

# ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E BENEFICIAENTO DA BAUXITA MARGINAL DO NORDESTE DO PARÁ

## PEDRO HENRIQUES CARDOSO DOS SANTOS

Aluno de Graduação da Escola de Química, 4º período, UFRJ  
Período PIBIC/CETEM: agosto de 2012 a julho de 2013,  
phsantos@cetem.gov.br

## JOÃO ALVES SAMPAIO

Orientador, Eng. de Minas, D.Sc.  
jsampaio@cetem.gov.br

## FERNANDA ARRUDA NOGUEIRA GOMES DA SILVA

Coorientadora, Química, D.Sc.  
fnogueira@iq.ufrj.br

### 1. INTRODUÇÃO

A rocha bauxita compõe-se de uma mistura impura de minerais de alumínio. Sua formação ocorre segundo processos de intemperismo ao qual a superfície da crosta terrestre está submetida. As camadas ditas marginais – nodular, nodular cristalizada, cristalizada amorfa e amorfa – possuem elevado teor de impurezas e seu aproveitamento carece de tecnologias especiais (KRONBERG *et al.*, 1982 e KOTSCHOUBEY *et al.*, 2005). O processo convencional de beneficiamento de bauxita consiste na remoção da lama natural, que se inicia com as etapas de britagem, seguida da remoção da fração fina ( $< 37\mu\text{m}$ ) por peneiramento ou classificação. Todavia, este processo não remove completamente o ferro nem a sílica reativa (SMITH, 2009).

### 2. OBJETIVOS

Neste trabalho propõe-se um estudo de caracterização da camada de bauxita nodular do Nordeste do Pará, aliado ao desenvolvimento de um processo de beneficiamento, que torne grande parte desse bem mineral economicamente aproveitável pelo processo Bayer.

### 3. METODOLOGIA

A amostra global, *run of mine*, da camada nodular (BN) foi preparada de acordo com as especificações do processo Bayer seguindo dois estágios. Inicialmente, foi realizada a britagem primária em britador de mandíbulas seguido de classificação por peneiramento (3,3 mm). O segundo estágio envolveu uma segunda classificação (1,68 mm), na qual a fração abaixo de 1,68 mm foi peneirada a úmido ( $37\mu\text{m}$ ) para remoção da fração fina. A fração acima de 1,68 mm passou por britagem secundária em britador de rolos liso, operando em circuito fechado, até total classificação abaixo de 1,68 mm. As frações acima de  $37\mu\text{m}$  foram somadas e a amostra resultante foi homogeneizada em pilha prismática e quarteada.

Amostras de 1 kg provenientes do produto final da preparação foram submetidas a ensaios de moagem, nos quais foi utilizado um moinho de barras de aço inoxidável, contendo 10 barras de 20 mm de diâmetro, com 1 L de água, operando a 75 rpm. Nesta etapa, variou-se o tempo de moagem de 0 a 25 minutos. Após cada ensaio de moagem, foram realizados ensaios de análise granulométrica a úmido utilizando-se peneiras de abertura desde 1.200 mm até  $37\mu\text{m}$ , segundo a série *Tyler* em peneirador vibratório suspenso operando a 684,5 rpm.

Durante os ensaios, foram obtidas diferentes amostras: a amostra BN, obtida após a britagem primária, a amostra de trabalho (BNAT), resultante da remoção da fração fina ( $< 37\mu\text{m}$ ), junto às suas diversas frações; e a amostra preparada para o processo Bayer (BNPB), obtida após os ensaios de moagem. Todas as amostras geradas foram submetidas à caracterização mineralógica

com o uso das técnicas de difração de raios X (DRX), espectroscopia de absorção vibracional no infravermelho (IV) e fluorescência de raios X (FRX).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bauxita nodular é composta por grânulos pisólitos ferruginosos associados à quantidade variável de bauxita fina de aspecto porcelanato. Os pisólitos possuem textura fina, dureza mediana e coloração avermelhada arroxeadada e vermelho tijolo (KOTSCHOUBEY *et al.*, 2005). As amostras BN, BNAT e suas frações foram caracterizadas por meio da técnica de DRX, Figura 1, com objetivo de compreender a distribuição dos minerais que compõem esta rocha de acordo com a granulometria. As fases mineralógicas que compõem esta rocha foram então determinadas. Esta bauxita é essencialmente gibbsítica e encontra-se associada aos minerais caulinita e hematita.

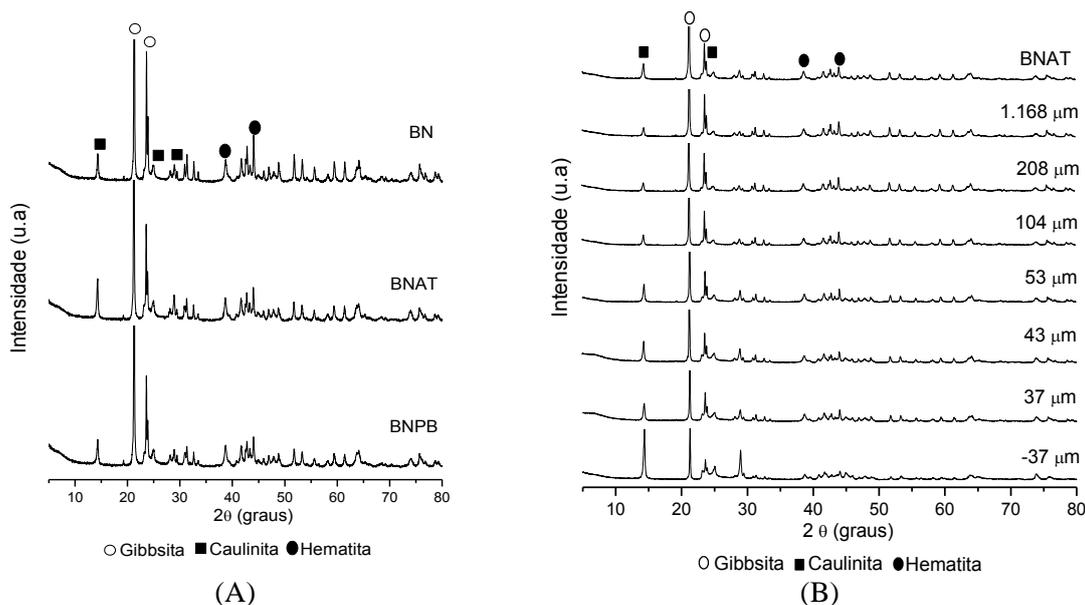


Figura 1. Difratogramas de raios X, radiação  $\text{Co K}\alpha$ , das amostras de bauxita. Em (A) as amostras BN, BNAT e BNPB e, em (B), BNAT e suas frações.

A análise dos resultados, Figura 1(A), evidenciou que as etapas de preparação não promovem mudanças mineralógicas ou alterações significativas na estrutura cristalina das fases desta bauxita. Entretanto, observa-se por meio da Figura 1(B), que nas frações mais grossas os picos associados à gibbsita são mais intensos quando comparados aos picos relacionados aos minerais caulinita e hematita, ressaltando que a intensidade dos picos dos minerais desta amostra foi padronizada com base no pico  $23,62^\circ$  ( $2\theta$ ) da gibbsita. À medida que a amostra vai se tornando mais fina, a intensidade dos picos relacionados à caulinita aumenta significativamente. Já a intensidade dos picos relacionados à hematita varia pouco entre as frações, indicando que este mineral encontra-se distribuído por todas as frações granulométricas.

A espectroscopia vibracional no infravermelho foi utilizada como técnica complementar à DRX. A análise dos resultados para as amostras referentes à distribuição granulométrica da BNAT revelou para as frações mais finas aumento de intensidade nas bandas verificadas em  $3.696$  e  $3.652\text{ cm}^{-1}$ , que são atribuídas ao modo de estiramento O-H da caulinita, da banda em  $1.035\text{ cm}^{-1}$ , característica do estiramento das ligações Si-O da caulinita, e da banda em  $914\text{ cm}^{-1}$ , referente ao modo de deformação do grupo Al-O-H da caulinita. Já as bandas em  $3.526$ ,  $3.460$  e  $3.390\text{ cm}^{-1}$ , atribuídas ao estiramento O-H da gibbsita e as bandas observadas entre  $1.100$  e  $1.030\text{ cm}^{-1}$ , atribuídas à deformação do grupo O-H característico da gibbsita, são mais intensas e definidas nas frações mais grossas. A banda em  $3.620\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento O-H da gibbsita e da caulinita. As bandas observadas nas regiões próximas a  $3.452$ ,  $750$ ,  $540$  e  $468\text{ cm}^{-1}$  com o mesmo perfil, no tocante intensidade, para todas as frações granulométricas analisadas,

são referentes ao estiramento O-H da hematita. (FISCHER AND SCHWERTMANN, 1975, MAREL AND BEUTELSPACHER, 1976, KLOPROGGE *et al.*, 2002, SILVA *et al.*, 2009).

Com o objetivo de determinar a composição química da bauxita nodular e de como os teores variam de acordo com as etapas de preparação da amostra, foi realizada a análise química por FRX, Tabela 1. A análise dos resultados para a amostra de trabalho (BNAT) e de suas frações granulométricas denota que os teores de  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $Fe_2O_3$ , variam de 39,2 a 49,7; 6,2 a 25,8; e 15,9 a 20,2%, respectivamente, indicando que as frações mais grossas (>208  $\mu m$ ) possuem maior teor de alumina enquanto as mais finas (<104  $\mu m$ ) maiores teores de sílica. O teor de  $Fe_2O_3$  varia pouco entre as frações, indicando que a hematita, possivelmente, encontra-se associada à gibbsita e a caulinita. Desse modo, os resultados obtidos por meio da DRX estão de acordo com os resultados adquiridos por FRX e IV.

Tabela 1. Composição química elemental da amostra de bauxita e de frações de seu beneficiamento.

Amostras	(%)									
	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	$Cr_2O_3$	MnO	$P_2O_5$	$SO_3$	$ZrO_2$	Perda ao Fogo
BN	45,1	14,5	16,3	1,3	0,03	0,02	0,02	0,07	0,14	22,5
BNAT	45,6	11,2	17,7	1,7	0,05	0,04	0,02	0,05	0,19	23,6
1.168 $\mu m$	49,1	6,2	17,8	1,3	0,05	0,03	0,03	0,08	0,12	25,3
208 $\mu m$	48,0	8,2	17,5	1,3	0,04	0,04	0,02	0,07	0,13	24,6
104 $\mu m$	44,8	10,4	18,4	3,6	0,04	0,13	0,02	0,06	0,20	22,3
53 $\mu m$	42,9	14,0	18,5	2,9	0,05	0,09	0,04	0,04	0,92	20,5
43 $\mu m$	42,1	17,0	18,0	2,2	0,07	0,07	0,04	-	0,55	19,9
- 37 $\mu m$	39,2	25,8	15,9	1,7	0,04	-	0,03	0,03	0,10	17,1
BNPB	52,7	10,4	10,9	0,02	0,02	0,16	0,02	0,04	0,10	24,5

Após as etapas de preparação, a amostra BNAT foi encaminhada ao estudo de moagem, cuja finalidade foi ajustar a granulometria da amostra às condições do processo Bayer. Assim, após 20 minutos de moagem, a distribuição do tamanho de partícula da amostra estava de acordo com as condições requeridas ao processo, isto é, aproximadamente 90% das partículas com granulometria inferior a 208  $\mu m$  e 40% com granulometria inferior a 43  $\mu m$ . A amostra moída por 20 minutos foi chamada de Polpa Bayer (BNPB). Os resultados destes ensaios podem ser observados por meio da Figura 2.

As etapas de preparação tiveram como objetivo a adequação da amostra para o desenvolvimento dos trabalhos segundo os processos industriais. A DRX e a FRX informaram a composição mineralógica e química desta bauxita. Assim, a bauxita estudada é essencialmente gibbsítica e está associada aos minerais caulinita e hematita.

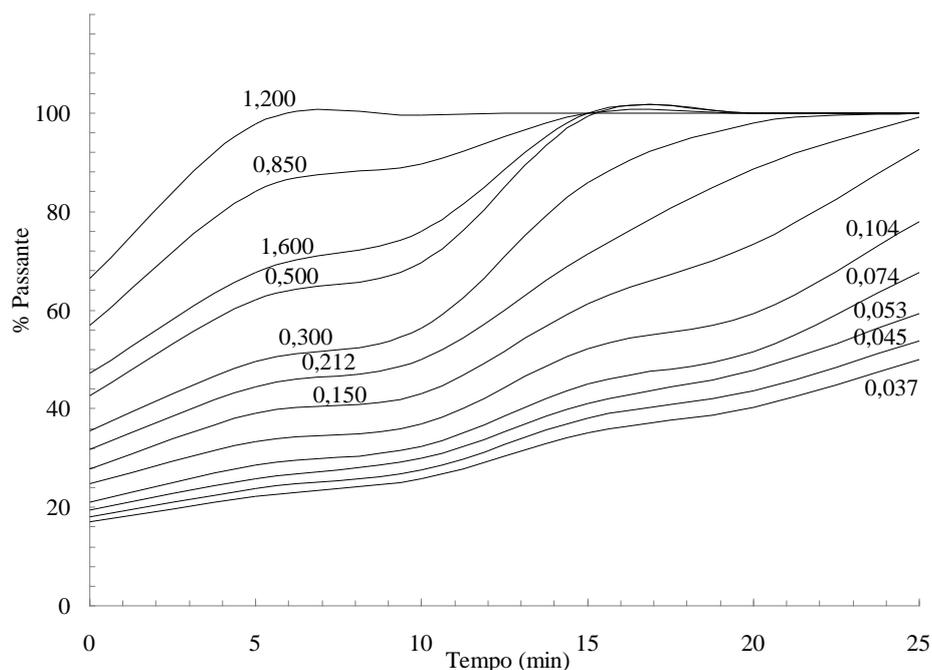


Figura 2. Representação gráfica da Distribuição Granulométrica da amostra BNAT submetida ao estudo de moagem. As aberturas das peneiras estão expressas em milímetros.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/MCT pelo apoio financeiro e aos técnicos e auxiliares de laboratório do CETEM.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FISCHER W. R., SCHWERTMANN, U., **The Formation of Hematite from Amorphous Iron(III)Hydroxide**. Clay and Clay Minerals, Vol. 23. p. 33-37, 1975.
- KLOPROGGE, J. T., RUAN, H. D., FROST, R. L. **Thermal decomposition of bauxite minerals: infrared emission spectroscopy of gibbsite, bohemite and diaspore**. Journal of Materials Science, v. 37, p. 1121-1129, 2002.
- KOTSCHOUBEY, B.; CALAF, J. M. C.; LOBATO, A. C. C.; LEITE, A., S. E AZEVEDO, C. H. D. Caracterização e Gênese dos Depósitos de bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, Noroeste da bacia do Grajaú, Nordeste do Pará/Oeste do Maranhão”. In: MARINI, O. J., QUEIROZ, E. T., RAMOS, B. W. (Eds) Caracterização de Depósitos Minerais em Distritos Mineiros da Amazônia. Cap. 11, p. 691-782, Brasília, 2005.
- KRONBERG, B. I., FYFE, W., S., MCKINNON, B. J., COUSTON, J. F., FILHO, B. S., NASH, R. A. **Model for Bauxite Formation**. Chemical Geology, 35, p. 311-320, 1982.
- MAREL, H. W., BEUTELSPACHER, H. **Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their Admixtures**, 1 ed., Amsterdam, Elsevier Scientific Publishing Company, 1976, 396p.
- SILVA, F. A. N. G., MEDEIROS, M. E., SAMPAIO, J. A., SANTOS, R. D., CARNEIRO, M. C., COSTA, L. S., GARRIDO, F. M. S. **Technological Characterization of Bauxite from Pará-Brazil**. Light Metals, v. 1, p.139-144, 2009.
- SMITH, P. **The processing of high silica bauxites — Review of existing and potential processes**. Hydrometallurgy, 98, p. 162-176, 2009.