de Desenvolvimento Sustentável. Santa-rém, 2013.

FERREIRA, Marinete S. **Relatório de Estágio: Beneficiamento na Mineração Rio do Norte**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará- PA. Santa-rém: IFPA, 2014.

FONSECA, J. J. L. e ESTEVES, A. **Influence of bauxite tailings on the structure of the benthic macroinvertebrate community in an Amazonian Lake (Lago Batata, Pará - Brazil)**. *Rev. Bras. Biol.*; 59(3); 397-405; 1999-08.

GIANNINI, P.C.F. **Depósitos e Rochas Sedimentares**. In: Teixeira, W.; Toledo, M. C.M.; Fairchild, T. R.; Taioli, F. (Orgs.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap. 14, p.285-301.

Gonçalves, J.A C. **A Contaminação Natural por Arsênio em Solo e Água Subterrânea na Área Urbana de Ouro Preto (MG)**. 2011.98 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pará: Juruti**. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150390&se-arch=para|juruti>> Acesso em 20 de jan. de 2016.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 6º Edição. 2011. Disponível em <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001669.pdf>> Acesso em 14 mai. 2015

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Mineração e Meio Ambiente**. Belo Horizonte: IBRAM, 1987.

JESUS, Carolina P. C. **Caracterização da lama vermelha e sua aplicabilidade no tratamento do corante têxtil Reativo Azul 19** 2011, 114f Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2011.

KURUSU, Renata S. *et al.* **Concentration of bauxite fines via froth flotation**. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, 62(3): 271-276, jul. set. 2009.

LEMES, Rosimeire. **Intemperismo e Erosão em Áreas Degradadas pela Mineração**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2014.

LEONARDI, Fernanda A; LADEIRA, Francisco S. B e SANTOS, Marcilene. **Perfis Bauxíticos do Planalto de Poços de Caldas SP/MG: Análise Geoquímica e Posição na Paisagem**. Revista de Geografia (Recife), Vol. 27, No 1.Esp, 2010.

MARTINS, Victor M. e SANTOS, Givanildo A. **A Importância do Nióbio nas Propriedades do Aço**. Sinergia, São Paulo, v. 14, n. 3, p. 191-196, set./dez. 2013

MÁRTIRES, Raimundo A. C. **Alumínio**. In Anuário Mineral Brasileiro 2010. DNPM. Brasília. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/assuntos/ao-publico/anuario-mineral/arquivos/ANUARIO_MINERAL_2010.pdf>Acesso em: 20/01/2016.

LIMA, Rondinelli N. **Avaliação da Incorporação de Enxofre no Clínquer em um Forno de Cimento**. 2012.109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

O IMPACTO. **Fundo Juruti Relança Edital e Convoca Interessados**. Disponível em <<http://www.oimpacto.com.br/desenvolvimento/fundo-juruti-relanca-edital-e-convoca-interessados/>> Acesso em 20 de mai. De 2015.

PAULA, Érica. C. M. **Atributos de Substratos com Rejeito de Lavra de Bauxita Cultivados com Puerária (*Pueraria phaseoloides*) e Braquiaria (*Brachiaria decumbens*) em Barro Alto, Goiás**. 2010.160 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

PMJ, Prefeitura Municipal de Juruti. **Localização**. Disponível em <<http://www.pmjuruti.pa.gov.br/portal1/municipio/localizacao.asp?ildMun=100115063>> Acesso em 20 de mai. De 2015.

PONTES, Tatiana A; SANTOS, Manoel R. P; FIGUEIRA, Bruno A. M. **Estudos Preliminares de Caracterização Tecnológica de Rejeitos da Mina de Juruti – PA**. VI Jornada Acadêmica Da UFOPA. Santarém, 2015.

QUARESMA, Luiz F. **Projeto de Assistência ao Setor de Energia: Cadeia do Alumínio**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P37_RT62_Perfil_do_Alumxnio.pdf/0714cb96-3c40-413c-8091-817ce96aa7c7> Acesso em 19 mai. 2015.

RIBEIRO, D. V. *et al.* **Estudo de Eventuais Patologias Associadas ao Uso da Lama Vermelha em Argamassas Colantes e de Revestimento**. Cerâmica Industrial, v. 16, n. 1, p. 31-42, jan./fev. 2011.

SAMPAIO, João A. e NEVES, Carlos H. B. **Bauxita – M S. L. Minerais S.A. in Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM, 2002. p 307-314.

SAMPAIO, João A.; ANDRADE, Monica C.; e DUTRA, Achilles J. B. **BAUXITA**. In Luz, Adão B. da. **Minerais e Rochas Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. p 279-304.

SANTANA, André L. **Sumário Mineral 2014: Alumínio**. Belém: DNPM, 2014.

SERMETAL. **História do Alumínio**. Disponível em <<http://www.sermetalaluminio.com.br/aluminio.aspx>>. Acesso em 14 mai. 2015.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M.C.M.; DA MOTTA, M. **Lama Vermelha da Indústria de Beneficiamento de Alumina: Produção, Características, Disposição e Aplicações Alternativas**. Matéria, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 322-338, 2007.

SILVA, Maria L. M. C. e OLIVEIRA, Sônia M. B. **Caracterização Mineralógica e Química das Bauxitas de Nazaré Paulista (São Paulo)**. Revista Brasileira de Geociências. 22 (1): 93-99, mar. 1992.

SOUZA, Douglas S. **Relatório de Tarefas: Amostragem em Canaletas**. Centro Técnico de Aprendizagem. Juruti: CTA, 2014.

TELESCA, A. *et al.* **Calcium Sulfoaluminate Cements Obtained From Bauxite-Free Raw Mixes**. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON THE CHEMISTRY OF CEMENT, 13. Madrid, 2011.