

Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias

Use of granite waste as substitute for Portland cement in cementitious matrices

Douglas Marcus de Oliveira (1); Tatiana Nunes Oliveira (2); Augusto Cesar da Silva Bezerra (3); Viviane de Jesus Gomes (4); Ricardo André Fiorotti Peixoto (5)

(1) Engenheiro Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

(2) Mestre, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

(3) Professor Mestre, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

(4) Professora Mestre, Universidade do Estado de Minas Gerais

(5) Professor Doutor, Universidade Federal de Ouro Preto -MG

Rua Coronel Inácio Murta, 108, Bairro Jardim Itaú, Vespasiano. CEP 33200-000

clefimalo@yahoo.com.br

(31)88595209

Resumo

A indústria de rochas ornamentais gera volume significativo de resíduos sólidos durante todo o processo de beneficiamento de seus produtos. Visando contribuir para a reinserção do resíduo sólido de beneficiamento do granito ao ciclo produtivo e desenvolvimento de produtos de base tecnológica este trabalho objetiva analisar propriedades físicas do resíduo ativado e in-natura, bem como avaliar as propriedades mecânicas de uma matriz produzida com substituições de cimento Portland por lama de granito. O modelo experimental apresentado neste trabalho utilizou resíduo de granito *in-natura* e ativado mecanicamente segundo diferentes dosagens. Os materiais foram caracterizados segundo propriedades de interesse de engenharia. As matrizes produzidas com estas adições em substituição ao cimento Portland foram submetidas a programa de ensaios destrutivos para a determinação do índice de atividade pozzolânica e resistência à compressão uniaxial para matrizes nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias. A análise destes resultados mostraram que o resíduo não possui característica pozzolânica e que as resistências mecânicas são afetadas negativamente com a substituição do cimento Portland pelo resíduo in-natura ou ativado.

Palavra-Chave: Matriz cimentícia; Sustentabilidade; Lama de granito; Tecnologia de materiais; Reciclagem.

Abstract

The ornamental industry generates significant amounts of solid waste throughout the process of improvement of their products. To contribute to the rehabilitation of solid waste from the processing of granite production cycle and development of technology based products this work aims to analyze the physical properties of the residue on and in-kind as well as evaluate the mechanical properties of a matrix of cement produced with substitutions Portland by granite mud. The experimental model presented in this study used granite waste in natura and mechanically activated under different dosages. The materials were characterized according to properties of interest in engineering. The matrices produced with these additions to replace Portland cement were subjected to destructive testing program for determining the pozzolanic activity index and uniaxial compressive strength for arrays at ages 1, 3, 7 and 28 days. Analysis of these results showed that the residue does not have pozzolanic characteristics and mechanical resistance are negatively affected with the replacement of Portland cement by waste or activated in-natura.

Keyword: Keywords: Cementitious matrix; Granite lama, materials technology, recycling.

1 Introdução

Comercialmente, as rochas ornamentais e de revestimento são classificadas como granitos e mármore, e correspondem a 90% da produção mundial (PEITER *et al*, 2001). Apesar de representar grande potencial econômico, a indústria de rochas ornamentais gera por ano toneladas de resíduos que são descartados no meio ambiente ou depositados em aterros de maneira irregular que, segundo OLIVEIRA (2010), se transformam em um grave problema urbano.

Os processos de extração, serragem e acabamento são os responsáveis grande parte da produção de resíduos na indústria de rochas ornamentais. A figura 1 representa o fluxograma da geração de resíduos a partir do beneficiamento das rochas ornamentais.

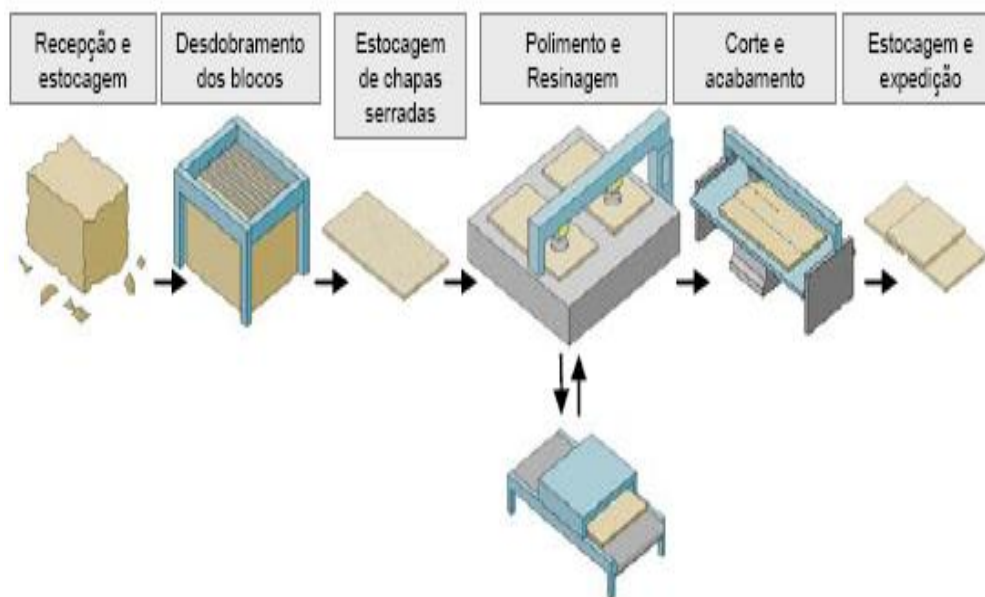


Figura 1: Fluxograma industrial de beneficiamento de granito
Fonte: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

Como o volume de resíduos inorgânicos aumenta a cada ano, torna-se necessário pensar em alternativas de reciclagem e reutilização visando reintroduzir estes materiais no ciclo produtivo.

Dentre os resíduos produzidos pelo setor industrial, já se comprovou que a “lama de granito” advinda da serragem e do polimento das chapas de granito pode ser reutilizada em materiais cerâmicos e de concreto de forma sustentável (MENEZES *et al*, 2002; GONÇALVES *et al*, 2002).

Desta forma, neste trabalho propôs-se a utilização do resíduo de corte de granito na construção civil como substituição ao cimento em matrizes cimentícias.

2 Materiais e métodos

Os materiais utilizados para a produção da pasta cimentícia neste estudo foram caracterizadas por meio de ensaios, seguindo as normas da ABNT.

2.1 Agregado miúdo

Como agregado miúdo utilizou-se areia que se apresentou de acordo com as prescrições estabelecidas na norma NBR 7211/2005.

2.1.1 Composição granulométrica

A areia teve sua composição granulométrica determinada de acordo com a NBR NM 248/2003 que prescreve como massa mínima para realização do ensaio amostra de 300g. Para o peneiramento utilizou-se 500g da amostra de areia que foram secas em estufa por 24 horas e resfriadas posteriormente a temperatura ambiente.

A amostra foi peneirada sendo pesadas as quantias retidas em cada peneira. O ensaio foi realizado duas vezes e o resultado final se deu através da média das duas determinações.

O módulo de finura foi obtido pela soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal dividido por 100.

2.1.2 Massa específica

A massa específica da areia foi realizada conforme a NBR 9776/1987, por meio do frasco de Chapman, ilustrado na figura 2.



Figura 2 – Ensaio de massa específica utilizando o frasco de Chapman.

A massa específica foi calculada através da equação 1.

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (1)$$

Sendo:

γ = massa específica do agregado miúdo expressa em g/cm^3 ;

L = leitura do frasco (volume ocupado por água – agregado miúdo).

2.1.3 Teor de umidade

O teor de umidade da amostra foi determinado de acordo com a NBR 9939/1987. As amostras foram pesadas em seu estado seco ao ar e seca em estufa a 105°C .

O teor de umidade foi calculado utilizando-se a equação 2.

$$Tu = \frac{Pu - Ps}{Ps} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Sendo:

Tu = teor de umidade em %;

Pu = peso úmido;

Ps = peso seco.

2.2 Resíduo de granito

Como adição utilizou-se resíduo de granito, gerado no desdobramento de blocos em tear de fio diamantado, oriundo de empresa de beneficiamento de rochas ornamentais localizada no estado do Espírito Santo. A lama apresentou-se com coloração escura quando úmida e mais clara quando seca, conforme figura 3 a seguir.



Figura 3: Resíduo de granito em seu estado úmido e seco.

As amostras de resíduo foram acondicionadas em recipientes plásticos, identificados e lacrados em sua origem, e transportadas para o laboratório do Grupo de Pesquisa Reciclos.

O resíduo foi seco em estufa a 105°C, moído em moinho de bolas cerâmico com diâmetro de 36cm e comprimento igual a 46cm. A ativação mecânica ocorreu durante 12 e 24 horas, obtendo-se assim, amostras de resíduo de granito ativado mecanicamente durante 12 horas (RGAM12) e 24 horas (RGAM24), respectivamente, conforme ilustra a figura 4.



Figura 4 – Amostras de RGN, RGAM12 e RGAM24.

2.3 Matrizes

O traço da matriz referência (REF) do experimento é composto com proporção em massa de 1:3 de cimento: areia e com relação água/cimento de 0,48, determinada segundo dosagens em atendimento ao espalhamento da argamassa obtida na mesa de fluxo.

Outras 6 matrizes foram criadas substituindo a quantidade de cimento da matriz referência por:

- 10% de Resíduo de Granito Natural (RGN10%);
- 20% de Resíduo de Granito Natural (RGN20%);
- 10% de Resíduo de Granito Ativado Mecanicamente por 12 horas (RGAM12 10%);
- 20% de Resíduo de Granito Ativado Mecanicamente por 12 horas (RGAM12 20%);
- 10% de Resíduo de Granito Ativado Mecanicamente por 24 horas (RGAM24 10%);
- 20% de Resíduo de Granito Ativado Mecanicamente por 24 horas (RGAM24 20%).

2.3.1 Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido foi realizado segundo prescrições da NBR 13280/2005. Este ensaio foi realizado com três corpos de prova com dimensões

4cmx4cmx26cm aos 28 dias de idade. Para tanto, determinou-se as dimensões exatas, conforme figura 5, de cada corpo de prova com o auxílio de um paquímetro.



Figura 5 – Utilização do paquímetro para determinação das dimensões dos Cp's.

Para determinar o volume em centímetros cúbicos, por meio da equação 3.

$$V = L \times H \times C \text{ (cm}^3\text{)} \quad (3)$$

Sendo:

L = largura, em centímetros;

H = altura, em centímetros;

C = comprimento, em centímetros.

O valor da densidade de massa no estado endurecido é obtido pela equação 4.

$$\rho_{m\acute{a}x} = \frac{M}{V} \times 1000 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \quad (4)$$

Sendo:

$\rho_{m\acute{a}x}$ = densidade de massa no estado endurecido;

M = massa (g);

V = volume (cm³).

2.3.2 Resistência à compressão

Os corpos de prova cilíndricos para o ensaio de resistência à compressão foram feitos em conformidade com a NBR 7215/1996. A matriz foi preparada por meio de um misturador mecânico e compactada manualmente nos moldes, preenchendo-os com quatro camadas aproximadamente iguais, recebendo cada camada 30 golpes uniformes com um soquete. Após período de cura de 24 horas os corpos de prova foram desmoldados, identificados e imersos em recipiente contendo água, conforme ilustra a figura 6 a seguir.



(a)



(b)

Figura 6 – Moldagem e Preparação CP's para Ensaio de Compressão.

(a) CP's Desmoldados e Identificados (b) Processo de Cura

Os Cp's foram rompidos nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.

3 Resultados

3.1 Agregado miúdo

3.1.1 Composição granulométrica

Para caracterização dos agregados miúdos, obteve-se a composição granulométrica da amostra de areia. O módulo de finura foi de 2,15 (entre 1,55 e 2,20), a dimensão máxima do agregado foi de 2,4 mm e a porcentagem de material pulverulento correspondeu a 3,4% (abaixo de 5%).

A tabela 1, apresentada a seguir, demonstra a porcentagem média retida acumulada da amostra de agregado miúdo.

Tabela 1 – Porcentagem média retida e acumulada da amostra de areia.

Peneira (mm)	Retido		Passante	
	(gr)	(%)	(gr)	(%)
4,8	0,00	0,00%	500	100,00%
2,4	2,90	0,58%	497,1	99,42%
1,2	10,75	2,73%	486,35	97,27%
0,6	54,35	13,60%	432	86,40%
0,3	175,50	48,70%	256,5	51,30%
0,15	215,65	91,83%	40,85	8,17%
Fundo	40,85	100,00%	0	0,00%

3.1.2 Massa específica

Como resultado do ensaio de determinação da massa específica da areia utilizada no experimento foi encontrado $2,56 \text{ g/cm}^3$.

3.1.3 Teor de umidade

O valor de 1,16% foi encontrado como resultado do ensaio de determinação do teor de umidade do agregado miúdo utilizado neste experimento.

3.2 Matrizes

3.3.1 Densidade de massa no estado endurecido

Como resultado do ensaio de determinação da densidade de massa de cada uma das matrizes no estado endurecido obteve-se os valores representados na figura 7.

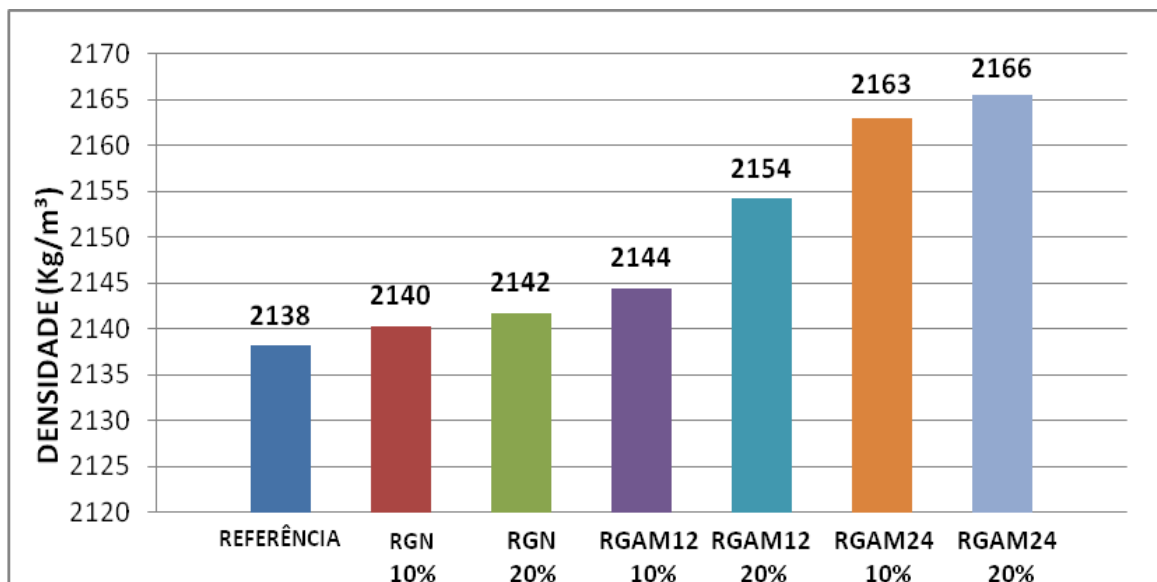


Figura 7- Resultados da densidade da massa no estado endurecido.

Observa-se que houve um crescimento de massa específica no estado endurecido na medida em que os teores de substituição e tempo de moagem aumentam. Comparando os teores de substituição RGN e RGAM24, proporcionalmente, nota-se que possuem resultados semelhantes tanto para 10% quanto 20% de substituição. Já o RGAM12 é a formulação com maior diferença em massa para teores de 10% e 20% de resíduo de granito.

3.3.2 Resistência à compressão

Os resultados do ensaio de resistência a compressão axial se representam na tabela 2.

Tabela 2: Resultados Resistência a Compressão Axial

Idade Rompimento	<i>Resistência Média à Compressão (MPa)</i>						
	REF	RGN 10%	RGN 20%	RGAM12 10%	RGAM12 20%	RGAM24 10%	RGAM24 20%
1 dia	28,61	23,22	19,91	21,51	21,39	23,65	18,87
3 dias	37,51	36,29	29,48	35,00	32,43	31,50	30,04
7 dias	40,28	38,62	30,82	38,43	36,12	36,27	34,97
28 dias	48,32	43,69	36,30	43,72	42,72	41,23	37,56

As figuras 8, 9 e 10 comparam os resultados de resistência à compressão da matriz referência com as matrizes com adições de RGN, RGAM12 e RGAM24, respectivamente, nas idades de 1 a 28 dias.

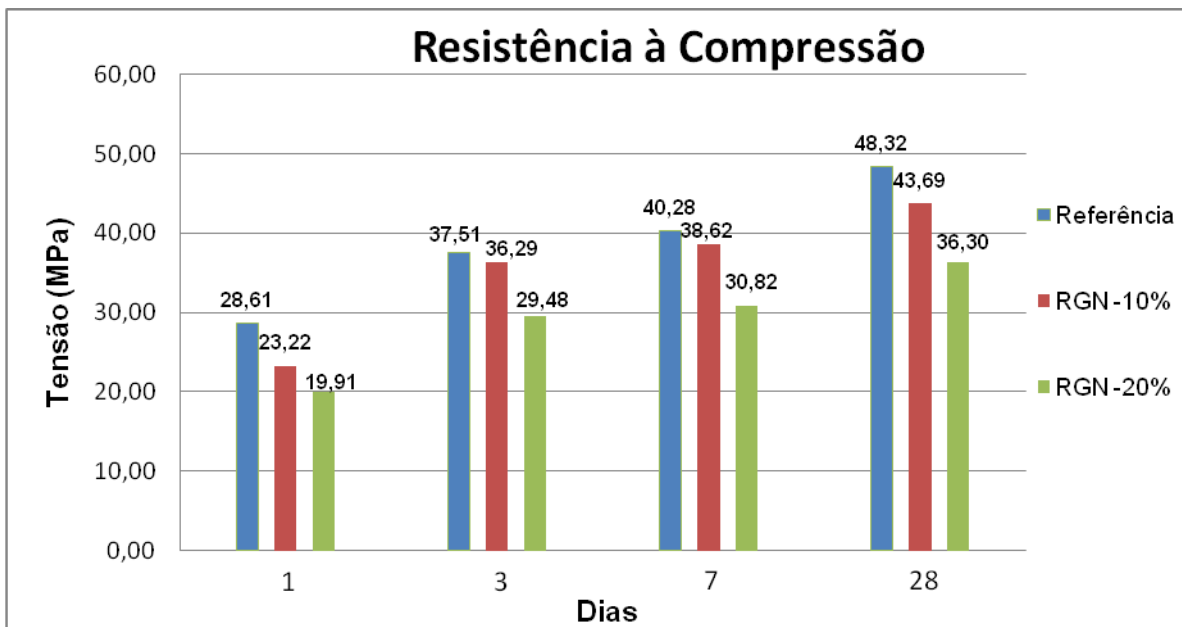


Figura 8 – Comparação entre resultado da matriz referência com matrizes com substituição de cimento por RGN10% e RGN20%.

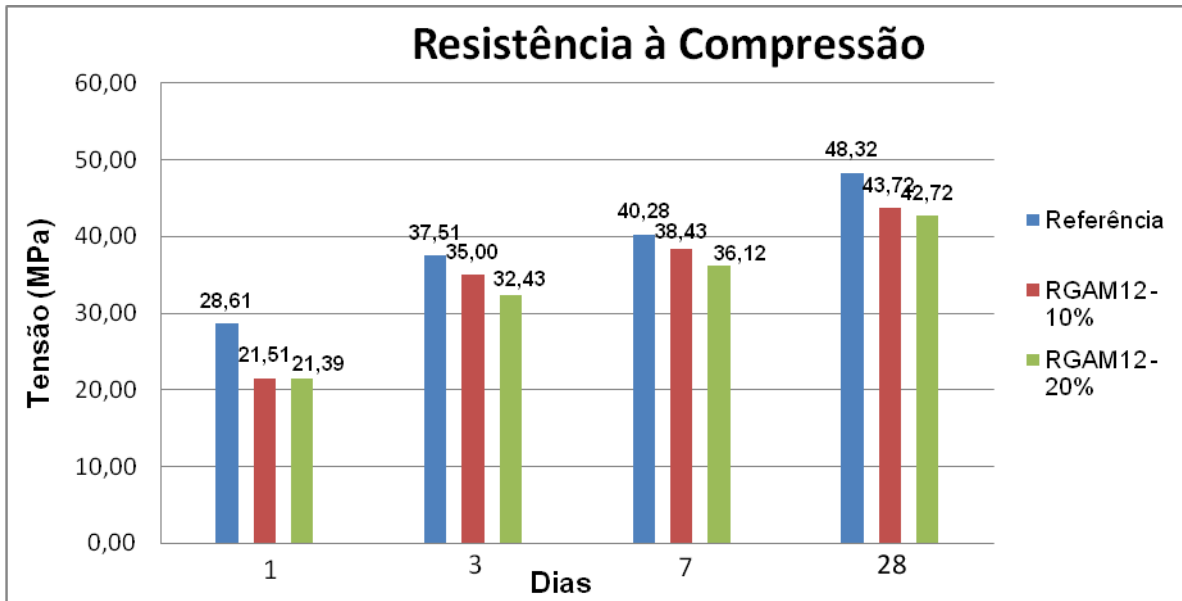


Figura 9 – Comparação entre resultado da matriz referência com matrizes com substituição de cimento por RGAM12-10% e RGAM12-20%.

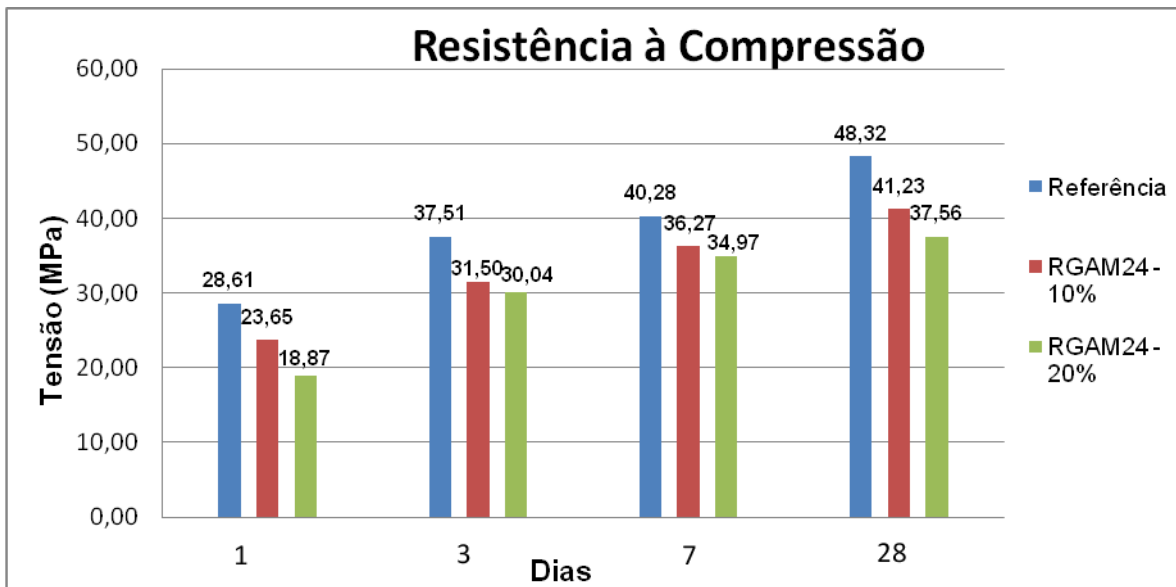


Figura 10 – Comparação entre resultado da matriz referência com matrizes com substituição de cimento por RGAM24-10% e RGAM24-20%.

As figuras 11, 12 e 13 representam as curvas de tendência para o período de 1 a 28 dias da matriz referência em comparação às matrizes com adição de resíduo de granito.

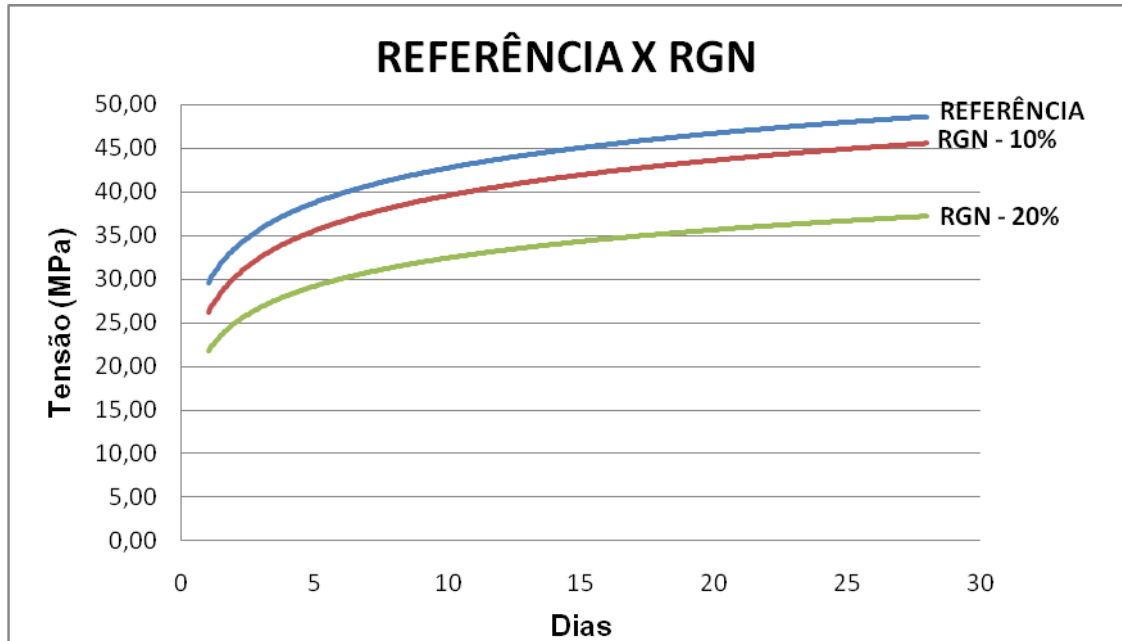


Figura 11: Gráfico comparativo - Referência x RGN. (Ensaio de compressão).

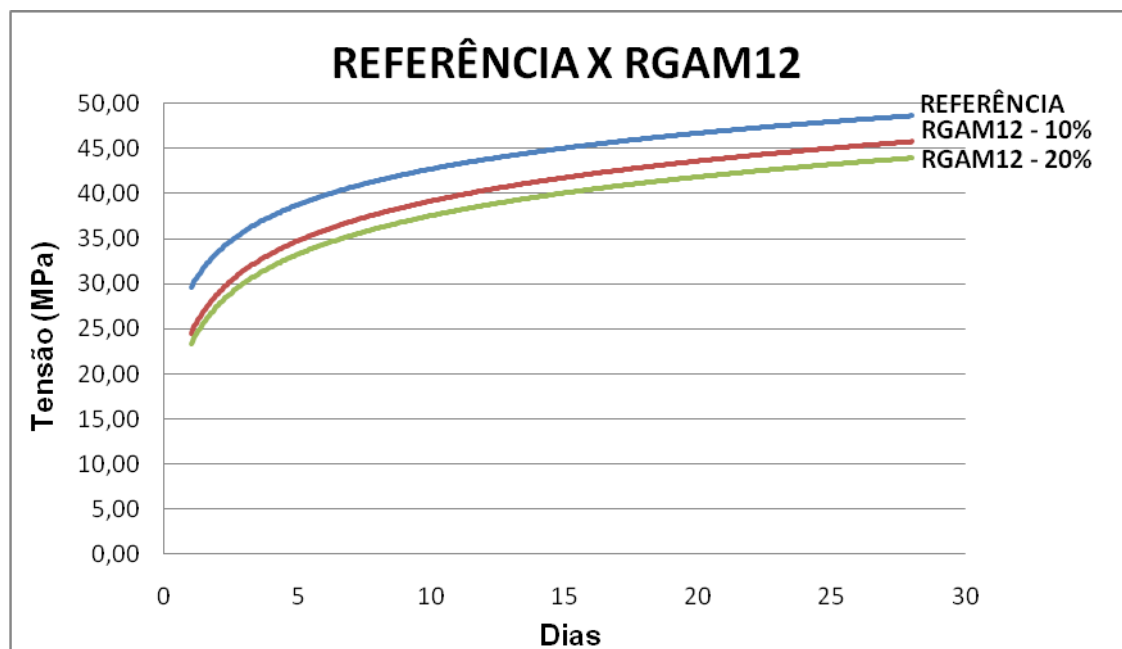


Figura 12: Gráfico comparativo - Referência x RGAM12. (Ensaio de compressão).

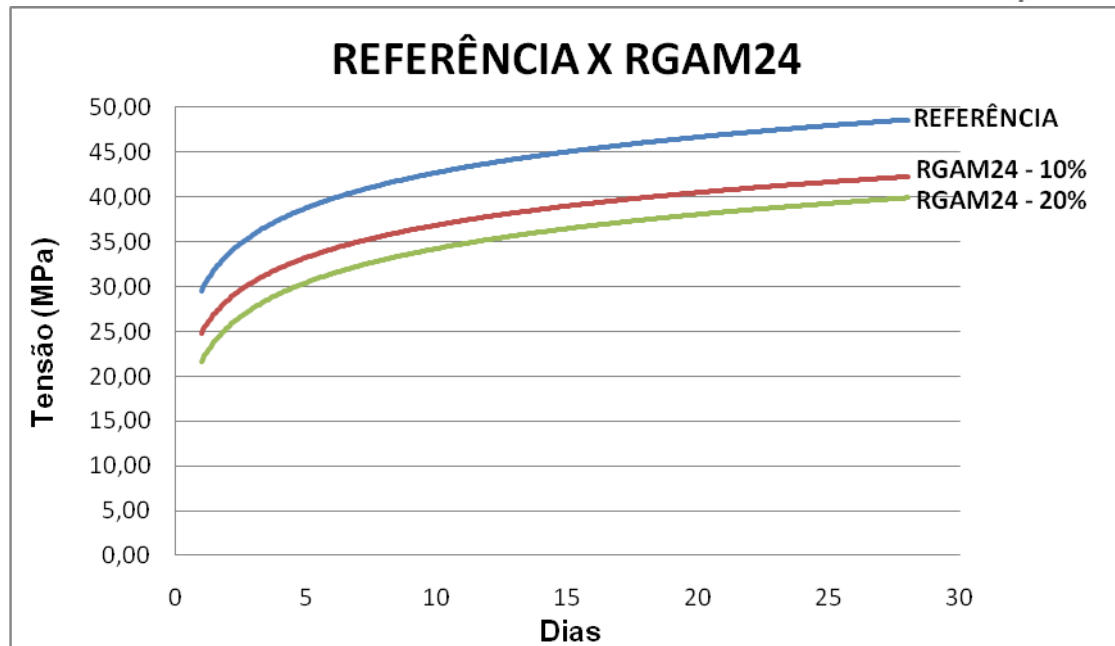


Figura 13: Gráfico comparativo - Referência x RGAM24. (Ensaio de compressão).

Segundo os resultados obtidos, percebe-se que as matrizes com substituição possuem resistência à compressão inferior à da matriz referência.

4 Conclusões

Pelos resultados conclui-se que a granulometria da amostra de areia utilizada no experimento se encontra dentro da zona utilizável proposta pela norma NBR 7211/2005. A substituição do cimento por resíduo de granito produziu resultados de resistência à compressão inferiores aos valores de referência.

Pelo estudo realizado conclui-se, por fim, que a substituição do cimento por resíduo de granito não oferece vantagens para a matriz cimentícia no que diz respeito à resistência à compressão uniaxial.

Com os resultados obtidos pode-se concluir que, a substituição do cimento por resíduo de granito não representa solução adequada de acordo com as técnicas e procedimentos estabelecidos nesta pesquisa experimental.

5 Agradecimentos

Grupo de Pesquisa RECICLOS
CEFET-MG
Santo Antônio Granitos Ltda
CNPQ
FAPEMIG

6 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. **Agregado para concreto – especificação**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. **Cimento Portland – Determinação da Resistência á compressão**. Rio de Janeiro. 1996

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776. **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9939. **Agregados – Determinação do teor de umidade total, por secagem**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. **Agregados - determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; MOLIN, D. C. C.. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto**. Porto Alegre - RS, jan. /mar. 2002. v.2, n.1, p. 53-68.

MENEZES R. R. et al. **Uso de rejeitos granitos como matérias-primas cerâmicas**. Paraíba, 2002. p. 92-101. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v48n306/10685.pdf>>. Acesso em: 28 de agosto de 2010.

OLIVEIRA, T. N. et al. **Comportamento de blocos de concreto produzidos com escória de aciaria para alvenarias**. I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. Bahia 2010.

PEITER, C.C. *et al.* **Rochas Ornamentais no século XXI: bases de desenvolvimento sustentado das exportações brasileiras**. Rio de Janeiro: Cetem/Abirochas. 150p, 2001.