

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS GRAÚDOS SINTÉTICOS DE LAMA VERMELHA E ARGILA EM CONCRETOS

Aires M. F. M.^{1,3}; Paiva A. E. M.^{1,2,3}.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA).

²Departamento de Mecânica e Materiais (DMM).

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais (PPGEM).
Avenida Getúlio Vargas, nº 04, Monte Castelo – CEP: 65030-005, São Luís – MA.

mayara_flora@hotmail.com ou ernandes@ifma.edu.br

RESUMO

A busca por materiais alternativos, produzidos a partir de resíduos gerados pelas indústrias de alumínio, visa minimizar os danos causados ao meio ambiente. Estes resíduos, também denominados de lama vermelha, apresentam características físico-químicas que despertam grande interesse no seu uso como matéria prima da construção civil. Entretanto, são gerados em grande quantidade e apresentam uma elevada alcalinidade. Neste trabalho, foram produzidos blocos de concretos com agregados sintéticos de lama vermelha e argila, a partir do traço de 1: 2,42: 2,74: 0,51 (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água) os quais foram curados em 7, 14 e 28 dias e posteriormente comparados com blocos de concretos confeccionados com agregados naturais. Estes foram caracterizados por absorção de água; índice de vazios; massa específica, módulo elástico dinâmico e resistência à compressão. Os resultados obtidos mostraram que os blocos de concreto com agregados sintéticos apresentaram propriedades mecânicas compatíveis aos blocos confeccionados com agregados naturais.

Palavras chave: *agregados reciclados, concreto, propriedades mecânicas.*

1. INTRODUÇÃO

O 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, e ser classificado como Classe I – perigoso, conforme a NBR 10004⁽¹⁾, a disposição da lama vermelha e a manutenção dos lagos trazem custos elevados para as indústrias de alumínio. A grande quantidade de resíduos gerados por grandes indústrias de alumínio, no mundo todo, tem motivado estudos por alternativas que busquem reduzir ou solucionar esse problema ambiental.

Diversos trabalhos tem utilizado a lama vermelha como material alternativo para a Indústria Cerâmica ⁽²⁻⁸⁾. A maioria deles tem utilizado essas massas para produzirem matérias primas para a fabricação de telhas, tijolos, blocos cerâmicos, agregados leves, cimentos, cimentos especiais, argamassas e concreto. Outros trabalhos tem utilizado a lama vermelha adicionada à areia para produzir agregados graúdos para a construção civil. Poucos trabalhos tem procurado explorar a utilização da lama vermelha adicionada à argilas, visando a sua utilização como agregados para concretos da construção civil.

Neste contexto, neste trabalho foram realizadas medidas de propriedades físicas e mecânicas de blocos de concretos com agregados graúdos sintéticos de lama vermelha e argila estudada em outro trabalho⁽⁹⁾ e comparadas com as dos blocos de concretos confeccionados com agregados naturais (brita 0).

Sendo assim, este trabalho procurou colaborar de maneira significativa para um maior entendimento da utilização desses resíduos no concreto de cimento Portland, de forma a buscar a sua aplicação em obras com fins estruturais. A aplicação da lama vermelha como agregado sintético, substituindo o agregado natural é de grande importância para minimizar a grande quantidade de resíduo que é produzido, redução dos custos de

manutenção com a sua disposição e, conseqüentemente, minimizando o seu impacto no meio ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados agregados sintéticos de argila (coletada em jazida de Itapecuru-MA) e lama vermelha (proveniente de uma indústria de beneficiamento de alumina). Os agregados foram produzidos a partir da prensagem uniaxial, queima a 1050 °C e posterior britagem de uma formulação com 50%-p de resíduo em relação à argila. A escolha deste agregado foi o resultado de um estudo comparativo de agregados graúdos sintéticos com adições de lama vermelha (50%-p, 60%-p e 70%-p) em relação a duas argilas de diferente composição química⁽⁹⁾, em que se verificou a influência do resíduo nas propriedades físicas e mecânicas, quando queimados a 850 °C, 950 °C e 1050 °C.

Para a produção dos blocos de concretos, além dos agregados sintéticos, foi utilizado o cimento Portland de alto forno (CPIII), a areia de granulometria fina e a brita nº0 (como agregado graúdo dos blocos de concreto de referência), todos obtidos no comércio local.

2.1 Preparação dos Blocos de Concreto

Os blocos de concretos cilíndricos (Figura 1a), de dimensões 5 x 10 cm, foram produzidos em moldes de aço, segundo a NBR 5738-2003⁽¹⁰⁾, a partir do traço de 1: 2,42: 2,74 (cimento, agregado miúdo, agregado graúdo) com relação $a/c = 0,51$. Para o ensaio do módulo de elasticidade dinâmico, foram produzidos blocos de concreto prismáticos (Figura 1b) de dimensões 2,5 x 2,5 x 16 cm.



Figura 1: (a) Blocos de concreto cilíndricos com agregados sintéticos; (b) Blocos de concreto prismáticos com agregados sintéticos.

O processo de produção correspondeu à obtenção da homogeneidade dos materiais empregados, a um correto adensamento e a uma cura adequada.

A homogeneidade do concreto foi garantida através do processo de mistura de seus constituintes, utilizando-se uma misturadora de massa laboratorial por um período de três minutos.

No adensamento buscou-se eliminar os vazios da massa, a fim de aumentar a resistência e a impermeabilidade. Para tal, utilizou-se um vibrador mecânico numa frequência de 10 vibrações por segundo, por 3 minutos, de forma a evitar a segregação dos compostos do concreto.

A cura do concreto foi realizada, conforme procedimentos adotados na norma NBR 5738-2003⁽¹⁰⁾, após o adensamento, através de um controle de umidade.

Os blocos de concreto cilíndricos e prismáticos ficaram à temperatura ambiente pelas primeiras 24 horas, sendo posteriormente desmoldados e acondicionados imersos em água saturada de cal, onde permaneceram até a data de realização das medidas das propriedades físicas e mecânicas (7, 14 e 28 dias).

2.2 Caracterização dos Blocos de Concreto

Após o preparo dos blocos de concreto cilíndricos, os mesmos foram curados por 7, 14 e 28 dias. Em seguida, foram caracterizados por meio do índice de vazios, absorção de água, massa específica e resistência à compressão. Para o ensaio do módulo de elasticidade, os blocos de concreto prismáticos foram curados por 28 dias.

Para a medida da Massa Específica, Índice de vazios e Absorção de Água, para os blocos cilíndricos, foi utilizado o procedimento da norma NBR 9778-2009⁽¹¹⁾. Os blocos foram secos em estufa na temperatura de $(105\pm 5)^{\circ}\text{C}$ por um período de 72 horas para se determinar a sua massa seca. Em seguida, os mesmos foram imersos em água, à temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$, por um período de 72 horas. Depois da saturação dos blocos, determinou-se a massa imersa e a massa saturada.

Para a medida de Resistência à Compressão, os blocos foram ensaiados em uma máquina de ensaio EMIC de 300kN da linha DL, segundo a NBR 5739-1994⁽¹²⁾, após completarem os tempos de cura de 7, 14 e 28 dias. A resistência à compressão foi obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova, sendo o resultado expresso em MPa.

Os módulos elásticos dos blocos de concreto prismáticos: módulo de Young (E), módulo de cisalhamento (G) e razão de Poisson (ν) foram determinados utilizando-se o equipamento SCANELASTIC – ATPC (Figura 2), de acordo com o método de varredura de frequência (ressonância de barras), segundo a norma ASTM 1875-00⁽¹³⁾. Em que, o 1º pico de flexão e o 1º de torção, utilizados na determinação dos módulos elásticos, foram identificados pelo método ASTM 1876-07⁽¹⁴⁾.

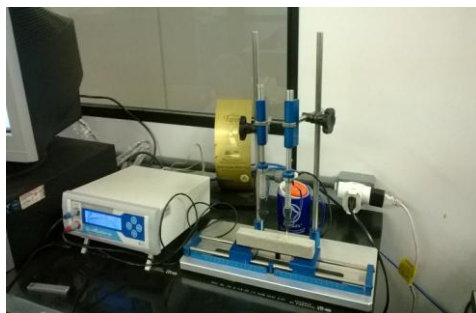


Figura 2: Ensaio do módulo elástico dinâmico, utilizando o equipamento Scanelastic-ATCP.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados da resistência à compressão (RC), absorção de água (AA), índice de vazios e massa específica (Me) para os blocos de concreto cilíndricos a base de agregados sintéticos curados em 7, 14 e 28 dias (LVA-7, LVA-14 e LVA-28), respectivamente e para comparação, blocos de brita curados também em 7, 14 e 28 dias (BR-7, BR-14 e BR-28), respectivamente. Os ensaios físicos realizados nas amostras em fase de endurecimento serviram para tentar mostrar uma possível correlação da evolução das fases hidratadas presentes no concreto com a resistência mecânica do concreto durante a etapa de cura destes.

Tabela 1: Caracterização físico-mecânica dos blocos de concreto cilíndricos de referência e dos blocos de concreto cilíndricos de agregados sintéticos aos 7, 14 e 28 dias de cura.

| Amostras | RC (Mpa) | Índice de Vazios (%) | AA (%) | Me (g/cm ³) |
|----------|-------------|----------------------|-----------|-------------------------|
| BR-07 | 17,87±1,04 | 8,58±0,30 | 5,33±0,17 | 1,76±0,01 |
| LVA-07 | 17,68±4,02 | 8,69±0,20 | 5,50±0,44 | 1,80±0,01 |
| BR-14 | 27,51±1,13 | 7,73±0,78 | 4,81±0,48 | 1,74±0,02 |
| LVA-14 | 23,18±1,63 | 8,26±0,23 | 5,07±0,14 | 1,78±0,01 |
| BR-28 | 30,19 ±1,04 | 7,70±0,57 | 4,69±0,33 | 1,78±0,02 |
| LVA-28 | 28,56 ±1,15 | 8,40±0,15 | 5,05±0,10 | 1,82±0,01 |

Para uma melhor avaliação, as Figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a variação do índice de vazios e absorção de água para os blocos com agregados naturais e sintéticos em função dos dias de cura.

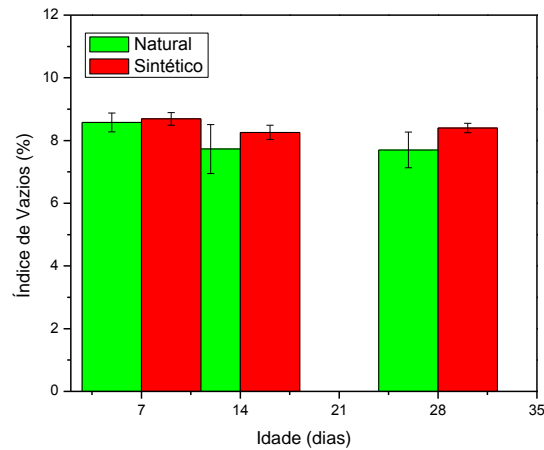


Figura 3: Índice de vazios para blocos de concreto com agregado sintético e natural em função da idade de 7, 14 e 28 dias.

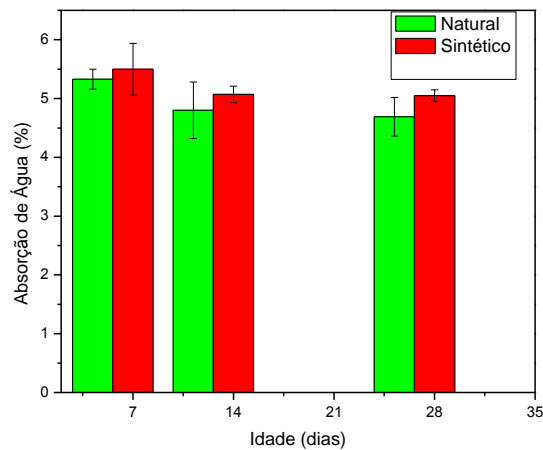


Figura 4: Absorção de água para blocos de concreto com agregado sintético e natural em função da idade de 7, 14 e 28 dias.

Os resultados mostram que tanto o índice de vazios quanto a absorção de água, para ambos os blocos de concretos, diminuíram com a idade. Entretanto, para uma mesma idade, observa-se que os blocos de concretos produzidos com agregados sintéticos apresentaram valores superiores, tanto do índice de vazios, quanto da absorção de água em relação aos dos blocos de concretos com agregados naturais. Isto indica que o agregado sintético produziu blocos de concreto de maior porosidade comparado ao de agregado natural.

A Figura 5 mostra a variação da resistência mecânica à compressão dos agregados naturais e sintéticos em função da idade. Observa-se que, a evolução da cura de 7 a 28 dias promoveu um aumento na resistência mecânica à compressão, tanto para blocos de agregados sintéticos quanto para blocos de agregados naturais. Entretanto, em 7 dias de cura, os blocos confeccionados com agregados sintéticos apresentaram valores de resistência mecânica à compressão praticamente idênticos aos dos blocos confeccionados com agregados naturais. Para as amostras curadas em 14 e 28 dias, os blocos confeccionados com agregados sintéticos apresentaram valores de resistência mecânica à compressão ligeiramente inferior aos dos blocos de agregados naturais, isto pode ser um indicativo do maior índice de vazios e absorção de água em relação aos blocos de concretos com agregados naturais.

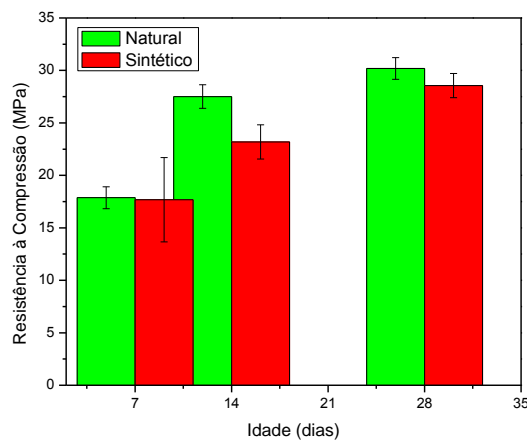


Figura 5: Resistência à compressão para blocos de concreto com agregado sintético e natural em função da idade de 7, 14 e 28 dias.

A Tabela 2 mostra os resultados dos módulos elásticos dinâmicos para os blocos de concreto prismáticos a base de agregados sintéticos (lva-28) e blocos de concreto prismáticos de brita curados em 28 dias (br-28). Os ensaios dos módulos elásticos dinâmicos, realizados nas amostras, serviram para analisar o comportamento mecânico do tipo de agregado no concreto.

Tabela 2: Módulos elásticos dinâmicos dos blocos de concreto prismáticos de brita e dos blocos de concreto de agregados sintéticos.

| Amostra | E (GPa) | G (GPa) |
|----------------|----------------|----------------|
| br-28 | 41,24±1,76 | 17,14±0,63 |
| lva-28 | 35,94±0,13 | 16,52±0,23 |

Observa-se que os blocos de concreto prismáticos de agregados sintéticos apresentaram um menor módulo de Young e de cisalhamento em relação aos blocos de referência, o que pode estar relacionado com a maior porosidade e absorção de água, também observadas para estes blocos de agregados sintéticos. Valores superiores de módulo de elasticidade em concretos de referência em relação a concretos com agregados reciclados podem ser observados no trabalho de Benetti ⁽¹⁵⁾.

De uma forma geral, apesar dos blocos de concreto com agregados sintéticos apresentarem uma pequena diminuição das propriedades físicas e mecânicas dos blocos de concreto com agregados naturais, os resultados apresentados pelos blocos de agregados sintéticos são bastante promissores, pelos valores próximos de propriedades mecânicas.

4. CONCLUSÕES

- A evolução da cura de 7 a 28 dias promoveu um aumento na resistência mecânica à compressão, tanto para blocos de agregado sintético quanto para blocos de agregado natural.
- Os blocos confeccionados com agregado sintético apresentaram valores próximos de resistência mecânica à compressão em relação aos dos blocos confeccionados com agregado natural.
- Tanto o índice de vazios quanto a absorção de água, para ambos os blocos de concretos, diminuíram com a idade.
- Para uma mesma idade, observa-se que os blocos de concretos produzidos com agregados sintéticos apresentaram valores superiores, tanto do índice de vazios, quanto da absorção de água em relação aos dos blocos de concretos com agregado natural.
- Os blocos de concretos prismáticos de agregados sintéticos apresentaram módulo de Young e de cisalhamento um pouco menor em relação aos blocos de referência, o que pode estar relacionado com o maior índice de vazios e absorção de água, também observados para estes blocos de agregados sintéticos.
- Os resultados apresentados pelos blocos de agregados sintéticos são bastante promissores, pelos valores próximos de propriedades mecânicas.

REFERÊNCIAS

[1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Resíduos Sólidos - Classificação, NBR-1004, Rio de Janeiro, RJ (2004).

[2] 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 European Ceramic Society, v.20, n.3, pp. 245-252, 2000.

- [3] 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, MA.
- [4] 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.
- [5] KLAUBER, C.; GRAFE, M.; POWER, G. Bauxite Residue Issues: II. Options for Residue Utilization. *Hydrometallurgy*. v.108, p. 11-32, 2011.
- [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] VILLAREJO, L. P.; CORPAS-IGLESIAS, F. A.; MARTINEZ-MARTINEZ, S.; ARTIAGA, R.; PASCUAL-COSP, J. Manufacturing New Ceramic Materials from Clay and Red Mud Derived From The Aluminium Industry. *Construction and Building Materials*. v.35, p.656-665, 2012.
- [8] OLIVEIRA, D. R. C.; ROSSI, C. R. C. Concretes with red mud coarse aggregates. *Materials Research*. n.3, v.15, p.333-340, 2012.
- [9] AIRES, M. F. M.; PAIVA, A. E. M. Incorporação de Resíduos de Lama Vermelha em Argilas para a Produção de Agregados. In: *Anais 57º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA*, Natal, RN, 2013.
- [10] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova, NBR-5738, Rio de Janeiro, RJ (2003).
- [11] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão, Índice de Vazios e Massa Específica, NBR 9778, Rio de Janeiro, RJ (2009).

[12] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Concreto – Ensaio de Compressão em Corpos de Prova Cilíndricos, NBR-5739, Rio de Janeiro, RJ (1994).

[13] ASTM E 1875-00, Standard test method of dynamic Young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by sonic resonance, ASTM Standard approved October 10, 2000, published January 2007.

[14] ASTM E 1876-07, Standard test method for dynamic Young's modulus, shear modulus, and Poisson's ratio by impulse excitation of vibration, ASTM Standard approved June 1, 2007, published June 2007.

[15] BENETTI, J. K. Avaliação do módulo de elasticidade dinâmico de concreto produzido com agregado graúdo reciclado de concreto. 2012, 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS.

USE OF SYNTHETIC AGGREGATE COARSE RED MUD AND CLAY IN CONCRETE

The search for alternative materials, produced from waste generated by aluminum industries, aims to minimize damage caused to the environment. These residues, also called red mud, have physicochemical characteristics that arouse great interest in its use as raw material for construction. However, are generated in large quantities and have high alkalinity. In this work, blocks of concrete were produced with synthetic aggregates of red mud and clay from the dash 1: 2.42: 2.74: 0.51 (cement, fine aggregate, coarse aggregate and water) which were cured 7, 14 and 28 days and were compared with blocks of concrete with natural aggregates. These were characterized by absorption of water, voids, specific weight, dynamic elastic modulus and compressive strength. The results showed that the concrete blocks with synthetic aggregates had mechanical properties compatible with blocks made of natural aggregates.

Keywords: recycled aggregates, concrete, mechanical properties.