

# Avaliação de argamassas com incorporação de resíduos de britagem para construções rurais

*Evaluation of mortar with waste crushing composition for rural construction*

Francisco Cássio Gomes Alvino<sup>1</sup>, José Pinheiro Lopes Neto<sup>1\*</sup>, Fernando Sarmiento de Oliveira<sup>1</sup>

Recebido em 26/07/2011; aprovado em 18/12/2013.

## RESUMO

A exploração de reservas minerais com a finalidade de produção de agregados para confecção de argamassas e concretos tem tido alto crescimento na região nordeste do país, sobretudo na Paraíba. Entretanto, essa exploração traz consigo a produção de rejeitos oriundos do processo de britagem de rochas maiores até atingir a fração comercial de agregado, denominados de resíduos de britagem tornando-se, portanto, poluidores do ambiente. Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência à compressão de argamassas com diferentes teores de resíduos de britagem em substituição da areia natural para construções rurais. Os procedimentos foram realizados de acordo com a NBR NM 248 (seleção e classificação do resíduo) e com a NBR 13279 (determinação da resistência à compressão uniaxial). Os resultados mostraram que a maior resistência foi obtida para a argamassa com maior teor de resíduo e relação água/cimento, ou seja, 22 MPa para a relação água/cimento 0,65 com um teor de incorporação de 100%.

**PALAVRAS-CHAVE:** resíduos de britagem, argamassas, areia.

## SUMMARY

The exploitation of mineral reserves in order to produce aggregate for making mortar and concrete has seen high growth in the northeast of the country, especially in Paraíba state. However, this operation entails the production of

waste from the process of crushing rocks to reach the fraction of aggregate trade, known as tailings, thus polluting the environment. This work aimed to evaluate the compressive strength of mortars containing different amounts of tailings instead of natural sand for rural construction. The procedures according to NBR NM 248 (selection and classification of the tailings) and the NBR 13279 (determination of the uniaxial compressive strength) were performed. The results showed that the highest strength for the mortars with higher level of tailings and water/cement ratio was obtained by using 22 MPa for water/cement ratio equal 0.65 and 100% replacement content of sand by tailings.

**KEY WORDS:** waste crushing, mortar, sand.

## INTRODUÇÃO

Atualmente, vários estudos buscam desacelerar a velocidade com que o homem degrada o meio em que vive seja pela conscientização quanto ao consumo excessivo e indiscriminado dos recursos naturais e minerais, pela redução da emissão de agentes poluentes na atmosfera e também pelo desenvolvimento de novas tecnologias e produtos menos exigentes de recursos naturais.

Segundo Barbosa et al. (2008), grande parte dos processos de extração dos recursos naturais é fonte geradora de resíduos vindo a causar considerável degradação ambiental. Sendo assim, o desafio tecnológico atual centra-se no aproveitamento racional dos resíduos

<sup>1</sup> Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - Campus de Pombal, Rua Jairo Vieira Feitosa, Bairro Pereiros, CEP 58840-000, Pombal, PB, Brasil. Email: neto@ccta.ufcg.edu.br. \*Autor para correspondência.

provenientes dos processos industriais, em especial o destinado à construção civil. Buest Neto (2006) menciona que a produção de agregados destinados à construção civil no Brasil chegou a 395 milhões de toneladas no biênio 2005/2006.

O consumo de resíduos minerais na construção civil não é assunto recente, mas ainda é pouco explorado frente a sua potencialidade. De acordo com Menossi (2004), os resíduos de britagem podem ser utilizados, por exemplo, em argamassas e concretos, na produção de blocos, de camadas de sub-base asfáltica e de camadas de concreto compactado a rolo. Entretanto seu uso deve ser conduzido de forma cautelosa pelo fato do mesmo apresentar características singulares como distribuição granulométrica, resistência mecânica, estabilidade das partículas e ausência de impurezas que possam influenciar diretamente na qualidade do produto obtido.

Neto (1999) sugere a substituição da areia natural por resíduos para confecção de argamassas e concretos, mas para que esta substituição seja bem sucedida recomenda que sejam avaliadas variáveis tecnológicas como adequação da distribuição granulométrica, forma e textura superficial das partículas, resistência mecânica, estabilidade das partículas e ausência de impurezas.

Pouco se conhece sobre a produção de blocos destinados à construção de silos verticais, sobretudo quanto à substituição dos elementos convencionais por resíduos minerais. Nascimento et al. (2009) citam que os blocos de concreto para alvenaria podem ser definidos, de forma geral, como elementos pré-moldados de concreto a partir da mistura adequada entre agregados graúdos e miúdos, cimento e água e que a confecção de silos em blocos de concreto não implica apenas na armazenagem propriamente dita, mas em um conjunto estrutural capaz de resistir às pressões impostas pelo produto ensilado, aliado às interferências internas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento reológico de argamassas com incorporação de resíduos de britagem em substituição à areia natural para utilização em

construções no meio rural.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Construções Rurais do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campus de Pombal.

Inicialmente determinou-se a massa unitária dos agregados de acordo com a NBR NM 45 (2006). Em seguida, foi realizado o ensaio de classificação granulométrica dos agregados miúdos (areia natural e resíduo de britagem de rochas graníticas), conforme NBR 7211 (2005).

Neste trabalho, optou-se por substituir apenas a porção de areia natural passante na peneira 1,2 mm, devido à necessidade de se preservar partículas maiores de agregado miúdo na mistura e pela ausência de partículas de resíduo de britagem superiores a essa granulometria. Assim, os teores escolhidos para substituição da fração de areia natural por resíduo de britagem são apresentados na tabela 1.

O traço de argamassa escolhido foi 1 : 3,5 (cimento Portland CP II F-32) por ser um traço comumente utilizado na confecção de argamassas destinadas à confecção de blocos de concreto e as relações água/cimento (*a/c*) testadas foram 0,45, 0,55 e 0,65.

As argamassas com diferentes composições foram testadas quanto à resistência à compressão e consistência.

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a NBR 7215 (1996) moldando-se corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 50 x 100 mm (diâmetro x altura) com área de secção transversal de 1963,5 mm<sup>2</sup>. Após 24 h realizou-se a desforma, colocando os corpos-de-prova em tanque com imersão com água, a fim de se evitar a falta de água durante os processos químicos que favoreceriam o enrijecimento da argamassa. Após 28 dias de cura executou-se a ruptura dos corpos-de-prova por compressão uniaxial de acordo com as descrições da NBR 7215 (1996). Os corpos-de-prova foram rompidos

Tabela 1 - Proporção de resíduo de britagem nas argamassas avaliadas.

Mistura I		Mistura II		Mistura III		Mistura IV		Mistura V	
A. N.	Res.	A. N.	Res.	A. N.	Res.	A. N.	Res.	A. N.	Res.
100%	0%	70%	30%	50%	50%	30%	70%	0%	100%

A. N.: areia natural; Res = resíduo de britagem.

utilizando-se o conjunto prensa mecânica e célula de carga previamente calibrada, tendo a maioria dos corpos-de-prova rompidos com plano de cisalhamento de, aproximadamente, 45° (Figura 1).

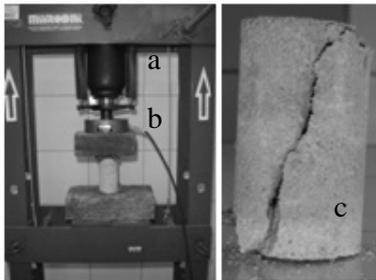


Figura 1 - Sistema de compressão prensa mecânica (a) célula de carga (b) e corpo-de-prova ensaiado (c).

Os resultados de resistência mecânica dos corpos-de-prova foram obtidos através da equação [1].

$$f_c = \frac{P}{A_c} \quad [1]$$

Onde:  $f_c$  = resistência à compressão uniaxial (Pa);  $P$  = força de compressão aplicada ao corpo-de-prova (N);  $A_c$  = área da seção transversal do corpo-de-prova ( $m^2$ ).

O índice de consistência ( $I_c$ ) das misturas de argamassa foi determinado conforme NBR 13276 (2005). Neste ensaio as amostras de argamassas foram colocadas em molde tronco-cônico centralizado sobre uma mesa de ensaio e preenchido em três camadas sucessivas com a aplicação de 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, de maneira a distribuí-las uniformemente. Imediatamente após a última queda da mesa, mediu-se com paquímetro o espalhamento do molde tronco-cônico original de argamassa (Figura 2).



Figura 2 - Ensaio de espalhamento das argamassas.

Para demonstrar a aplicação destas argamassas no meio rural, preparou-se um concreto (argamassa e agregado graúdo granítico) e executou-se o ensaio de abatimento (Slump Test), conforme a NBR NM 67 (1996). Em seguida, foram moldados blocos de formato curvo (Figura 3) com dimensões de 0,4 m x 0,19 m x 0,19 m (largura x altura x profundidade), designação M – 20, com espessura mínima de parede de 25 mm e raio de curvatura igual a 0,8 m.

O esquema estatístico empregado para análise da resistência das argamassas foi o delineamento fatorial 3 x 5 (3 relações água/aglomerante x 5 teores de substituição de agregados) com quatro repetições para cada tratamento totalizando 60 parcelas. O tratamento estatístico foi realizado com emprego do programa computacional Assistat versão 7.6 com aplicação do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 são mostrados os valores da análise granulométrica da areia natural existindo uma concentração predominante entre as frações granulométricas 2,36 mm e 300  $\mu m$ . De acordo com a NBR 7211 (2005), este agregado tem os valores de percentual retido acumulado enquadrando-se nos intervalos correspondentes a

um agregado miúdo grosso, com  $D_{max}$  igual a 4,8 mm. Com relação ao Módulo de Finura ( $M_f$ ), o valor encontrado foi de 3,4 que se enquadra no valor preconizado pela referida norma, ou seja,  $M_f > 2,72$ .

Quanto à granulometria dos resíduos de britagem onde observou-se uma concentração bem definida variando entre as aberturas 600 e 150  $\mu\text{m}$  (Tabela 3). De acordo com a NBR 7211 (2005), que define os intervalos das frações correspondentes às diferentes classificações de agregado miúdo, os valores de percentual retido acumulado do resíduo de britagem enquadram-se na classificação de agregado miúdo fino com  $D_{max}$  igual a 1,2 mm. Ainda de acordo com a NBR 7211 (2005), a variação do Módulo de finura correspondente a um agregado miúdo fino é de  $1,72 < M_f < 2,11$ . Nesta pesquisa foi encontrado um valor de  $M_f$  para o resíduo de britagem igual a 1,74, o que representa um agregado fino com granulometria próxima ao limite inferior que o separa de um agregado miúdo muito fino.

Ao avaliar o resíduo de britagem de rocha calcária, Silva et al. (2007) obtiveram resultados para  $M_f$ , dimensão máxima característica e massa

unitária iguais a 2,17; 2,4 mm; e  $1640 \text{ kg m}^{-3}$ , respectivamente. Pela classificação da NBR 7211 (2005), o resíduo de britagem de rochas calcárias pode ser classificado como agregado fino, o que justifica as diferenças notadas entre os dois materiais.

Com relação à massa unitária dos agregados usados neste trabalho, foram encontrados os valores de 1479,3; 1433,9; 1391,7 e  $1243,5 \text{ kg m}^{-3}$  para a porção da areia superior a 1,2 mm, areia inferior a 1,2 mm, resíduo de britagem e agregado graúdo, respectivamente.

Quanto às resistências aos 28 dias referentes ao fator a/c avaliados, o maior valor nominal obtido foi para a relação a/c de 0,65, entretanto, não houve diferença estatística com a relação a/c de 0,55 (Tabela 4).

Argamassas ideais devem apresentar qualidades como resistência, trabalhabilidade, compacidade, impermeabilidade, durabilidade e estabilidade dimensional, e que essas propriedades devem interagir entre si. É possível que o aumento da quantidade de água de amassamento a partir de 0,55 tenha aumentado a trabalhabilidade e contribuído para a obtenção



Figura 3 - Molde utilizado na confecção dos blocos.

Tabela 2 - Valores da granulometria da areia natural.

Abertura	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
4,8 mm	21,45	4,29	4,29
2,36 mm	73,64	14,728	19,018
1,2 mm	148,98	29,796	48,814
600 $\mu\text{m}$	132,85	26,57	75,384
300 $\mu\text{m}$	88,19	17,638	93,022
150 $\mu\text{m}$	28,02	5,604	98,626
Fundo	8,01	1,602	100
Total	500	100	MF = 3,39

Tabela 3 - Valores da granulometria do resíduo de britagem.

Abertura	Massa retida (g)	% retida	% retida acumulada
4,8 mm	--	--	--
2,36 mm	0,69	0,138	0,138
1,2 mm	10,3	2,06	2,198
600 $\mu$ m	139,53	27,906	30,104
300 $\mu$ m	152,32	30,464	60,568
150 $\mu$ m	103,22	20,644	81,212
Fundo	95,5	19,1	100,312
Total	501,56	100,312	MF = 1,74

de uma argamassa mais compacta influenciando, assim, na sua resistência final.

Para a resistência referente ao fator teor de substituição de areia por resíduo de britagem, os mais altos valores foram encontrados para os três maiores teores de substituição (Tabela 5). Estes resultados podem ser compreendidos quando levado em consideração que o resíduo de britagem possui cerca de 80% de sua granulometria localizada entre as peneiras 600 e 150  $\mu$ m e que esta grande quantidade de partículas de pequeno diâmetro pode atuar como um lubrificante entre as partículas maiores de agregado e de cimento Portland, favorecendo a qualidade das argamassas.

Observou-se não haver diferença significativa entre as relações a/c de 0,55 e 0,65 para todos os teores de substituição de agregado avaliados (Tabela 6). Analisando isoladamente os valores de resistência para a relação a/c de 0,45, o menor valor foi encontrado para a argamassa sem adição de resíduo (0% de substituição). Quanto às demais relações de a/c (0,55 e 0,65), não se observou diferença estatística para quaisquer dos teores de substituição. Assim, pode-se recomendar o uso desse tipo de resíduo na sua totalidade com uma relação a/c de 0,55.

O ensaio de consistência das misturas mostrou não haver diferença estatística entre as relações de a/c 0,45 e 0,55, fenômeno não seguido pela relação a/c de 0,65, o qual apresentou os maiores valores de espalhamento, ou seja, entre 137 e 193 mm. Notou-se visualmente melhora na trabalhabilidade das argamassas à medida que se acrescia a quantidade de água

Tabela 4 - Médias de resistência à compressão obtidas para a relação água/cimento.

Relação Água/Cimento	Média (MPa)
Relação 0,45	9,1 b
Relação 0,55	19,1 a
Relação 0,65	20,2 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Tabela 5 - Médias de resistência à compressão obtidas para o teor de substituição de areia.

Teor de substituição	Média (MPa)
0%	14,67 bc
30%	14,19 c
50%	17,08 a
70%	16,60 ab
100%	18,07 a

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

passando de uma consistência seca para fluida.

Para o Slump Test, o valor obtido para a adição de 100% de resíduo de britagem e relação a/c igual a 0,55 foi de 100 mm, enquanto que Barbosa et al. (2008) obtiveram um abatimento de 50 e 140 mm para argamassas com incorporação total de rejeito de granito e mármore triturados, respectivamente. Orso et al. (2006) citam que argamassas com baixa resistência ao cisalhamento, mas ao mesmo tempo rígida suficiente para permanecer estável numa declividade de 10:1 (V:H), devem corresponder a um slump entre 100 e 150 mm, o que indica

Tabela 6 - Interação entre as médias de resistência à compressão para a relação água/cimento e teor de substituição da areia.

Relação Água/cimento	Teor de substituição da areia				
	0%	30%	50%	70%	100%
0,45	5,1 Cb	6,9 BCb	11,2 Ab	10,2 ABb	12,0 Ab
0,55	19,6 Aa	16,9 Aa	18,5 Aa	20,3 Aa	20,1 Aa
0,65	19,3 Aa	18,7 Aa	21,5 Aa	19,3 Aa	22,1 Aa

As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

DMS = Diferença Mínima Significativa.

Valores em MPa.

que o resultado encontrado nesta pesquisa deva ser adequado à confecção de blocos.

## CONCLUSÕES

Conclui-se que resíduos de britagem de rochas graníticas podem ser satisfatoriamente utilizados em substituição a areia natural como agregado miúdo por aumentar sua resistência à compressão e melhorar sua consistência. Para a confecção de blocos de concreto alternativo recomenda-se a utilização de uma concentração de 100% de resíduo como material fino menor que 1,2 mm e relação água/cimento de 0,55.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M. T. G. et al. Estudo sobre a areia artificial em substituição a areia natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, p.51-60, 2008.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concretos de cimento Portland**. 2006. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do

Paraná, Curitiba, 2006.

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra balsática em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual de São Paulo (Unesp), Ilha Solteira.

NASCIMENTO, J. W. B. et al. Blocos de concreto para construção modular de silos cilíndricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, p.991-998, 2009.

NBR NM 67. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.

NBR 7215. Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.

NBR 13276. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006.

NETO, C. S. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos**. São Paulo: Areia e Brita, n.12, p.26-28, 1999.

ORSO, J. M. et al. Ensaio em laboratório

de barreira com solo-bentonita. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, 21., 2006, Ijuí. **Anais eletrônicos...** Ijuí: UFRGS, 2006. Disponível em: <<http://200.169.53.89/download/.../2006/.../729324-egc-04-09-110326.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2009.

SILVA, J. et al. Avaliação do comportamento à água de argamassas com incorporação de agregados cerâmicos. **Engenharia Civil**, Guimarães, n.28, p.37-46, 2007.