

## INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA EM ARGILAS PARA A PRODUÇÃO DE AGREGADOS

M. F. M. Aires, A. E. M. Paiva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

Av. Getúlio Vargas, nº 04, Bairro Monte Castelo, São Luís-MA.

[mayara\\_flora@hotmail.com](mailto:mayara_flora@hotmail.com) ou [ernandes@ifma.edu.br](mailto:ernandes@ifma.edu.br)

### RESUMO

*A grande quantidade de resíduos gerados pelas indústrias no mundo todo, motiva a busca por materiais alternativos de forma a minimizar os danos causados ao meio ambiente. Somente nos Estados do Pará e do Maranhão, indústrias de alumínio geram cerca de três milhões de toneladas de resíduos conhecidos como lama vermelha. Estes são armazenados em grandes lagos e representam um perigo ao meio ambiente devido a sua elevada alcalinidade. Neste sentido, a lama vermelha do processo Bayer foi incorporada em argilas provenientes do estado do Maranhão, visando a produção de agregados para concretos da construção civil. Foram preparadas composições com adições de 50, 60 e 70% em peso de resíduo de lama vermelha incorporados à massa argilosa. Os corpos de prova foram prensados uniaxialmente, queimados nas temperaturas de 850°C, 950°C, 1050°C, 1150°C e nestes foram realizados ensaios tecnológicos para a determinação de propriedades físicas e mecânicas.*

*Palavras chave: argilas, agregados, lama vermelha, concreto.*

### 1. INTRODUÇÃO

No estado do Maranhão, em São Luís, uma grande indústria de alumínio, através do processo Bayer de fabricação de alumina, produz grandes toneladas de resíduos, conhecidos como lama vermelha, que são armazenados em imensos lagos. Além de representar um perigo ao meio ambiente devido a sua elevada alcalinidade, a disposição da lama vermelha e a manutenção dos lagos trazem custos elevados para as indústrias de alumínio.

A composição química da lama vermelha varia de acordo com a natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada planta industrial. Geralmente a lama vermelha é composta por  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{CaO}$ . Quanto às fases minerais, as fases como hematita, goetita, magnetita, boemita, quartzo, sodalita, calcita, gibisita, caulinita, gipsita, anatásio, chantalita e halita podem estar presentes <sup>(1-4)</sup>.

A grande quantidade de resíduos, que causam danos ao meio ambiente, gerados por grandes indústrias no mundo todo, motiva a busca por alternativas para tentar reduzir ou solucionar esse problema ambiental. Com o objetivo de controlar e evitar danos ao meio ambiente gerados por esses resíduos, várias pesquisas vem sendo feitas em relação à lama vermelha, seu uso com outros materiais e suas aplicações.

Souza <sup>(5)</sup> avaliou o uso da lama vermelha com sílica e argila na produção de agregados sintéticos para a construção civil; Macêdo et al. <sup>(6)</sup> e Hidelbrando et al. <sup>(7)</sup> estudaram a aplicação da lama vermelha como matéria prima na produção de cerâmica estrutural; Galdino <sup>(8)</sup> estudou os parâmetros de processamento para obter materiais cerâmicos estruturais por extrusão de misturas de argilas e lama vermelha; Sglavo et al. <sup>(9)</sup> permitiram uma visão abrangente do comportamento da lama vermelha sob aquecimento em um intervalo de 120-1400°C; Sglavo et al. <sup>(10)</sup> apresentaram também algumas possibilidades de utilização da lama vermelha em misturas de argila para a produção de corpos cerâmicos.

Neste trabalho foi estudado o potencial de utilização dos resíduos do processo Bayer em argilas como agregados sintéticos para concreto. Para isto, foram processadas formulações utilizando os resíduos de lama vermelha, incorporadas a duas argilas do interior do Estado do Maranhão, visando a produção de agregados para concreto.

As matérias primas para a produção dos agregados sintéticos foram caracterizadas com o objetivo de se conhecer o comportamento físico, químico e mineralógico. Com as melhores formulações produzidas foram moldados agregados e neles foram realizados ensaios de absorção de água, porosidade aparente, massa específica aparente e resistência à flexão antes da britagem.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

No presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais para confecção dos agregados sintéticos: resíduo da bauxita (lama vermelha) proveniente do Consórcio de Alumínio do Maranhão – ALUMAR; duas argilas do nosso estado, denominadas argila A e argila B.

### **2.1 Preparação dos Agregados Sintéticos**

As matérias primas foram submetidas a etapas de moagem por 24 horas e posterior secagem em estufa a 110°C por 24 horas. Em seguida, foi realizada a caracterização das amostras de argila e lama vermelha com o objetivo de conhecer o comportamento físico, químico e mineralógico, de tal forma que se pudesse prever sua melhor utilização.

A formulação das composições foi realizada com a mistura dessas matérias primas em um moinho de bolas por 1 hora. Foram processadas cinco composições com variações de argila e lama vermelha. As formulações foram chamadas de M01 (30%A-70%LV), M02 (40%A-60%LV), M03 (50%A-50%LV), M05 (40%B-60%LV) e M06 (50%B-50%LV). Para cada formulação, foram preparadas quatro amostras para os ensaios físicos e mecânicos.

Os corpos de prova, Figura (1a), foram moldados por prensagem uniaxial a 20 MPa com 5% de umidade, secos em estufa a 110°C por 24 horas e queimados nas temperaturas de 850°C, 950°C, 1050°C e 1150°C em um forno elétrico tipo mufla (taxa de aquecimento de 3°C/minuto e patamar de 3 horas).

Os agregados mostrados na Figura 1b foram produzidos por fragmentação dos corpos de prova em moinho britador de mandíbulas.

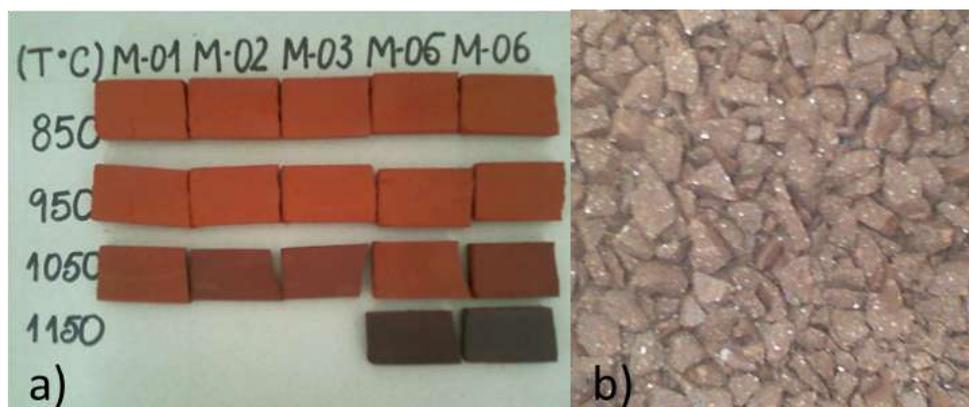


Figura 1. Corpos de Prova (a) e agregados obtidos por britagem (b)

## **2.2 Caracterização das Matérias Primas**

A composição química das matérias primas foi determinada por espectrometria de fluorescência de raios X.

Para a identificação das fases minerais das matérias primas, foi utilizado um difratômetro de raios-x modelo X'PERT PRO (PW 3040/60), da PANalytical, com Goniômetro PW3050/60 (Theta/Theta). O detector utilizado é do tipo RTMS, X'Celerator. Os registros foram realizados no intervalo de 5 a 70° (2 $\theta$ ) com varredura contínua, passo de 0,02 (2 $\theta$ ). A identificação das fases foi realizada buscando-se no banco de dados do PDFICDD (*Powder Diffraction File – International Center for Diffraction Data*).

## **2.3 Caracterização dos Agregados**

Nesta etapa foram realizados os ensaios tecnológicos nas amostras antes de sofrerem a fragmentação em moinho para a determinação das seguintes propriedades: Absorção de Água – AA, Porosidade Aparente – PA e Massa Específica Aparente – MEA, segundo a norma ASTM C 373 – 88 (1999)<sup>(11)</sup> e tensão de ruptura a flexão – TRF, segundo a norma ASTM C 674 – 77 (1977)<sup>(12)</sup>.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela (1) apresenta a composição química das matérias primas utilizada na preparação dos agregados sintéticos.

Tabela 1. Composição química das matérias primas

Composição (%)	Argila A	Argila B	Lama Vermelha
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,85	4,83	31,22
TiO <sub>2</sub>	2,11	0,45	4,55
CaO	0,12	0,11	2,49
SiO <sub>2</sub>	51,10	60,16	14,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,03	19,58	20,77
Na <sub>2</sub> O	1,06	0,45	9,87
K <sub>2</sub> O	0,26	2,43	0,20
MgO	0,47	0,79	3,92
PF	13,00	9,45	12,61

Os resultados da Tabela (1) mostram que as argilas apresentaram maiores concentrações de SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A lama vermelha, apresentou grandes concentrações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, com destaque para o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. A lama vermelha apresentou também teores elevados de material fundente, como o ferro e o sódio, o que permite diminuir sensivelmente a temperatura de sinterização dos corpos de prova <sup>(7)</sup>.

A Figura (2) mostra o difratograma de raios X das argilas A e B e da lama vermelha. Observa-se que as argilas apresentam picos de difração predominantes correspondentes dos argilominerais caulinita – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e do quartzo – SiO<sub>2</sub>. Com relação à lama vermelha, o difratograma mostra que a mesma apresenta uma composição mineralógica variada, com a presença dos minerais: Caulinita (K), Sodalita (S), Hematita (H),

Calcita (C), Anatásio (A), Gibbsita (Gb), Goetita (Gt), Chantalita (Ch) e Halita (Ha).

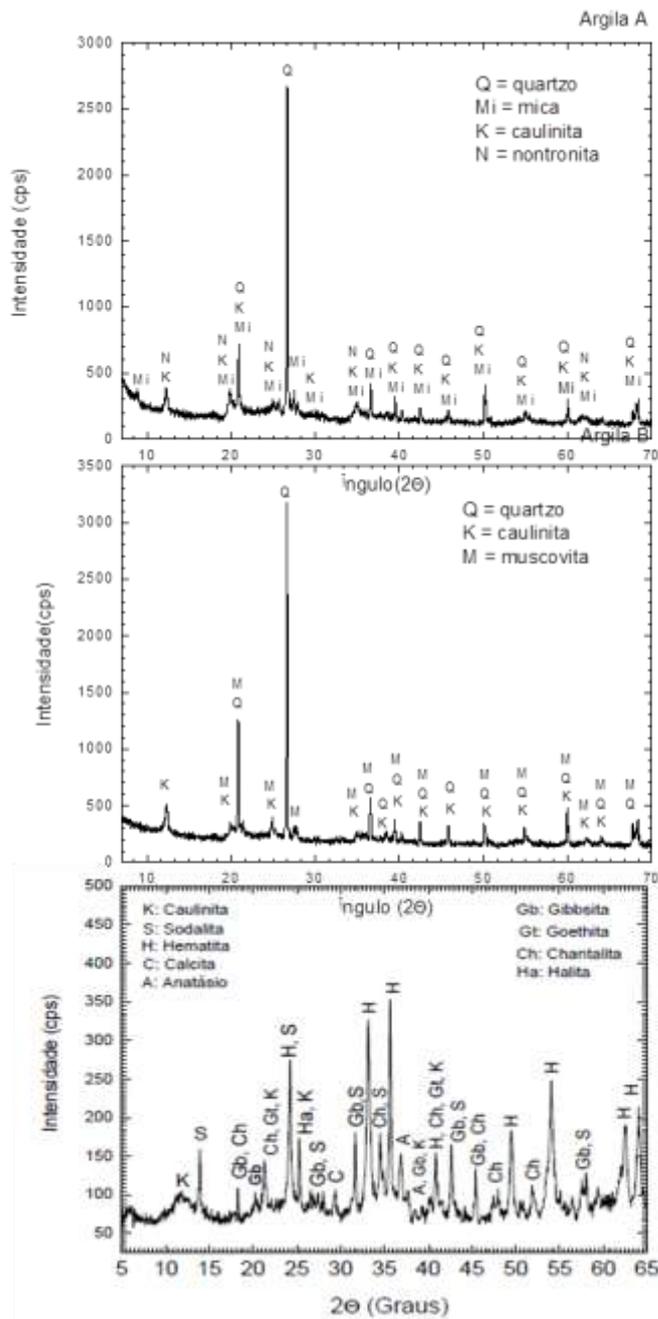


Figura 2. Difração de Raios X das Matérias Primas

As Tabelas (2) e (3) apresentam os resultados da caracterização por resistência a ruptura por flexão (TRF), porosidade aparente (PA), absorção de água (AA) e massa específica aparente (MEA) para as composições de 30%A-70%LV (M-01), 40%A-60%LV (M-02), 50%A-50%LV (M-03); 40%B-60%LV (M-

05), e 50%B-50%LV (M-06), queimadas em temperaturas de 850°C, 950°C, 1050°C e 1150°C.

Tabela 2. Caracterização físico-mecânica das amostras de argila A com diferentes teores de lama vermelha e queimadas em diferentes temperaturas.

Amostras	Temperatura (°C)	TRF (Mpa)	Porosidade Aparente (%)	AA (%)	MEA (g/cm <sup>3</sup> )
70%LV-30%A M-01	850	2,70	38,70	20,91	3,02
	950	4,66	37,25	19,69	3,02
	1050	14,05	21,76	10,39	2,68
60%LV-40%A M-02	850	2,48	37,23	19,84	2,99
	950	4,32	36,00	18,75	3,00
	1050	15,19	22,01	9,23	3,14
50%LV-50%A M-03	850	4,05	34,28	17,78	2,93
	950	5,98	32,67	16,30	2,97
	1050	35,77	5,81	2,14	2,88

Tabela 3. Caracterização físico-mecânica das amostras de argila B com diferentes teores de lama vermelha e queimadas em diferentes temperaturas.

Amostras	Temperatura (°C)	TRF (Mpa)	Porosidade Aparente (%)	AA (%)	MEA (g/cm <sup>3</sup> )
60%LV-40%B M-05	850	2,02	39,78	21,67	3,05
	950	3,45	38,77	20,12	3,17
	1050	9,87	31,02	15,09	2,99
	1150	34,54	0,84	0,32	2,66
50%LV-50%B M-06	850	3,82	35,79	18,26	3,05
	950	4,16	36,12	18,38	3,08
	1050	18,13	25,14	11,29	3,05
	1150	39,33	0,42	0,17	2,44

Através das Figuras (3) e (4), observa-se que a resistência à ruptura por flexão aumenta com a diminuição da porosidade aparente e conseqüentemente com a absorção de água. Isto foi verificado para todas as amostras formuladas com teores de lama vermelha e argila A e para todas as amostras formuladas com teores de lama vermelha e argila B. Isto acontece devido à formação de uma fase vítrea, onde a tensão superficial da fase líquida e a capilaridade

ajudam a manter as partículas muito próximas, retraindo a peça e reduzindo desta forma a porosidade.

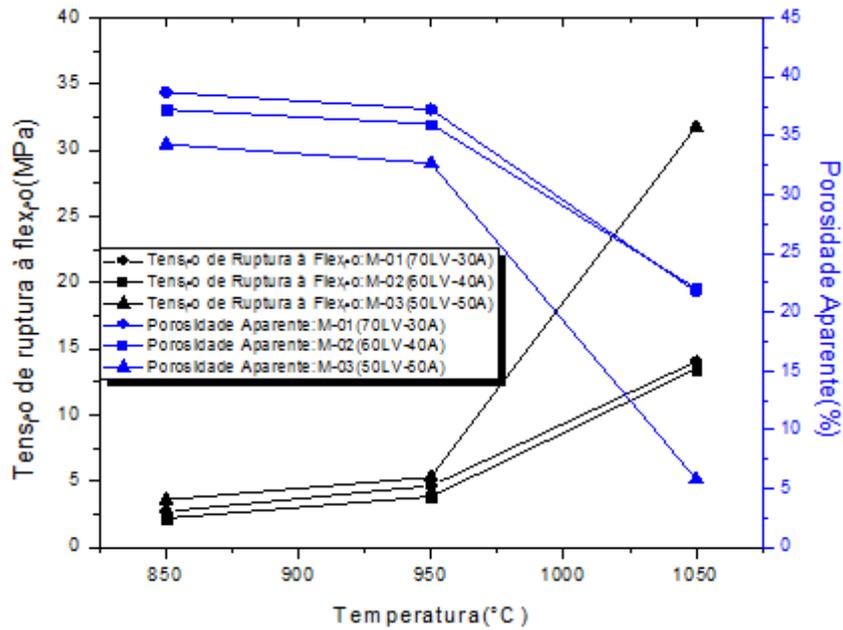


Figura 3. Variação das propriedades cerâmicas dos corpos de prova em função da temperatura de sinterização para M-01, M-02 e M-03.

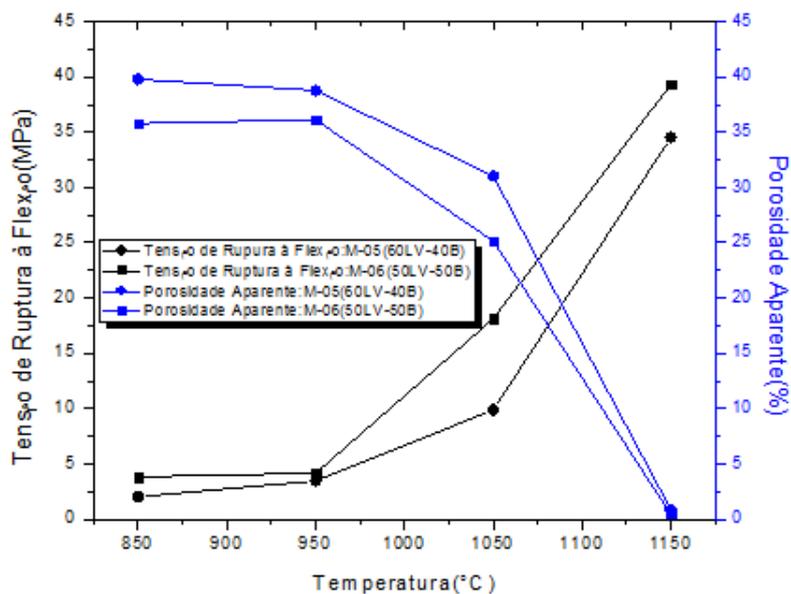


Figura 4. Variação das propriedades cerâmicas dos corpos de prova em função da temperatura de sinterização para M-05 e M-06

As Figuras (3) e (4) mostram também que a resistência mecânica por flexão aumentou com o aumento da temperatura de queima das amostras, atingindo um valor máximo de 35,77MPa na temperatura de 1050°C para a

composição de 50%LV-50%A (M-03) e um valor máximo de 39,33MPa na temperatura de 1150°C para a composição de 50%LV-50%B (M-06). Isto mostra que os melhores resultados de resistência, bem como os de porosidade e absorção de água (considerando uma alta resistência, baixa porosidade e baixa absorção de água) estão nas composições com 50% de lama vermelha, nas temperaturas de queima das amostras de 1050°C para a argila A e 1150°C para a argila B, conforme é mostrado nas Figuras (5) e (6).

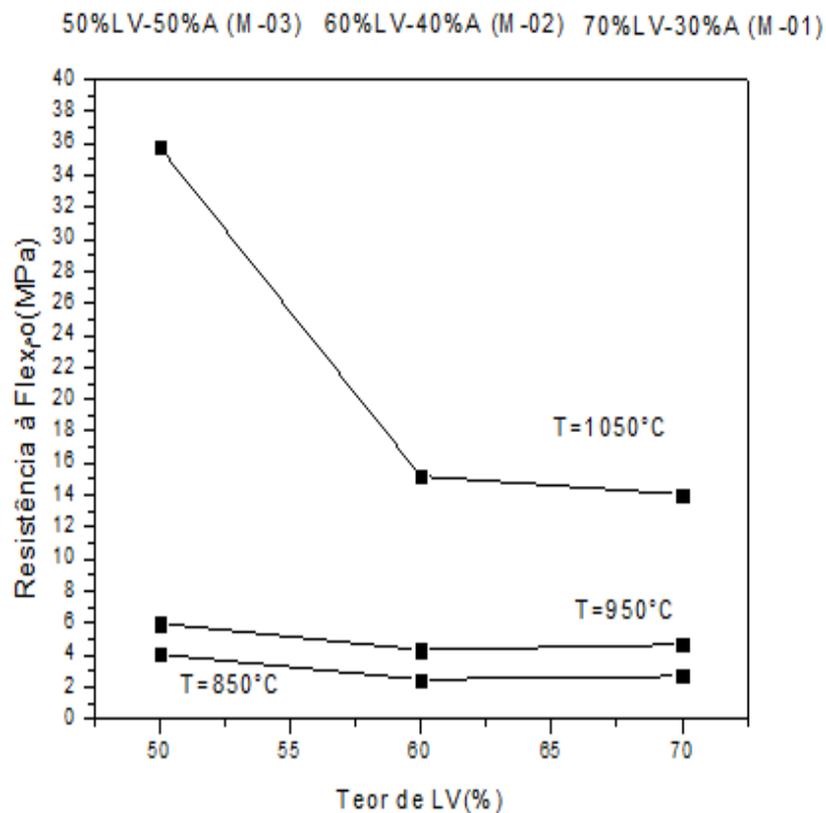


Figura 5. Variação da Tensão de Ruptura à Flexão em função do teor de LV adicionado à argila A (M-01, M-02 e M-03)

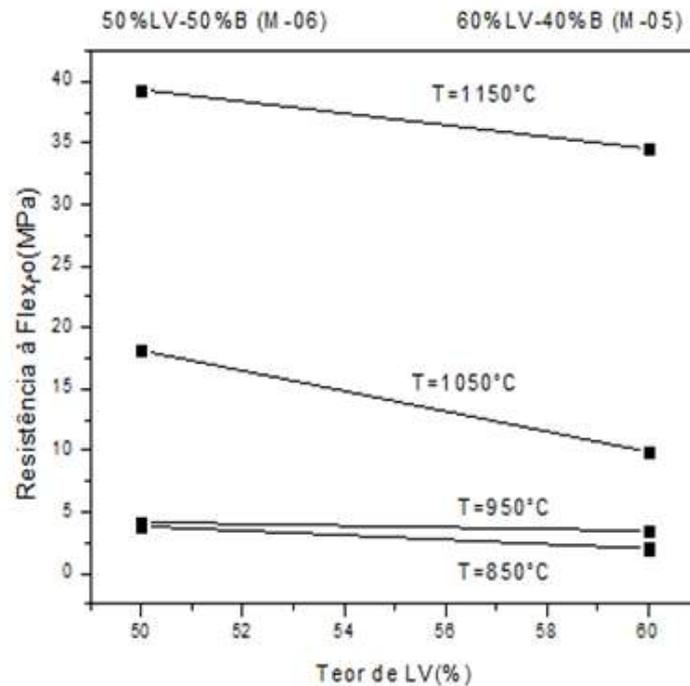


Figura 6. Variação da Tensão de Ruptura à Flexão em função do teor de LV adicionado à argila B (M-05 e M-06)

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados da resistência à ruptura por flexão em função do teor de lama vermelha adicionado às argilas, mostraram que a composição com 50% de lama vermelha atinge um valor máximo de resistência (aliado a um baixo valor de porosidade e absorção de água) de 35,77MPa para M-03 (50%LV-50%A) na temperatura de 1050°C e de 39,33MPa para M-06 (50%LV-50%B) na temperatura de 1150°C. Entre essas duas composições, M-03 e M-06, a composição viável economicamente para aplicação em concreto seria a M-03, pois esta apresentou um valor de resistência à flexão próxima à da formulação M-06, com uma vantagem de ser queimada em uma temperatura mais baixa (1050°C) do que a formulação M-06 (1150°C). Neste trabalho, não foi investigado a influencia desses agregados em formulações de concretos. Também, não foram ensaiados os agregados obtidos dos corpos de prova de cada formulação, mas a metodologia empregada neste trabalho serviu para uma orientação de quais agregados são mais aptos a serem utilizados em concreto.

## REFERÊNCIAS

- [1] SILVA, F. E. B.; ALVES, M. C. M.; DA MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. *Revista Matéria*, Rio de Janeiro, v.12, nº2, 2007.
- [2] MERCURY, J. M. R.; GALDINO, L. G.; VASCONCELOS, N. S. L. S.; PAIVA, A. E. M.; CABRAL, A. A.; ANGÉLICA, R. S. Estudo do Comportamento Térmico e Propriedades Físico-Mecânicas da Lama Vermelha. *Revista Matéria*, v.15, n.3, pp. 445-460, 2010.
- [3] MERCURY, J. M. R.; CABRAL, A. A.; PAIVA, A. E. M.; ANGÉLICA, R. S.; NEVES, R. F.; SCHELLER, T. Thermal Behavior and Evolution of The Mineral Phases of Brazilian Red Mud. *J Therm Anal Calorim.* 2011, 104: 635-643.
- [4] 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*, 3., São Paulo, SP, 2011. *Proceedings...*São Paulo, 2011.
- [5] SOUZA, J. A. Estudo e Avaliação do Uso de Resíduos do Processo Bayer como Matéria Prima na Produção de Agregados Sintéticos para Construção Civil, 2010, 148p, Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Belém, PA.
- [6] MACÊDO, A. N.; COSTA, D. H. P.; TRINDADE, S. R. S.; SOUZA, J. A. S.; CARNEIRO, R. J. F. M. Comportamento de Blocos Cerâmicos Estruturais Produzidos a Partir da Mistura de Lama Vermelha e Argila. *Ambiente Construído*, v.11, n.4, pg. 25-36, 2011.
- [7] HILDEBRANDO, E. A.; SOUZA, J. A. S.; NEVES, R. F. Aplicação do Rejeito do Processo Bayer (Lama Vermelha) como Matéria Prima na Indústria de Cerâmica Estrutural. In: *43º Congresso Brasileiro de Cerâmica*, Florianópolis, SC, 1999. *Anais...*São Paulo, ABC, 1999, p.28101-28111.
- [8] GALDINO, L. G. Aproveitamento da Lama Vermelha, um Resíduo da Indústria de Alumínio, na Obtenção de Materiais Cerâmicos Estruturais por Extrusão, 2008, 119p, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) –

Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão – CEFET-MA, São Luís.

[9] SGLAVO, V.M., CAMPOSTRINI, R., et al., “Bauxite ‘red mud’ in the ceramic industry Part 1: thermal behavior”, Journal of the European Ceramic Society, v. 20, n. 3, pp. 235-244, 2000.

[10] SGLAVO, M. V.; MAURINA, S.; CONCI, A.; SALVIAT, A; CARTURAN, G.; COCCO, G. Bauxite ‘Red Mud’ in the Ceramic Industry. Part 2: production of Clay-based ceramics, Journal of the Ceramic Society, v.20, n.3, pp. 245-252, 2000.

[11] ASTM – American Society for Testing and Materials, Standard test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, ASTM - C 373-88, (1999).

[12] ASTM – American Society for Testing and Materials, flexural properties of Ceramic Whiteware Materials, ASTM C 674-77, (1977).

### **INCORPORATION OF WASTE RED MUD IN CLAYS FOR THE PRODUCTION OF AGGREGATES**

*The large amount of waste generated by industries worldwide motivates the search for alternative materials to minimize damage to the environment. Only in states of Pará and Maranhão, aluminum industries generate about three million tonnes of waste known as red mud. These are stored in large lakes and pose a danger to the environment due to its high alkalinity. In this sense, the red mud from Bayer process was incorporated in clays from State of Maranhão, aiming at the production of aggregates for concrete construction. Compositions were prepared with additions of 50, 60 and 70% by weight of red mud residue incorporated in clay mass. The specimens were uniaxially pressed, burned at temperatures of 850 ° C, 950 ° C, 1050 ° C, 1150 ° C and these technological tests were performed for determination of physical and mechanical properties.*

*Keywords: clays, aggregates, red mud, concrete.*