

## ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO NATURAL POR RESÍDUO DE BRITAGEM DE GRANITO

Robson Arruda dos Santos, Belarmino Barbosa Lira, Ana Carolina Marinho Ribeiro

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - Campus de Patos, [robson.arrudas@gmail.com](mailto:robson.arrudas@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal da Paraíba - Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME),  
[belarminoblira@ct.ufpb.br](mailto:belarminoblira@ct.ufpb.br)

<sup>3</sup> Professor Associado da Universidade Federal da Paraíba. Engenheiro de Minas, mestre em Engenharia de Minas (UFMG), Doutor em Processamento Mineral (University of Queensland) e Pós-Doutor em Processamento Mineral (Universidade de Tohoku). [anacarolinamb@hotmail.com](mailto:anacarolinamb@hotmail.com)

<http://dx.doi.org/10.5902/223611707238>

### RESUMO

A indústria da construção civil consome muitos recursos naturais e é grande geradora de resíduos. Há uma grande problemática relacionada com o tratamento destes, sendo uma alternativa a sua reutilização como substituto de materiais naturais, por exemplo, na produção de argamassas e de concreto. Este trabalho tem como escopo estudar o reaproveitamento dos resíduos da britagem de granito como agregado em argamassa. Os resíduos foram ensaiados de acordo com as normas da ABNT para agregado miúdo utilizados na construção civil. Foram determinados dois traços com a substituição total da areia natural pelo resíduo em estudo e realizados ensaios de resistência nos corpos de prova, segundo a NBR 13279, bem como o estudo da influência do resíduo na aparência e no consumo de água. Constatou-se que a substituição refletiu positivamente na resistência à compressão e flexão da argamassa. Contudo, ressalta-se que para obter-se um agregado com bom desempenho é preciso classificar o material, sendo necessária a utilização de classificadores para se eliminar as frações mais finas e mais grossas possibilitando às suas aplicações um desempenho aceitável.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa, reaproveitamento, resíduos.

### ABSTRACT

#### MORTAR WITH SUBSTITUTE THE NATURAL AGGREGATE BY THE RESIDUES THE CRUSHING THE GRANITE

The construction industry consumes many natural resources and generating waste is great. There is a big problem related to their treatment, and an alternative to its reuse as a substitute for natural materials, such as the production of mortar and concrete. This paper aims to study the reuse of tailing from crushing of granite as aggregate in mortar. The residues were tested according to the ABNT fine aggregate used in construction. Two traits were determined with the total replacement of natural sand residue in the study and performed strength tests on specimens, according to NBR 13279, and the study of the influence of the residue in appearance and water consumption. It was found that substitution reflected positively on the resistance to compression and bending of the mortar. However, it is noteworthy that to obtain an aggregate with good performance is necessary to classify the material, necessitating the use of classifiers in order to remove the finer and coarser fractions allowing their applications, an acceptable performance.

KEY-WORDS: mortiar, reuse, residues

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é responsável pelo emprego abundante de diversos recursos naturais e grande geradora de resíduos. Com isso, surge a problemática relacionada com o tratamento, reciclagem, reutilização e/ou processamento dos resíduos gerados que são depositados na natureza, provocando sérios impactos ambientais.

O reaproveitamento de resíduos é uma alternativa econômica e ecologicamente viável que proporciona um destino definitivo para os resíduos oriundos não só da construção civil, como também de indústrias de mineração, por exemplo, extração de mármore e granito. Durante o beneficiamento das rochas naturais, 25% a 30% são transformados em pó, sendo que no Brasil, estima-se que sejam geradas 240.000 toneladas/ ano de resíduos destas rochas. Sem um direcionamento correto, este pó é depositado em locais totalmente inapropriados, gerando graves impactos ambientais (FORMIGONI, 2006).

Em decorrência dessa problemática, tornam-se imprescindíveis estudos que apontem uma solução, seja em nível de reutilização, reciclagem, processamento ou mesmo disposição final correta dos resíduos. Empregando o pó do granito como agregado em argamassas e concretos, seria diminuída a quantidade de componentes que possuem jazidas limitadas, evitando-se assim técnicas de extração danosa e economicamente dispendiosas.

Em síntese, pode-se afirmar que este uso dos resíduos visa um equilíbrio entre o dinâmico setor da construção civil, que cresce a cada dia, e a presente necessidade de preservar jazidas limitadas de recursos naturais.

O estado da Paraíba é o terceiro maior produtor de rochas ornamentais da região Nordeste; com isso nota-se que com essa quantidade lavrada e beneficiada, principalmente do granito para produção de brita, gera-se uma grande quantidade de resíduos de pó de brita, que são despejados na natureza. Esses resíduos podem ser utilizados em várias aplicações e neste trabalho aplica-se a tecnologia disponível em processamento mineral para produção de agregado para construção civil, aumentando as reservas naturais destes.

O campo de estudo do Tratamento de Minérios utiliza diversas técnicas, para separar, classificar e concentrar minérios. Essas técnicas são amplamente utilizadas na indústria da mineração, mas estas também podem ser aplicadas em outros processos. Neste trabalho foram estudadas a classificação por peneiramento e hidrociclonagem para realizar cortes em faixas granulométricas desejadas a fim de obter as características desejadas para o agregado.

Este artigo apresenta os resultados da substituição total do agregado miúdo natural por um resíduo resultado da britagem de granito. Os resultados foram positivos, mostrando que é possível dá um destino à grande quantidade de resíduos sólidos gerados pelo processo mal dimensionado de britagem de granito.

## METODOLOGIA

### Amostragem do resíduo

Os resíduos foram coletados (aproximadamente 40 Kg) em uma empresa de produção de brita do Estado de Pernambuco, localizada em Jaboatão dos Guararapes/PE. Foi realizada a homogeneização seguido de quarteamento, retirando uma amostra representativa (Head sample), acondicionada em recipientes fechados e levados ao Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas/LABEME/UFPB.

### Caracterização Tecnológica do Resíduo

A amostra recebida em laboratório foi submetida a uma caracterização constando das seguintes etapas:

- Análise granulométrica a seco;
- Determinação do grau de finura e diâmetro máximo, segundo a NBR 7211:2009;
- Análise mineralógica qualitativa da *head sample* por DR-X.

### Ensaios de Laboratório

- Preparação de corpos de prova com diferentes traços
- Determinação da consistência da argamassa
- Tempo de cura dos corpos de prova
- Ensaios de resistência a compressão e flexão
- Avaliação dos resultados dos ensaios de laboratório

Após a determinação do traço da argamassa em questão, foram realizados ensaios e moldados os corpos de prova de argamassa. Para tal, foram utilizados os seguintes instrumentos e materiais: Pá; Bandeja; Proveta; Bacia; Balança; Espátula; Moldes; Colher de pedreiro; Cimento CII-32; Pó de Brita; Água.

Após a separação dos materiais descritos acima, foram calculados e pesados a quantidade de cada material componente do traço de modo que seja suficiente para a confecção de seis corpos de provas. No traço 1 : 1 : 6 (Cimento : Cal : Pó de Brita) foi necessário a respectiva quantidade 250g : 250g : 1500g com um fator água/cimento de 2,2 (g/g) determinado experimentalmente. O outro traço foi 1 : 2 : 9.

Em seguida, os materiais pulverulentos são misturados com o pó da brita, para a obtenção da uniformidade, e posteriormente a água é acrescentada para dar trabalhabilidade a argamassa

que, após a homogeneização dos quatro componentes do traço deverá possuir uma consistência de  $25\text{mm} \pm 1$  no ensaio de consistência (NBR 13276/2005).

Após a obtenção da consistência desejada, foram moldados em corpos prismáticos de 40 x 40 x 160 mm.

Passados sete e 28 dias, os corpos de provas foram submetidos aos ensaios de flexão e compressão, os quais forneceram os dados para análise da viabilidade da aplicação.

### **AGREGADOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL**

O termo “agregados para a construção civil” é empregado no Brasil para identificar um segmento do setor mineral que produz matéria-prima mineral bruta ou beneficiada de emprego imediato na indústria da construção civil. São basicamente a areia e a rocha britada (VALVERDE, 2001).

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros. Os agregados são abundantes no Brasil e no mundo (DNPM, 2009).

Os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os que se encontram de forma particulada na natureza (areia, cascalho ou pedregulho) e os artificiais são aqueles produzidos por algum processo industrial, como as pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno, argilas expandidas, resíduos da construção civil e mineração, entre outros.

A ABNT NBR 7211 fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define areia ou agregado miúdo como areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas consolidadas, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 0,075 mm. Define ainda agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas consolidadas, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm.

Minerações típicas de agregados para a construção civil são os portos de areia e as pedreiras, como são popularmente conhecidas. Entretanto, o mercado de agregados pode absorver produção vinda de outras fontes. No caso da areia, a origem pode ser o produtor de areia industrial ou de quartzito industrial, ambas geralmente destinadas à indústria vidreira e metalúrgica (VALVERDE, 2001).

**Tabela 1: Produção anual brasileira (em toneladas).**

Bem Mineral	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Areia (10 <sup>6</sup> t)	201	238	255	279	279	289	334	248
Brita (10 <sup>6</sup> t)	187	172	199	217	186	192	222	294
Total (10 <sup>6</sup> t)	388	410	454	496	465	481	556	542

Fonte: ANEPAC – DNPM e Manual de Agregados-CETEM/2012

Pela tabela acima é perceptível o crescente consumo de agregados pela construção, assim verifica-se também em ordem direta o crescimento do montante de resíduos do processo de produção de brita, poluindo o meio ambiente. Assim, a proposta contempla aspectos econômicos e grandes ganhos na redução de resíduos em áreas urbanas e/ou rurais.

A tabela 2 mostra a vasta aplicação dos agregados, seja artificial ou natural, na construção civil. O controle tecnológico dos agregados é de suma importância, pois refletirá posteriormente na qualidade do material. Assim, é necessário que haja pesquisas para o desenvolvimento e aplicação de agregados na construção, visto o crescimento da indústria da construção e a necessidade de materiais mais resistentes e versáteis.

**Tabela 2: Principais utilizações dos agregados.**

Agregado	Utilização
Areia Artificial e Areia Natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamento em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes.
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas.
Brita 3	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas.

Fonte: KULAIF (2001) *apud* DNPM (2009)

### Rocha ornamental – Granito

As rochas ornamentais são materiais que agregam valor principalmente através de suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático, desenho, textura e granulação. No tocante à classificação comercial, os principais tipos de rochas ornamentais são os granitos e os mármore. Para o setor, o termo granito designa um amplo conjunto de rochas silicáticas,

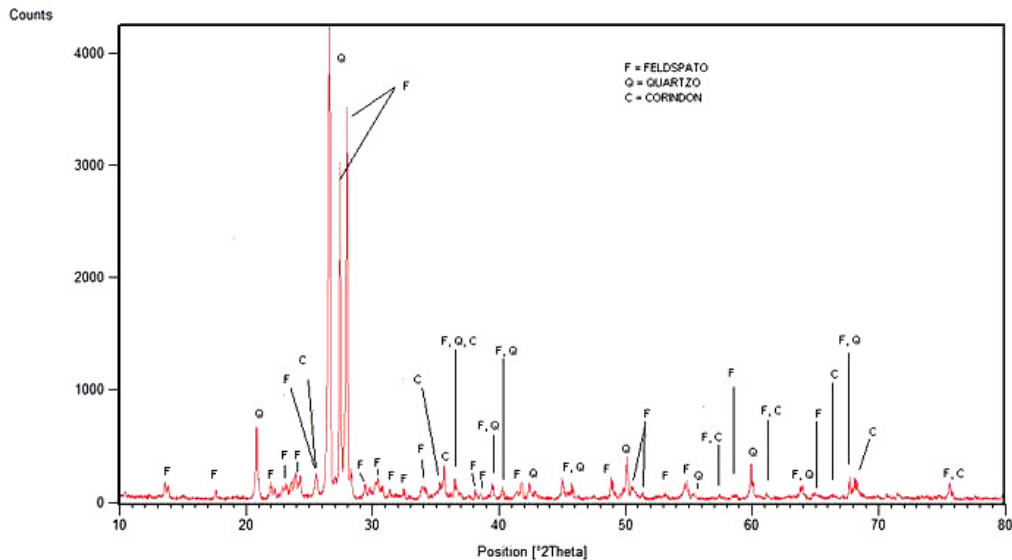
compostas predominantemente por feldspatos e quartzo. Abrangem rochas homogêneas (granitos, sienitos, monzonitos, charnoquitos, diabásios, basaltos, etc.) e as chamadas movimentadas (gnaisses e migmatitos). O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de granitos (superiores a 1.500.000.000 m<sup>3</sup>), sendo a extração realizada diretamente dos maciços rochosos, bem como dos matacões isolados sobre existentes (DUTRA, 2006).

O granito é uma rocha plutônica ácida, com aproximadamente 75% de sílica; cristais de 1 a 5 mm, ou maiores; de cor cinza. Sua taxa de ruptura sob compressão é de aproximadamente 90 MPa. Esta rocha geralmente fornece agregados de excelente qualidade, pois são resistentes, tem baixa porosidade e absorção de água e não reagem com os álcalis do concreto de cimento Portland. As rochas graníticas possuem uma grande diversidade de tipos e cores, destacando-se o preto, branco, azul, marron, amarelo e verde, além dos movimentados. Algumas rochas produzidas no estado da Paraíba são conhecidas com os seguintes nomes comerciais: Preto São Marcos, Azul Sucuru, Green Space, Bordeaux Fuji, Branco Fuji, Marron Madeira, Juparaná Florença, Róseo Picuí, Gold Fuji e Branco Floral (PARAHYBA, 2009).

A Paraíba é o terceiro maior produtor de rochas ornamentais da região Nordeste, com a mineração de rochas graníticas e quartzíticas, estando em primeiro e segundo lugar, Bahia e Ceará, respectivamente. Os quartzitos apresentam-se como as opções populares para revestimento, com a produção de ladrilhos de baixo custo, oriundos de jazidas situadas em Junco do Seridó e Várzea (Santos, 2002, apud PARAHYBA, 2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material em estudo trata-se de um resíduo resultante da operação de britagem de granito, operação mecânica de redução de partículas para produção de brita. Torna-se necessário saber a composição química do material para se determinar suas potencialidades e restrições quanto a sua aplicação. Para tanto foi realizado o ensaio de Difração de Raio X no resíduo, que se observa na figura 1.



**Figura 1 - Difratoograma de Raio X do resíduo.**

O DRX mostra que são identificados os minerais, ou grupos de minerais, no resíduo: F – Feldspato, Q – Quartzo e C – Coríndon. O quartzo é um mineral duro muito comum, composto de sílica cristalina (SiO<sub>2</sub>). A dureza do quartzo, como a do feldspato, deve-se ao arranjo da estrutura do Si-O, que é muito forte. O feldspato mais comum em granitos são os alcalinos, que contém potássio ou sódio (MEHTA, 2008). O Coríndon pode está associado a calcita, feldspatos e micas, apresentando alta dureza na escala de Mohs.

Os minerais constituintes do resíduo confirmam a inspeção visual de que não havia minerais contaminantes que pudessem prejudicar a aplicação do material como agregado, apenas as frações muito finas em que se tem material micáceo já desagregado.

O material usado como agregado miúdo, o resíduo, já foi avaliado para confecção de concreto, também em substituição total. Quando utilizado no concreto, o agregado foi utilizado como foi amostrado na pedraira, mas para a aplicação em argamassa foi preciso eliminar a fração mais grossa do material, a massa retida na peneira de 4,76 mm e 2,36 mm.

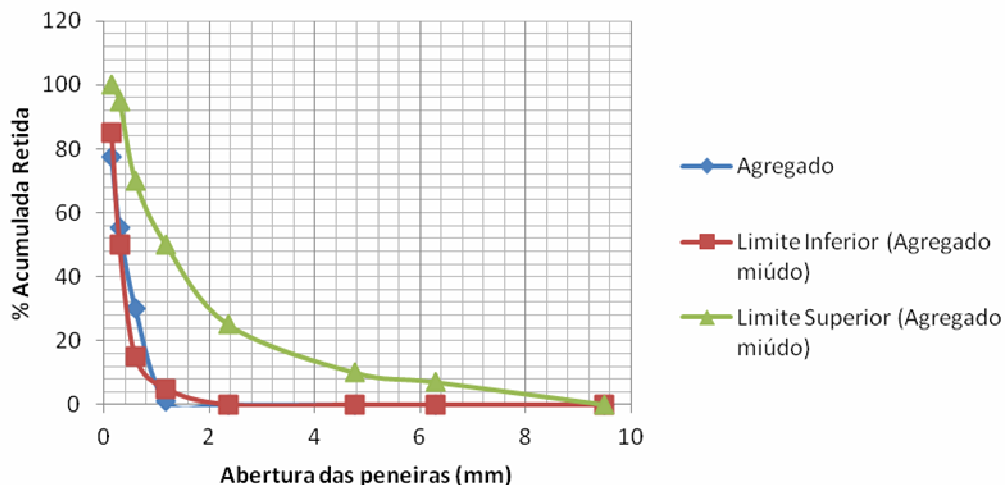


Figura 2 - Granulometria do resíduo não classificado.

A figura 2 mostra a análise granulométrica do resíduo sem classificação, que já foi ensaiado em concreto. Para a argamassa faz-se necessário classificar o material, nesse caso foi realizado por meio de peneiramento, mas em escala industrial é necessário a operação com hidrociclones.

Tabela 3: Granulometria do resíduo classificado.

Abertura da peneira (mm)	GRAMAS	% RETIDA	% AC. RETIDA	% AC. PASSANTE
9,5	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0
4,76	0	0	0	100
2,36	0,3	0,06	0,06	99,94
1,18	5,7	1,14	1,20	98,80
0,6	144,4	28,88	30,08	69,92
0,3	126,9	25,38	55,46	44,54
0,15	110,8	22,16	77,62	22,38
Fundo (< 0,15 mm)	111,9	22,38	100,00	0,00

A tabela 3 e a figura 3 mostram a análise granulométrica do agregado classificado, onde se retiraram as partículas mais grossas, resultado do processo de britagem do granito. Da tabela 3 se obtém módulo de finura = 2,64 (areia média) e  $D_{máx}$  = 2,36 mm.



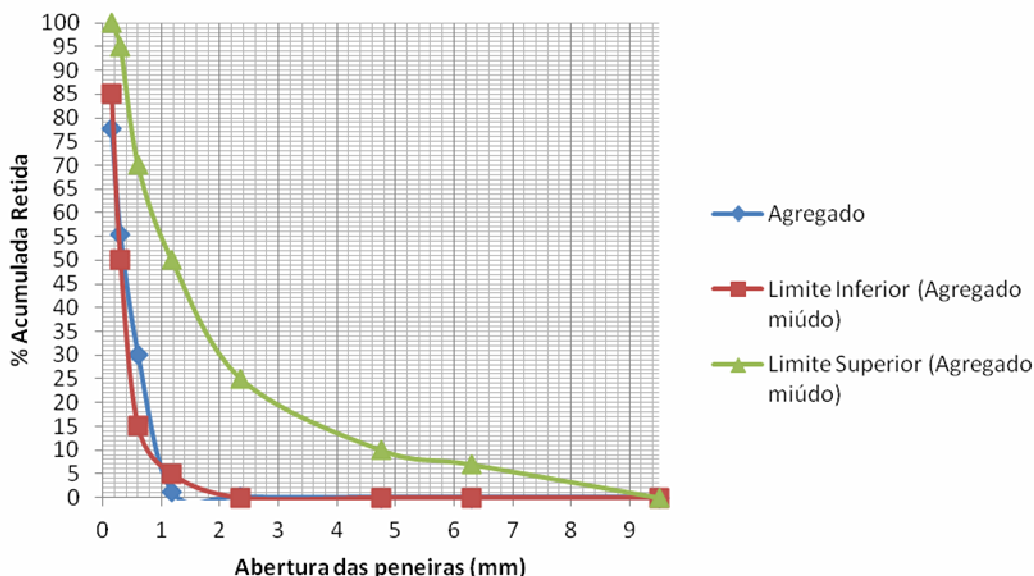


Figura 3 - Granulometria do resíduo classificado por peneiramento.

A figura abaixo mostra os resultados do ensaio de compressão e flexão, sendo os resultados de índice 1 ao 6 correspondente ao traço 1:1:6 e de 7 ao 8, correspondente ao traço 1:2:9.

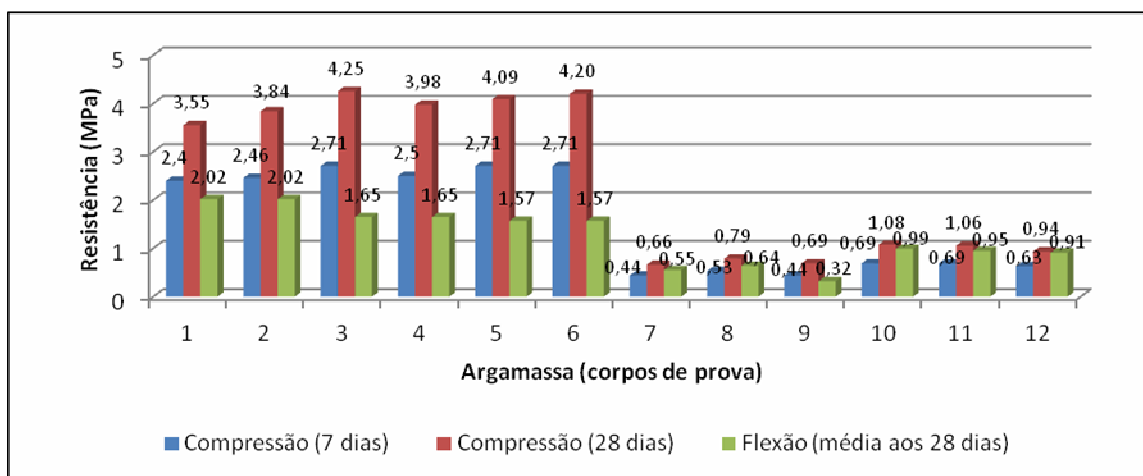


Figura 4 - Resultado da resistência à compressão e flexão, em MPa.

Os resultados mostram que a substituição do agregado natural pelo resíduo não traz prejuízos à aparência da argamassa, ponto a ser observado, visto a presença da mica no material, principalmente na parte mais fina. Também foi verificado um bom desempenho quanto à resistência à compressão e flexão, com resultados bem uniformes, sendo que o traço 1:1:6 obteve

resistências maiores em relação ao traço 1:2:9, onde se pode observar as relações água/cimento de 2,2 e 3,14, respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de resíduos da britagem de granito e outras rochas já são estudadas e já se tem muitos trabalhos publicados sobre o assunto. A problemática da utilização desses resíduos está na sua classificação, em que se podem obter várias faixas de granulometria do resíduo, de acordo com a necessidade de aplicação, desde que seja empregada uma técnica que viabilize o processo.

A peculiaridade de trabalhar-se com o resíduo de britagem de granito está na composição mineralógica do material, onde nas frações mais finas já se tem uma separação de constituintes do granito, como a mica e feldspato. Para tanto, a pesquisa está em andamento e terá como próximo passo a análise química do material e o estudo do seu comportamento na durabilidade da argamassa e do concreto, bem como a análise de possíveis patologias.

Por fim, ressalta-se a importância do estudo de aplicações de resíduos na construção civil, pois a geração destes não ocorre apenas nos canteiros de obra, mas também em outros setores que fornecem matéria-prima para a indústria da construção. Sendo assim, o montante de resíduos gerados pelas empresas de britagem de granito pode ser reaproveitado e inserido novamente no processo produtivo, oferecendo uma nova possibilidade de comercialização.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão de bolsa de iniciação científica para a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

1. DNPM, Economia mineral do Brasil – 2009, 2009.
2. DUTRA, R. Rochas ornamentais – feldspato e quartzo. Encontro de engenharia e tecnologia dos Campos Gerais. Ponta Grossa/PR, 2006.
3. FORMIGONI, et. al. Aproveitamento de resíduos: reciclagem de rochas naturais. Disponível em: <<http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>>, acessado: 14/04/2010.
4. LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. Manual de Agregados para a Construção Civil – 2ª edição. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rio de Janeiro, 2012.
5. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
6. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

7. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
8. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro 2009.
9. PARAHYBA, R. E. R. Mineração no semiárido brasileiro. Departamento Nacional de Produção Mineral, Brasília-DF, 2009.
10. RIBEIRO, C. C., et al. Material de Construção Civil. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2002.
11. SILVA, N. G. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária. 2003, 164p. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil UFPR, 2003.
12. VALVERDE, F. M. Agregados para construção civil. In: Balanço Mineral Brasileiro, 2001.