

OBTENÇÃO DE PEDRA COMPOSTA A PARTIR DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO

F. V. Braga¹, B. W. Zocratto^{1,2}, F. S. Lameiras¹

1: CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. 2: UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Química.

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Av. Presidente Antônio Carlos, 6.627, Campus da UFMG, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. flaviafisica@gmail.com

RESUMO

A pedra composta, ou concreto polimérico, é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos, como da extração de minérios. A utilização dos resíduos, além de diminuir o impacto ambiental, é uma atividade que pode contribuir para aumentar a sustentabilidade econômica de vários setores. Resíduos provenientes da exploração do itabirito têm recebido atenção devido ao seu enorme volume. A pedra composta é uma possibilidade de interesse, porque sua obtenção requer pouca energia e permite controle dos padrões estéticos. Para a obtenção da pedra composta foi desenvolvida uma montagem laboratorial constituída de uma prensa hidráulica, vibrador pneumático, bomba de vácuo e uma matriz. São apresentados resultados da obtenção de pedra composta a partir de resíduos da exploração do itabirito, por meio da mistura dos minerais com resina de poliéster e aditivos químicos, utilizando vibrocompactação a vácuo e cura a quente. O compósito possui baixa porosidade e alta resistência à flexão.

Palavras-chave: Pedra Composta, resíduos, mineração.

INTRODUÇÃO

A pedra composta, também conhecida como concreto polimérico, é um compósito obtido num processo de vibrocompactação a vácuo e cura a quente. Esse processo é uma alternativa para o aproveitamento de resíduos, como da extração de minérios, cascalhos de minerais-gema e lascas de martelamento. Esses resíduos geram impactos ambientais e os métodos seguros para a sua estocagem implicam num custo considerável [1]. Os resíduos gerados em grande escala, como da exploração do itabirito, têm recebido bastante atenção. Além disso, a utilização dos

resíduos pode contribuir para aumentar a sustentabilidade econômica de vários setores.

A pedra natural, como o mármore e o granito, tem simbolizado a arquitetura em muitas das suas expressões através dos séculos. Todavia, muitas das limitações associadas ao uso das pedras naturais têm sido evidenciadas: a grande exploração das minas causa escassez e, às vezes, até a exaustão de algumas matérias-primas; as preocupações com o meio ambiente ganham maior importância; devido às suas variações e imperfeições, raramente elas aparecem com aspecto homogêneo em grandes lotes.

As pedras naturais nem sempre se prestam para realizar as idéias estéticas inovadoras e funcionais dos arquitetos. Em decorrência da evolução do ritmo de vida, a demanda hoje é por materiais inovadores, sejam em relação à estética ou em relação às características técnicas, capazes de serem projetadas de acordo com os desejos e necessidades dos consumidores. Esses materiais podem ser resistentes aos ácidos, aos arranhões, ser antiderrapante, etc. Enfim, produtos com todas as características que tornam a sua utilização segura para o consumidor, que respeitam o meio ambiente, que correspondem às necessidades das modernas técnicas de construção e projetos e que ainda sejam esteticamente belos e duradouros. A pedra composta surgiu para atender a essas demandas e principalmente à questão ambiental.

Para a fabricação da pedra composta é utilizada uma mistura pedras naturais e/ou resíduos de mineração com diversas granulometrias e resina polimérica, que funciona como ligante. A tecnologia atualmente disponível permite a utilização de uma quantidade mínima de resina, que é misturada aos grãos para formar uma fina camada, que os envolve apenas o suficiente para promover a coesão dos mesmos quando a peça for formada. O processo de produção do compósito é feito com auxílio de vibração e compressão sob vácuo, de tal forma que o produto não tenha porosidade. A tecnologia para obtenção de pedras compostas evoluiu muito nos últimos anos, a tal ponto que é possível obter uma pedra composta com até 94% de carga mineral e somente 6% de resina [2].

A obtenção da pedra composta está associada ao processo de vibração e compactação a vácuo. A combinação da vibração com a utilização correta das frações granulométricas das partículas é muito importante para se obter matrizes com alta densidade. O papel da pressão na compactação é melhorar a acomodação

das partículas e aumentar a adesão entre elas. Vê-se, portanto, que não é necessário utilizar altas pressões de compactação. Porém, o procedimento da etapa de prensagem tem influência sobre o empacotamento das partículas [3]. A presença de ar durante a vibração e a compressão causa o aprisionamento de bolhas no corpo prensado, que se transforma em poros após o endurecimento da resina. Por esse motivo é necessário que a vibrocompactação seja feita sob vácuo.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma montagem laboratorial com equipamentos de mistura, prensagem e vibrocompactação a vácuo para obtenção de pedra composta, o estabelecimento de parâmetros de processo para obtenção de pedra composta e estabelecimento de rotinas de caracterização.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da montagem laboratorial foi adquirida uma prensa hidráulica manual de 15 toneladas. Construiu-se uma matriz cilíndrica para ser usada em conjunto com a prensa. Essa matriz (Figura 1) é constituída de um suporte anular com oito furos para auxiliar a sua fixação na estrutura da prensa (1) e uma base cilíndrica (2), que se encaixa no suporte. Sobre a mesma é colocado um tubo cilíndrico com diâmetro interno de 8,6 cm (3). O material a ser prensado é colocado dentro deste tubo sobre a base. O punção da prensa (4) é encaixado neste cilindro. Todo o conjunto é colocado na prensa logo abaixo do punção (5), que é acionado para comprimir o material até a pressão desejada.

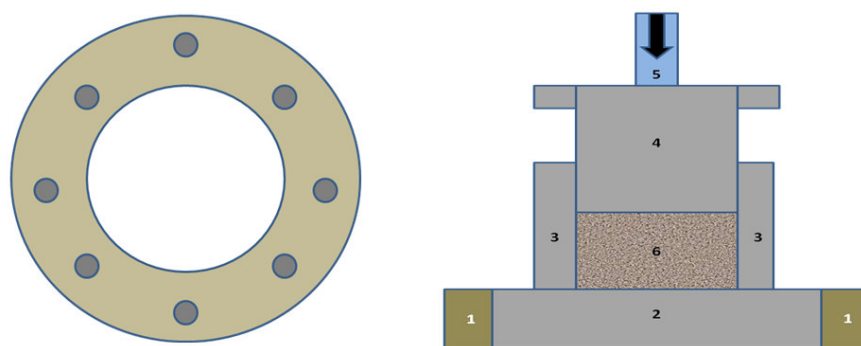


Figura 1: Desenho esquemático da matriz utilizada neste projeto. À esquerda está o suporte da matriz (número 1 no desenho à direita), constituída de um anel com oito furos para fixação na estrutura da prensa. À direita está um mostrado um corte transversal da matriz, constituída de uma base (2), um tubo cilíndrico (3), um punção cilíndrico (4). O punção da prensa (5) aciona o punção da matriz (4). Massa de material e resina sob prensagem (6).

Após a compactação, a pressão é aliviada com a retração do punção da prensa. Todo o conjunto da matriz é levado para uma bancada, onde o punção da matriz é empurrado até a retirada da amostra prensada, que é então levada ao forno para a cura da resina sobre a base cilíndrica (2).

Acoplado sob a plataforma da matriz instalou-se um vibrador pneumático, conforme mostra a Figura 2. Esse vibrador, da marca Brunialti, modelo NTP 25B, produz movimentos de vibração verticais na matriz. O aparelho foi operado a 2 bar (2600 vibrações por minuto, força de 190 N).

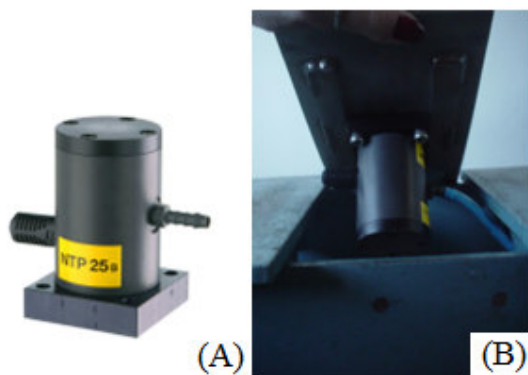


Figura 2: (A) Vibrador pneumático e (B) sua instalação sob a plataforma da matriz.

Por meio de um orifício através da parede do cilindro da matriz, conforme mostra a Figura 3 (B), foi instalada uma bomba de vácuo. A bomba permanece ligada durante todo o processo de prensagem.

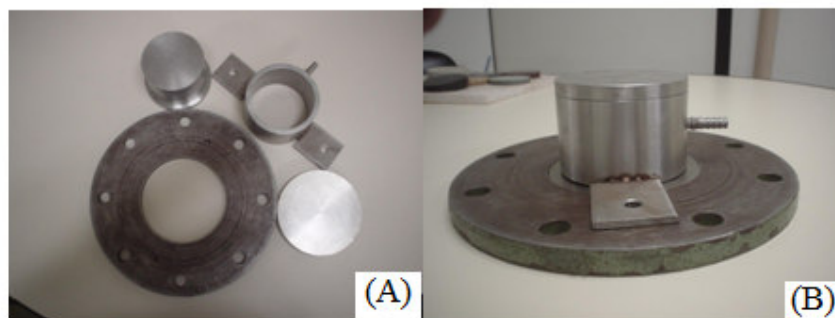


Figura 3: (A) Matriz cilíndrica desmontada e (B) montada.

Para a preparação da pasta, foram utilizadas três frações de partículas de resíduos minerais com diferentes granulometrias provenientes da extração do

itabirito. Além disso, foi utilizada uma resina de poliéster e três aditivos químicos: acelerador de cobalto 6% (Marca Resinfiber), catalisador de peróxido de metilcetona (Marca BRASNOX DM-50) e um silano organofuncional (fabricado pelo ramo Dynasilan da Evonik).

Primeiramente, foram misturadas as duas frações de maior granulometria de partículas minerais. O processo de mistura foi feito manualmente. A resina foi adicionada, juntamente com os seus aditivos, às frações de partículas com maiores granulometrias. Após a uniformização da mistura com o auxílio de uma espátula num recipiente de polietileno, foi-se acrescentando a fração de partículas com menor granulometria. Após a adição dessa última, homogeneizou-se a mistura até a obtenção de uma pasta uniforme. A pasta foi colocada na matriz, prensada (pressão menor que 8 MPa) sob vácuo e vibração e, então, aquecida durante 2 horas para a obtenção da cura da resina.

Foram feitas análises de difração de raios X para as três frações granulométricas, utilizando um difratômetro de fabricação Rigaku, modelo D/MAX ÚLTIMA automático com goniômetro θ - θ e tubo de cobre.

Para a realização dos ensaios de determinação da absorção de água e determinação do módulo de resistência à flexão, os corpos-de-prova foram cortados em formatos retangulares nas dimensões de 70x25x1cm, conforme Figura 4.



Figura 4: Corpos de prova da pedra composta.

Primeiramente, foi realizado o ensaio de determinação da absorção de água de acordo com a NBR 13818/97-Anexo B utilizando 10 corpos de prova. Os corpos-de-prova foram secos em estufa a uma temperatura de $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ e pesados para obtenção da massa seca (M_1) de 24 em 24 horas. Foi utilizada uma balança analítica com resolução de 0,0001g para pesagem das peças. Após a estabilização das massas, os corpos foram colocados em um dessecador para atingirem a

temperatura ambiente. Em seguida, os mesmos foram depositados em um suporte, para que ficassem separados, e imersos em água deionizada no aparelho de fervura a uma temperatura de 100°C. Após 2 horas de fervura, os corpos-de-prova foram colocados sob circulação de água, à temperatura ambiente, para que o equilíbrio fosse atingido. Os corpos foram suavemente secos com auxílio de uma flanela ligeiramente úmida no intuito de retirar o excesso de água superficial presente nas peças após fervura. A seguir os mesmos foram pesados para obtenção da massa úmida (M_2).

A porcentagem de absorção de água (Abs) foi calculada conforme a equação (A).

$$Abs = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \cdot 100 \quad (A)$$

Além do ensaio de determinação da absorção de água, foi realizado o ensaio de determinação do módulo de resistência à flexão, conforme com a norma NBR 13818/97-Anexo C, com o auxílio de uma máquina universal da marca Instron. Os corpos-de-provas de prova foram novamente secos em estufa, a uma temperatura de $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$, e pesados em intervalos de 2 em 2 horas até a obtenção de uma massa constante. Posteriormente, foram levados ao dessecador para que o equilíbrio térmico fosse atingido.

Para a realização do ensaio, colocou-se o corpo-de-prova sobre os apoios (1) do aparelho (Figura esquemática 5), com a superfície de uso para cima e com a largura paralela aos apoios, de forma que fique para fora da barra uma saliência.

Ensaio de determinação do módulo de resistência à flexão

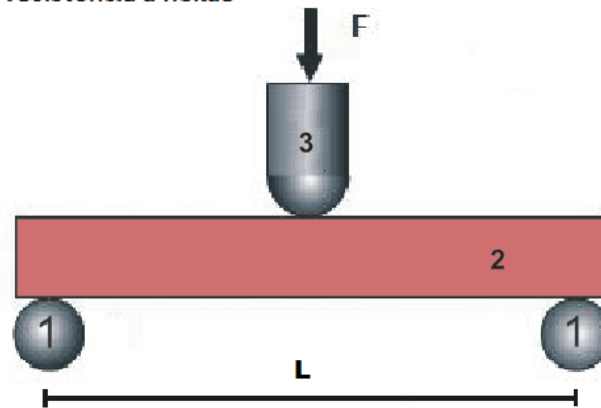


Figura 5: Esquema do ensaio de determinação do módulo de resistência a flexão. (1) Apoios, (2) corpo de prova, (3) barra central.

Posicionou-se a barra central para que ficasse equidistante dos apoios. Foi aplicada a força de maneira gradativa até que houvesse a ruptura. A força F necessária a essa ruptura foi anotada. O módulo de resistência à flexão (MRF) foi calculado conforme a equação (B).

$$MRF = \frac{3F.L}{2b.e^2} \quad (B),$$

em que F é força de ruptura da amostra, L é a distância entre as barras de apoio em milímetros, b é a largura do corpo de prova e e é a mínima espessura do corpo de prova.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O desenvolvimento da matriz cilíndrica se mostrou muito eficaz, uma vez que a montagem e desmontagem da mesma e a retirada da amostra se mostraram bastante eficientes. Na etapa de prensagem, alguns testes indicaram que forças acima de 39,2 N causam vazamentos do material pela parte inferior do cilindro e inviabilizam a desmoldagem, comprometendo a integridade das amostras prensadas.

O vibrador pneumático acoplado sob a plataforma da matriz contribui para a acomodação das partículas na matriz e seu uso se mostrou muito adequado, visto

que este aparelho produz movimentos de vibração verticais, colaborando para um melhor empacotamento.

Outro contribuinte para um empacotamento efetivo é a proporção dos resíduos utilizados que desempenha um papel importante para a qualidade do produto final. O resíduo de fina granulometria tem a função de preencher os espaços intersticiais do resíduo de granulometria mais grossa, proporcionando melhor compactação. Os resíduos são misturados com uma resina de poliéster, formando uma pasta umedecida. A ação combinada de vibração sob vácuo e compressão promove um alto grau de compactação dos materiais envolvidos.

O uso de uma bomba de vácuo se fez necessário devido à presença de ar durante a vibrocompactação e a compressão, causando o aprisionamento de bolhas no corpo prensado. Essas bolhas se transformam em poros após o endurecimento da resina, contribuindo para um produto final com baixa resistência e alta absorção de água. Dessa maneira, o sistema de vácuo se mostrou prático e eficiente.

Na etapa de preparação da pasta um problema que aparece é a formação de aglomerados das partículas mais finas, que prejudicam muito a uniformidade do produto final. Por esse motivo, acrescenta-se a fração de menor granulometria somente quando todos resíduos de granulometria mais grossa já tiverem sido misturados à resina e aos aditivos químicos.

Observou-se um problema durante a etapa de cura, pois ainda notava-se o cheiro de resina nas pedras mesmo depois de prontas. Esse problema foi resolvido com o aumento do tempo de cura e da temperatura utilizada.

Para o ensaio de determinação da absorção de água, obtivemos uma absorção de 2,98%, valor comparável aos materiais cerâmicos e às pedras naturais.

A determinação do módulo de resistência a flexão para os corpos-de-prova da Figura 5, obtidos a partir dos resíduos da extração do minério de ferro do itabirito, levou a um resultado de 26 N/mm^2 . Este valor já é o dobro daquele da pedra natural.

CONCLUSÃO

Foi possível a produção da pedra composta a partir de resíduos do itabirito associado à resina de poliéster em um processo simultâneo de vibração e compactação a vácuo com pressão abaixo de 8 MPa . Concluiu-se que não é necessário utilizar altas pressões de compactação para a fabricação da pedra

composta. A montagem laboratorial, com sistema pneumático de vibração vertical e vácuo na matriz, se mostrou eficiente e o produto final apresentou resistência mecânica e absorção de água comparável às pedras naturais.

REFERÊNCIAS

- [1] VALADÃO, G. E.; ARAUJO, A. C. *Introdução ao tratamento de minérios*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007;
- [2] TASSONE, P. et al. Procedure for Fast Curing at High Temperature of Polyester Resins Used as Binding in the Production of Polymer Concrete Slabs. *Research & Development Dept.*, Breton SpA, Italy, Jul.1995;
- [3] XIANG, J. T. The effect of air on the packing structure of fine particles. *Powder Technology*, n.191, p. 280–293, 2009;
- [4] Norma Brasileira NBR 13818/97.
- [5] <http://www.neostone.com.br/portal/sac.asp#8>

OBTAINMENT OF COMPOSITE STONE FROM MINING RESIDUES

ABSTRACT

The composite stone, or polymer concrete, is an alternative for residues recovery, such as the ones from the mineral extraction. Besides reducing the environmental impacts, the use of these residues can contribute to improve the economic sustainability of several sectors. Residues from the exploitation of banded iron formations (BIF) have been receiving attention due to its enormous volume. The composite stone is an interesting possibility, because it requires little energy and allows the control of aesthetic standards. To obtain compound stone samples, a laboratory assembly comprising a hydraulic press, a pneumatic vibrator, a vacuum pump, and a matrix was implemented. Results of composite stone samples made with vibrocompaction under vacuum and heat curing from a mixture of BIF residues, polyester resin, and chemical additives are presented. The composite stone samples have low porosity and high flexural strength.

Keywords: Composite stone, residues, mining.