

CARACTERIZAÇÃO DA LAMA DE BAUXITA DA ALUMAR PARA SER UTILIZADA COMO GEOPOLÍMERO

Soares, A. F. B. (1); Menezes, R. R. (2); Cartaxo, J. M. (1); Sousa, B. V. (1)

(1) UFCG; (2) UFPB

arianne120@hotmail.com

Resumo

O processo de Geopolimerização de materiais aluminosilicosos tem motivado diversos trabalhos científicos ao desenvolvimento de materiais com interessantes propriedades termomecânicas. Atualmente, um dos problemas encontrados pelas indústrias responsáveis pela produção de alumínio é o rejeito proveniente do Processo Bayer, conhecido como lama de bauxita. Neste trabalho foi realizada a caracterização da bauxita (in natura) e do resíduo proveniente de dois lagos distintos da empresa ALUMAR para serem aplicados na obtenção de geopolímeros. Através dos resultados da análise por Fluorescência de Raios-X (EDX) observou-se, após o Processo Bayer, a presença de óxidos de sódio, silício, alumínio e ferro em maiores quantidades. Verificou-se através da combinação dos difratogramas e das vibrações obtidas por Espectrometria de Infravermelho a presença dos grupos silicatos e aluminato. Desse modo, o material analisado será ativado e testado como geopolímero.

Palavras-chave: Caracterização, Bauxita, Resíduo, Geopolímero.

1 INTRODUÇÃO

A bauxita, rocha de coloração avermelhada, consiste num material heterogêneo, composto por uma mistura impura de minerais de alumínio (gibbsita $[\text{Al}(\text{OH})_3]$, diásporo $[\text{AlO}(\text{OH})-\alpha]$ e boehmita $[\text{AlO}(\text{OH})-\gamma]$) e óxidos de ferro, sílica, dióxido de titânio, entre outros ^(1,2,3).

A extração da alumina através da bauxita é feita por lixiviação química, método conhecido como processo Bayer ^(4,5). O resíduo insolúvel formado durante a clarificação, chamado genericamente de lama vermelha, é considerado um problema ambiental pelas indústrias de refino da alumina, sendo, geralmente, dispostas em lagoas projetadas especialmente para esse fim, conforme é feito pela indústria ALUMAR, São Luís – MA, porém a disposição não adequada desse resíduo pode acarretar em problemas industriais, como a contaminação da água de superfície e subterrânea por NaOH, ferro e alumínio, por exemplo ⁽⁴⁾.

Dependendo da natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada planta industrial, a composição química da lama vermelha pode variar extensamente. Normalmente, a lama vermelha retém todo o ferro, titânio e sílica presentes na bauxita, além do alumínio que não foi extraído durante o refino ^(6,7).

A lama de bauxita pode ser utilizada na produção de titânio, em compostos betuminosos, para construção de estradas e na melhoria das características termoplásticas de polímeros ⁽⁸⁾. Como também pode ser utilizada como matéria-prima para novos produtos, por exemplo, os geopolímeros.

Geopolímero foi um termo utilizado por Joseph Davidovits, na década de 1980, para designar polímeros sintéticos inorgânicos de aluminosilicatos que procedem da reação química conhecida por geopolimerização. São constituídos por uma malha tridimensional em que os átomos de silício alternam com os de alumínio em coordenação tetraédrica, compartilhando todos os oxigênios ⁽⁹⁾.

Muitos desperdícios industriais, como a lama de bauxita, são minerais inertes no processo de geopolimerização, de modo que a adição de materiais

calcinados pode ativar estes desperdícios industriais, originalmente inertes, para formar geopolímeros mecanicamente fortes ⁽¹⁰⁾.

Os materiais geopoliméricos podem proporcionar desempenho comparáveis aos tradicionais aglutinantes cimentícios em uma variedade de aplicações, mas com a vantagem de reduzir significativamente as emissões poluentes ^(11,12). As aplicações desses materiais estão nas indústrias automobilísticas e aeronáuticas, na fundição não ferrosa e metalúrgica, na engenharia civil, na indústria de plásticos e na remoção de metais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A bauxita (in natura) e os dois resíduos de bauxita de lagoas diferentes foram fornecidos pela empresa ALUMAR (Consórcio de Alumínio do Maranhão).

2.1 Caracterização físico-química.

2.1.1 Espectrômetro de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva.

Esse ensaio consiste em determinar a composição química do material em termos qualitativo e semiquantitativo. O equipamento utilizado foi um Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva - *EDX-700 Shimadzu*. Os elementos com número atômico abaixo de 11 (Na) não podem ser detectados por limitação do método. Os parâmetros de análise estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de análises pelo o EDX.

Método	Qual-Quant
Atmosfera:	He
Canais:	Na-Sc, Ti-U
Amostra:	Pó
Forma do Resultado:	Elemento

2.1.2 Difração de Raios-X

Foi utilizado o método de varredura, que consiste na incidência dos raios X sobre uma amostra em forma de pó, compactada sobre um suporte. O aparelho utilizado foi XRD 6000 da marca Shimadzu, com radiação $K\alpha$ do cobre, tensão de 40KV, corrente de 30mA, tamanho do passo de 0,020 2θ e tempo por passo de 1,000s. A amostra foi varrida na faixa de 2θ de 2 a 50°.

2.1.3 Espectroscopia de Infravermelho

A Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIV) é uma técnica de análise para colher o espectro infravermelho mais rapidamente. Em vez de se coletar os dados variando-se a frequência da luz infravermelha monocromática, a luz IV (com todos os comprimentos de onda da faixa usada) é guiada através de um interferômetro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise Química através do Espectrômetro de Raios X por Energia Dispersiva (EDX)

A Tabela 2 apresenta as composições químicas, na forma de óxidos, das amostras de Bauxita In Natura e do resíduo proveniente de dois lagos distintos da empresa ALUMAR para serem aplicados na obtenção de geopolímeros. O resíduo (1) foi retirado da lagoa 1 e o resíduo (2) é proveniente da lagoa 3.

Tabela 2. Composição química das amostras de Bauxita In Natura e Resíduo de Bauxita

Componentes	Bauxita In Natura	Resíduo	Resíduo 2(%)
Al_2O_3	67.006	19.562	24.879
Fe_2O_3	18.652	30.434	36.648
SiO_2	12.053	12.315	17.728
TiO_2	1.921	2.840	4.128
ZrO_2	0.162	0.276	0.232
SO_3	0.153	0.678	0.223
Cr_2O_3	0.043	0.080	0.093
NbO	0.010	0.012	0.017
C	0.000	0.000	0.000
Na_2O	-	29.635	10.668
CaO	-	2.932	4.595
BaO	-	1.217	0.776
Ga_2O_3	-	0.019	0.013

A partir dos dados da Tabela 2 observou-se, após o Processo Bayer, a presença de óxidos de sódio, silício, alumínio e ferro em maiores quantidades. Todas as amostras possuem alto teor de alumina e sílica, uma vez que são estes os principais constituintes do minério analisado. É possível perceber que o resíduo retirado diretamente da lagoa 1 possui menor teor de alumina evidenciando que o Processo Bayer foi mais ativo para esta amostra.

3.2 Difração de Raios-X (DRX)

Os resultados de difração de raios-X das amostras de bauxita in-natura, do Resíduo 1 e Resíduo 2 são apresentados na Figura 1.

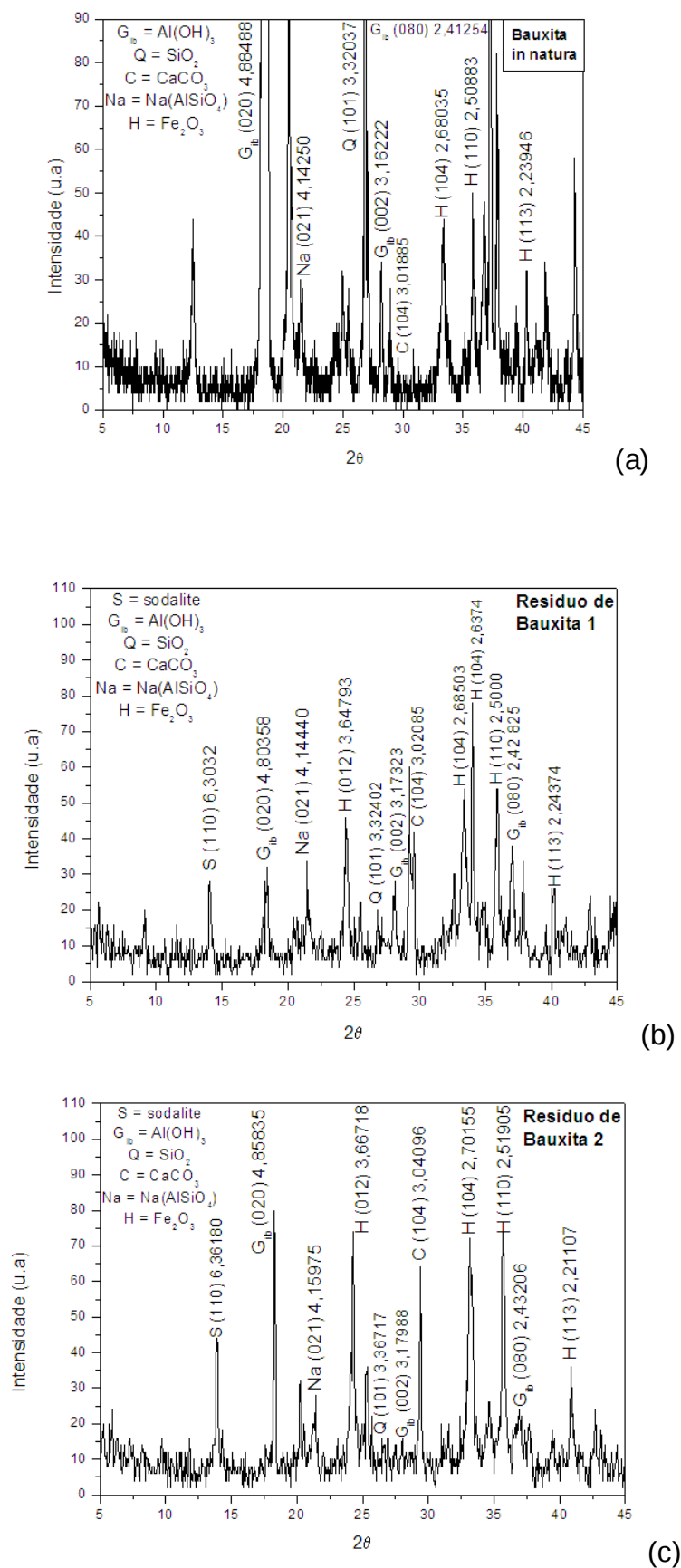


Figura 1. Difratogramas da Bauxita in natura (a), Resíduo de Bauxita 1 (b) e Resíduo de Bauxita 2 (c).

Analisando o difratograma da bauxita *in natura*, Figura 1a, é possível observar picos a (4,88 Å; 3,16 Å e 2,41 Å) característicos da presença de gibbsita $[\text{Al}(\text{OH})_3]$; pico a 2,14 Å evidenciando a presença de alumínio silicato de sódio $[\text{Na}(\text{AlSiO}_4)]$. A presença de sílica $[\text{SiO}_2]$ na bauxita *in natura* foi caracterizada no pico 3,32 Å e, a de calcita $[\text{CaCO}_3]$ no pico 3,01 Å. Os picos (2,68 Å; 2,50 Å e 2,23 Å) são característicos da presença de hematita $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$.

Através dos difratogramas do resíduo 1 (Figura 1b) e do resíduo 2 (Figura 1c) é possível observar picos a 6,3 Å, caracterizando a presença de sodalita $[\text{Na}_4\text{Al}_3(\text{SiO}_4)\text{Cl}]$; picos a (4,80 Å; 3,17 Å e 2,42 Å) no resíduo 1 e (4,85 Å; 3,17 Å e 2,43 Å) no resíduo 2, caracterizando a presença de gibbsita $[\text{Al}(\text{OH})_3]$. A presença de alumínio silicato de sódio $[\text{Na}(\text{AlSiO}_4)]$ é caracterizada pelos picos 4,14 Å, no resíduo 1 e, 4,15 Å no resíduo 2. Os picos 3,32 Å e 3,36 Å são característicos da presença de sílica $[\text{SiO}_2]$ no resíduo 1 e 2, respectivamente. A presença da hematita $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$ foi evidenciada através dos picos (3,64 Å; 2,68 Å; 2,63 Å; 2,5 Å e 2,24 Å) no resíduo 1 e dos picos (3,66 Å; 2,70 Å; 2,51 Å e 2,21 Å) no resíduo 2. Os picos 3,02 Å e 3,04 Å caracterizam a presença de calcita $[\text{CaCO}_3]$ nos resíduos 1 e 2, respectivamente ^(13,14).

3.3 Espectroscopia de Infravermelho

Os resultados da espectroscopia de infravermelho da bauxita *in natura*, do resíduo 1 e resíduo 2, encontram-se na figura 2, abaixo.

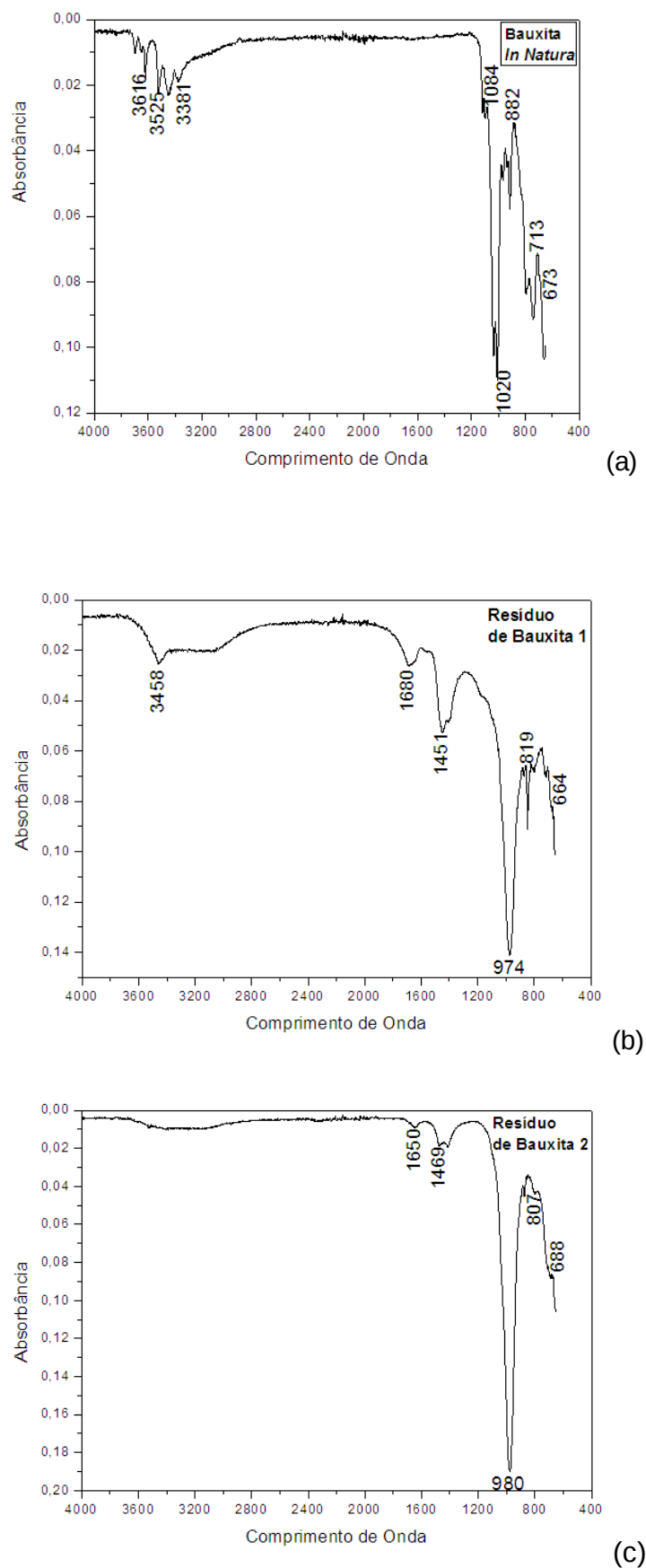


Figura 2. Espectros de transmissão na região do infravermelho (a) Bauxita in Natura (b) Resíduo de Bauxita 1; (c) Resíduo de Bauxita 2.

Para a bauxita *in natura*, espectro representado pela figura 2(a), três bandas de absorção são observadas em 3616, 3525 e 3381 cm^{-1} . Carbonatos geralmente mostram forte absorção na região do infravermelho em 1450-1400 cm^{-1} , bandas de absorção média entre 890 e 800 cm^{-1} e em 760-670 cm^{-1} ⁽¹⁵⁾. Para a bauxita *in natura* uma banda foi observada em 882 cm^{-1} . Cinco frequências vibracionais são esperadas para a calcita: 1444, 1435, 1099, 876, 724 e 712 cm^{-1} ⁽¹⁵⁾. Para a bauxita *in natura* duas bandas foram observadas em 1084 e 713 cm^{-1} . Bandas em 673 cm^{-1} e 1020 cm^{-1} representam vibrações de alongamento das ligações Al-O e vibrações Si-O, respectivamente ⁽¹⁴⁾.

Através dos espectros das amostras de resíduo de bauxita 1 e 2, figuras 2 (b) e (c), respectivamente, pode-se observar que foi detectada uma banda média em 3458 cm^{-1} , para o resíduo 1, e um pico fraco em 1680 cm^{-1} e 1650 cm^{-1} , para os resíduos 1 e 2, respectivamente, devido às vibrações de alongamento do grupo OH e de H₂O molecular. ^(13,14).

As bandas de 1451 cm^{-1} e 1469 cm^{-1} , para os resíduos 1 e 2 respectivamente, ocorrem devido às vibrações de alongamento de CaO, fato que confirma a presença de grupos carbonatos ^(13,14). Bandas de 974 cm^{-1} e 980 cm^{-1} detectadas nos resíduos 1 e 2, respectivamente, correspondem às vibrações Si-O e, bandas de 819 cm^{-1} e 807 cm^{-1} , para os resíduos 1 e 2 respectivamente, correspondem às ligações O-Si-O, fato que comprova a presença de grupos silicatos ⁽¹³⁾. As bandas em 664 cm^{-1} e 688 cm^{-1} , para os resíduos 1 e 2 respectivamente, representam vibrações de alongamento das ligações Al-O ⁽¹⁴⁾.

4. CONCLUSÕES

Verifica-se através do EDX que, após o Processo Bayer, há a presença de óxidos de sódio, silício, alumínio e ferro em maiores quantidades e, o resíduo 1 apresenta menor teor de alumina, fato que evidencia que esse processo foi mais ativo para essa amostra.

Os resultados de DRX confirmaram a presença de óxidos de sódio, silício, alumínio e ferro em maiores quantidades, evidenciando que as duas amostras apresentam características da presença dos grupos silicato e

aluminato. Os espectros dos resíduos analisados apresentam bandas bastante semelhantes com bandas características da presença de hidroxilas, ligações O-Si-O, Si-O e Al-O. Então, verificou-se através da combinação dos difratogramas e as vibrações obtidas por Espectrometria de Infravermelho a presença dos grupos silicatos e aluminato.

Desse modo, através dos resultados das técnicas utilizadas, o resíduo de bauxita pode ser um material precursor para a síntese de geopolímeros, uma vez que este é composto por grupos de silicato e aluminato. Contudo, se faz necessário analisar mais detalhadamente se o geopolímero a base dessa lama teria propriedades termomecânicas e adesivas viáveis.

5. REFERÊNCIAS

- (1) SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C., DUTRA, A. J. B. Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações. Rio de Janeiro – RJ. **Centro de Tecnologia Mineral Ministério da Ciência e Tecnologia**. Capítulo 13. 279, 2005.
- (2) ANJOS, F. V.; SILVA, J. B. As Usinas De Produção De Alumínio da ALCAN no Brasil – Processo Bayer Para Produção De Alumina E Os Processos Eletrolíticos Para A Produção De Alumínio. In: **As usinas brasileiras de metalurgia extrativa dos metais não-ferrosos**, ABM, São Paulo, 1983.
- (3) PAGIN, S.; CERA, D.; ÉRRICO, J. C. D. Alumínio do Minério ao Lingote. In: **As usinas brasileiras de metalurgia extrativa dos metais não-ferrosos**, ABM, São Paulo, 1983.
- (4) SILVA E FILHO, E. B.; ALVES, M. C.; DA MOTTA, M. Lama Vermelha Da Indústria De Beneficiamento De Alumina: Produção, Características, Disposição E Aplicações Alternativas. **Revista Matéria**. 12, 2, 322, 2007.
- (5) HIND, R. A., BHARGAVA, S. K., GROCOTT, S. C., “The Surface Chemistry Of Bayer Process Solids: A Review”, **Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects**, n. 146, pp.359-374, 1999.
- (6) REESE, K. M., CUNDIFF, W. H. “Aluminum Production The First Stage is Alumina”, **Industrial and Engineering Chemistry**. v. 47. n. 9, pp. 1672-1680, 1955.

- (7) MCCONCHIE, D., CLARK, M., DAVIES-McCONCHIE, F., "New Strategies For The Management Of Bauxite Refinery Residues (Red Mud)", In: **Proceedings of the 6th International Alumina Quality Workshop**, Brisbane, Australia, pp. 327-332, 2002.
- (8) PARK, S.; JUN, B. Improvement of Red Mud Polymer-Matrix Nanocomposites by Red Mud Surface Treatment. **Journal of Colloid and Interface**. 284, 204, 2005.
- (9) DAVIDOVITS, J. Ancient and Modern Concretes: What Is The Real Difference? **Concrete International**, v. 9, nº 12, p. 23-35, 1987.
- (10) XU, H.; VAN DEVENTER, J. S. J. Geopolymerisation of Multiple Minerals. **Minerals Engineering**. 15, 1131, 2002.
- (11) DAVIDOVITS, J. Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials. **Journal of Thermal Analysis** 37, 1991.
- (12) TEIXEIRA PINTO, A. **Sistemas ligantes obtidos por ativação alcalina de metacaulino**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade do Minho, Portugal, 2004.
- (13) SAHU, R. C.; PATEL, R. K.; RAY, B. C. Neutralization of Red Mud Using CO₂ Sequestration Cycle. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, p. 28-34. India, 2010.
- (14) GOK, A; OMASTOVÁ, M; PROKES, J. Synthesis and Characterization Of Red Mud/Polyaniline Composites: Eletrical Properties And Themal Stability. **European Polymer Journal**, v. 43, p. 2471-2480. República Checa, 2007.
- (15) PALMER, S. J.; FROST, R. L. Characterisation of Bauxite and Seawater Neutralized Bauxite Residue Using DRX and Vibrational Spectroscopic Techniques. **Journal of Materials Science**, v.44, 2008.

Abstract

The process of Geopolimerization aluminium-siliceous materials has prompted several scientific works to develop materials with interesting thermomechanical properties. Currently, one of the problems encountered by the industries responsible for the production of aluminum is the waste from the Bayer process, known as mud bauxite. In our study, the characterization of bauxite (fresh) and residue from two different lakes company ALUMAR to be applied in obtaining geopolymers. Through the results of analysis by X-ray fluorescence (EDX) was observed after the Bayer process, the presence of oxides of sodium, silicon, aluminum and iron in larger quantities. It was found through a combination of diffraction and vibration obtained by infrared spectrometry the presence of silicates and aluminate groups. Thus, the analyzed material will be activated and tested as geopolymer.

Keywords: Characterization, Bauxite, Waste, Geopolymer.