



**ENTAC2006**

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE ROCHAS ORNAMENTAIS (RSRO) COMO SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS PRÉ-MOLDADOS DE ARGAMASSA**

**Washington A. Moura (1); Mônica B. Leite Lima (2); João Luiz Calmon Nogueira da Gama (3); Markus Moratti (4), Fernando Lordêllo dos Santos Souza (5)**

(1) e (2) Departamento de Tecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Brasil - E-mail: (1) [wam@uefs.br](mailto:wam@uefs.br); E-mail: (2) [mleite@uefs.br](mailto:mleite@uefs.br) -

(3), (4) e (5) Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil - Email: (3) [calmont@npd.ufes.br](mailto:calmont@npd.ufes.br); (4) Email: [markusmoratti@gmail.com](mailto:markusmoratti@gmail.com); (5) E-mail: [fernaldon@npd.ufes.br](mailto:fernaldon@npd.ufes.br)

### **RESUMO**

**Proposta:** O Brasil é o quinto maior produtor de rochas ornamentais no mundo. Os Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Ceará são os maiores produtores, gerando, conseqüentemente, cerca de 800.000t/ano de resíduo no beneficiamento das rochas. A inserção desse resíduo na cadeia produtiva seria de grande importância para o setor. Atualmente, o resíduo vem sendo depositado no pátio das empresas e até em áreas sub-locadas, o que implica em elevados custos. Nesse trabalho, avalia-se a possibilidade de utilização do resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO), mármore e granito, para produção de blocos pré-moldados para habitação de interesse social. Esse é um estudo que está sendo desenvolvido em parceria com a Universidade Federal do Espírito Santo, com apoio do da FINEP e do Centro Tecnológico do Mármore e Granito (CETEMAG). **Método de Pesquisa:** O estudo consiste em caracterizar o resíduo e produzir blocos pré-moldados, substituindo o cimento por RSRO. Os teores de substituição são 5%, 10% e 15%. As peças produzidas foram avaliadas quanto à resistência à compressão. Foram produzidos blocos de alvenaria de vedação de (9x19x39) cm. **Resultados:** Os resultados de ensaios de risco ambiental classificam o RSRO como Classe III – Inerte. Os blocos produzidos com RSRO e ensaiados para determinação da resistência à compressão apresentaram bom desempenho, para alguns teores de substituição do cimento. **Contribuição/Originalidade:** Viabilização da utilização do resíduo de rochas ornamentais como substituição parcial do cimento.

**Palavras-Chave:** Blocos pré-moldados, resíduo de serragem de rochas ornamentais, aproveitamento de resíduos.

### **ABSTRACT**

**Propose:** Worldwide, Brazil is the fifth producer of natural dimension stone industry. The states of Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia and Ceará are the major producers in Brazil. As well, they generate nearly 800.000 tons/year of dimension stone sawing residue (DSSR). The incorporation of this kind of residue in other industrial activities as a by-product is of great value to the dimension stone industry. In nowadays, the DSSR is disposed at land industries, or at rent areas. This solution makes production costs arise. This paper deals with the utilization of DSSR, marble plus granite, to pre-cast block social dwelling interest. This study is developed by Stated University of Feira de Santana and Federal University of Espirito Santo. It has a financial suport from FINEP, CNPq, and Technological Center of Marble and Granite (CETEMAG). **Methods:** The aim of this study is to to characterize the DSSR and to produce pre-cast blocks, using 5%, 10% and 15% of cement replacement by DSSR. The precast blocks were evaluated from compressive strength, at 7 and 28 days age. **Findings:** The results showed that DSSR is a low environmental risk residue, it is inert. The precast blocks made with DSSR achieved good performance to some substitution rate of cement.

**Originality/value:** Viabilization of the use of dimension stone sawing residue as mineral admixture to Portland Cement substitution.

**Key-words:** precast blocks, dimension stone sawing resíduo (DSSR), residue utilization.

## 1.0 Introdução

Um grande volume de resíduos gerado nos diversos processos de produção vem, cada vez mais, preocupando a sociedade, em função da degradação ambiental que estes resíduos podem provocar. A indústria da construção civil é um dos setores que mais consome recursos naturais e, por outro lado, parece se apresentar com grande potencial para absorver os resíduos sólidos.

A produção de rochas ornamentais, na maioria das empresas brasileiras, é feita a partir da serragem, em chapas, de grandes blocos de pedra, em equipamentos chamados teares. Após extraídas, as rochas ornamentais, em forma de maticões, são transportadas até as serrarias para o desdobramento ou serragem (processo de transformação dos blocos em chapas ou placas semi-acabadas, de espessuras que variam de 1 a 3cm, utilizando máquinas denominadas de teares). A serragem pode ser feita através de fio diamantado ou utilizando polpa abrasiva. A grande maioria das serrarias utiliza polpa abrasiva no corte, que tem como principais objetivos: lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de veículo ao abrasivo e limpar os canais entre as chapas. A polpa abrasiva é composta por água, granalha (aço), cal e rocha moída. Geralmente a polpa é distribuída por chuveiros sobre o bloco através de bombeamento.

Na serragem cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em pó, que são colocados nos pátios das empresas, ocasionando problemas de transporte, de deposição e ambientais. No Brasil, a quantidade estimada da geração de resíduos de rochas ornamentais é cerca 800.000t/ano (CHIODI FILHO, 2005). Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Ceará, Rio de Janeiro, Paraíba, são os estados que mais geram estes resíduos (GONÇALVES, 2000).

Alguns pesquisadores vêm estudando o aproveitamento do resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO), buscando contribuir para o desenvolvimento sustentável e um maior aproveitamento de resíduos na construção civil, (CALMON *et al.*, 1997; MOURA *et al* 2002; CRUZ *et al.*, 2003), tijolos cerâmicos (NEVES *et al.*, 1999), peças cerâmicas (LIMA FILHO *et al.* 1999) e concretos (GONÇALVES, 2000).

Estudos desenvolvidos por Calmon *et al.* (1997) e Moura *et al.* (2002) verificaram que a utilização de RSRO promoveu um incremento no desempenho mecânico de argamassas para assentamento e revestimento. Este incremento motivou que um grupo de pesquisadores da Universidade Estadual de Feira de Santana e da Universidade Federal do Espírito Santo, desenvolvessem um projeto de pesquisa que estudou a utilização de resíduo de rochas ornamentais (RSRO) para habitação de interesse social. Neste projeto o resíduo foi utilizado na produção de blocos de argamassa e de concreto para alvenaria de vedação e estrutural, respectivamente, além de pisos intertravados. Foram estudados quatro amostras diferentes de RSRO, sendo duas coletadas na região de Feira de Santana e duas da região de Cachoeiro do Itapemirim. Duas amostras foram geradas a partir da serragem com fio diamantado e duas utilizando a polpa abrasiva. Para a viabilização técnica da utilização do RSRO é necessário que o resíduo seja inicialmente caracterizado do ponto de vista físico, química e ambiental.. O projeto é financiado pela FINEP – Financiadora de Projetos, com contrapartida do CETEMAG - Centro Tecnológico de Mármore e Granito.

## 1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência de diferentes teores de substituição de cimento por resíduo gerado no processo de serragem de rochas ornamentais utilizando polpa abrasiva, para produção de blocos de argamassa para alvenaria de vedação.

Tem-se como objetivos específicos: avaliar as características físicas, químicas e de risco ambiental do resíduo; estudo da dosagem da argamassa para produção dos blocos; avaliação da resistência à compressão.

## 2.0 PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiais Empregados

Na parte experimental foram utilizados cimento, areia, resíduo de serragem de rochas ornamentais (RSRO) e água. As características destes materiais estão apresentadas a seguir.

#### 2.1.1 Caracterização do Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais (RSRO)

No programa experimental do projeto foi definido que seria estudado o resíduo de duas empresas de beneficiamento de rochas ornamentais, localizadas na cidade de Feira de Santana, e duas no Estado do Espírito Santo. Em cada um dos estados foi coletado resíduo em uma empresa que utiliza serragem dos blocos com fios diamantados, e na outra empresa em que a serragem é feita com o auxílio de polpa abrasiva. Neste trabalho serão apresentados apenas os resultados do estudo com utilização de resíduo gerado pelo processo de serragem com polpa abrasiva.

A amostragem do resíduo foi estabelecida de acordo com a NBR 10007/1987- Amostragem de Resíduos, segundo o item 5.1.6, sendo coletado um volume em torno de 5m<sup>3</sup>, para cada amostra. A Figura 1 mostra um aspecto do resíduo depositado no pátio de uma das empresas geradoras. Após coletadas, as amostras foram depositadas em baias localizadas na UEFS - Universidade Estadual de Feira de Santana e UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. Após a secagem, ao ar, o RSRO foi destorroado. Na UEFS o destorroamento foi feito em moinho de bolas horizontal, durante 2 minutos, enquanto que na UFES foi realizado num britador de mandíbula plana.



**Figura 1** Aspecto da deposição de RSRO no pátio da empresa geradora

Do ponto de vista das propriedades físicas do RSRO foram avaliadas a massa específica, determinada de acordo com as prescrições normativas da NBR NM 23 (ABNT, 2001), e a massa unitária, obedecendo as prescrições da NBR 7251 (ABNT, 1982) e granulometria a laser.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para os ensaios acima citados, tanto na UEFS quanto na UFES.

**Tabela 1** Resultados de massa específica, massa unitária e diâmetro médio do RSRO

TIPO DE RESÍDUO	Massa Específica (kg/dm <sup>3</sup> )	Massa Unitária (kg/dm <sup>3</sup> )	Diâmetro Médio (μm)
RSROPA UEFS	2,740	1,010	2,035
RSROPA UFES	2,756	1,028	1,359

RSROPA – Resíduo de Serragem de Rochas Ornamentais obtido com Polpa Abrasiva

O diâmetro médio do RSRO é bastante inferior ao do cimento, que é da ordem de 10 μm.

Os ensaios de caracterização química e de risco ambiental foram realizados em laboratório especializado, em Porto Alegre. A Tabela 2 apresenta a composição química das amostras utilizadas em cada uma das instituições de pesquisa.

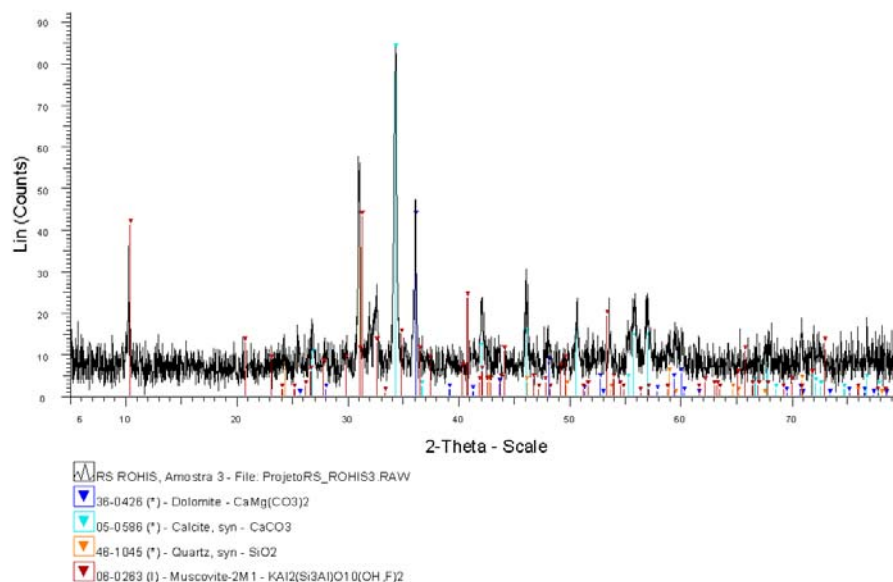
Com base na análise química, o resíduo é composto, basicamente, por cálcio, alumínio, magnésio e ferro.

**Tabela 2** Composição Química do RSRO da UEFS, serrado com polpa abrasiva

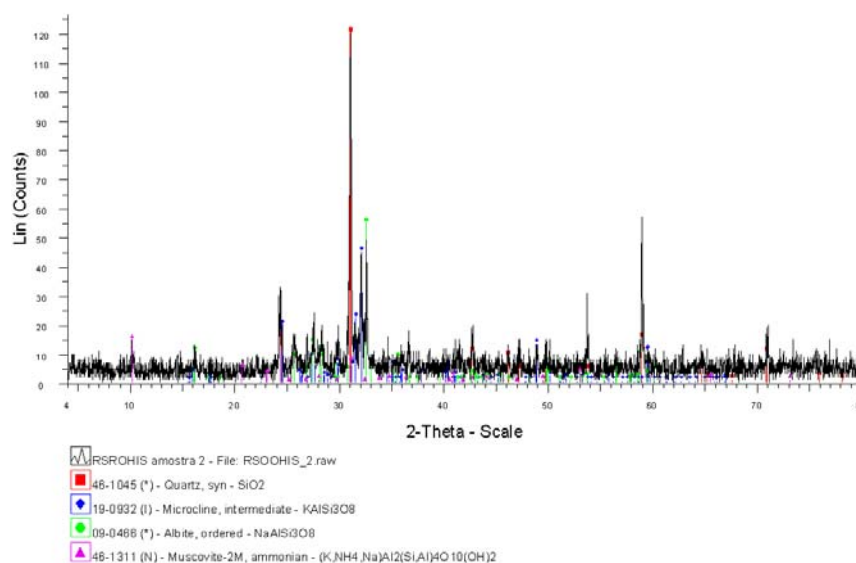
Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra		% elementos	
		UEFS	UFES	UEFS	UFES
pH (mistura 1:1 em água)	-	9,3	9,2	-	-
Umidade	(%)	3,1	2,8	-	-
Matéria Orgânica	(%)	0,9	4,7	-	-
Cinzas	(%)	96,0	92,5	-	-
Alumínio	(mg/kg)	1.850,0	4.670,0	1,63	21,87
Cádmio	(mg/kg)	3,5	ND*	0,003	-
Cálcio	(mg/kg)	92.000,0	8.446,0	81,29	39,55
Chumbo	(mg/kg)	36,0	ND*	0,03	-
Cromo	(mg/kg)	131,0	ND*	0,12	-
Ferro	(mg/kg)	3.241,0	2.775,0	2,86	13,00
Magnésio	(mg/kg)	15.852,0	5.463,0	14,01	25,58
Níquel	(mg/kg)	66,0	ND*	0,06	-

ND\* = Não Detectado

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentados os difratogramas do RSRO.

**Figura 2** Difratograma de raios X do RSRO da UEFS, serrado com polpa abrasiva

Pode-se observar que os difratogramas apresentam os compostos químicos na forma tipicamente cristalina. Esta característica indica que o resíduo não possui propriedades aglomerantes ou pozolânicas.



**Figura 3** Difratoograma de raios X do RSRO da UFES, serrado com polpa abrasiva

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de lixiviação das amostras de RSRO e a Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios de solubilização.

**Tabela 3** Resultados do ensaio de lixiviação do RSRO da UFES, serrado com polpa abrasiva

Parâmetros	Unidades	Resultados da Amostra		Limites Máximos (NBR-10.004)
		UEFS	UFES	
Arsênio	(mg/L)	ND*	ND*	1,0
Bário	(mg/L)	ND*	ND*	70,0
Cádmio	(mg/L)	ND*	ND*	0,5
Chumbo	(mg/L)	ND*	ND*	1,0
Cromo Total	(mg/L)	ND*	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	ND*	0,1
Fluoreto	(mg/L)	ND*	ND*	150,0
Prata	(mg/L)	ND*	ND*	5,0
Selênio	(mg/L)	ND*	ND*	1,0

ND\* = Não Detectado

**Tabela 4** Resultados do ensaio de solubilização do RSRO da UFES, serrado com polpa abrasiva

Parâmetros	Unidades	Resultados		Limites Máximos	Parâmetros	Unidades	Resultados		Limites Máximos
		UEFS	UFES				UEFS	UFES	
Dureza	(mg/LCaCO <sub>3</sub> )	47,7	20,8	500,0	Sódio	(mg/L)	38,7	17,0	200,0
Fenóis Totais	(mg/L)	ND*	ND*	0,001	Zinco	(mg/L)	ND*	ND*	5,0
Mercúrio	(mg/L)	ND*	ND*	0,001	Cobre	(mg/L)	ND*	ND*	2,0
Arsênio	(mg/L)	ND*	ND*	0,01	Prata	(mg/L)	ND*	ND*	0,05
Bário	(mg/L)	ND*	ND*	0,7	Selênio	(mg/L)	ND*	ND*	0,01
Cádmio	(mg/L)	ND*	ND*	0,005	Cianeto	(mg/L)	ND*	ND*	0,07
Chumbo	(mg/L)	ND*	ND*	0,01	Fluoreto	(mg/L)	ND*	ND*	1,5
Cromo Total	(mg/L)	ND*	ND*	0,05	Nitrato	(mg/L)	ND*	ND*	10,0
Alumínio	(mg/L)	ND*	14,9	0,2	Cloreto	(mg/L)	48,0	19,2	250,0
Ferro	(mg/L)	0,1	2,2	0,3	Sulfato	(mg/L)	ND*	ND*	250,0
Manganês	(mg/L)	ND*	0,1	0,1	Surfactantes	(mg/L)	ND*	ND*	0,5

ND\* = Não Detectado

Com base nos resultados apresentados nos ensaios de lixiviação e solubilização observa-se que nenhuma das amostras apresentou compostos lixiviados ou solubilizados com concentração superior

em relação aos limites estabelecidos pela NBR 10004 (ABNT, 2005). Portanto, o resíduo é classificado como Classe III – Inerte.

### 2.1.2 Cimento

Foi utilizado para a confecção das argamassas o cimento CP II F 32, na UEFS, e o CP II E 32, na UFES, por serem os cimentos mais utilizados nas respectivas regiões. Algumas das propriedades químicas, físicas e mecânicas estão apresentadas na Tabela 5. Os cimentos utilizados atendem aos requisitos da NBR 11578, quanto às propriedades avaliadas (ABNT, 1991).

**Tabela 5** Características físicas e mecânicas do cimento

CARACTERÍSTICA	UEFS (CP II F – 32)	UFES (CP II E – 32)
Início de pega (min)	190	140
Fim de pega (min)	275	240
Finura #200 (%)	1,18	0,2
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	3,11	2,97
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	25,5	23,0
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	26,5	29,7
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	34,0	41,8
Expansibilidade a frio (mm)	1	2,2
Expansibilidade a quente (mm)	0	0,6

### 2.1.3 Agregado miúdo

Neste estudo foram utilizados três tipos de agregados miúdos: a) areia siltosa (UEFS) b) areia quartzosa (UFES); e c) resíduo da britagem de rochas (pó-de-pedra), ambos comumente utilizados em cada uma das regiões do estudo. As características da areia e do pó-de-pedra estão apresentadas nas Tabelas 6.

**Tabela 6** Características dos agregados miúdos utilizados

CARACTERÍSTICA	AREIA		PÓ-DE-PEDRA	
	UEFS (siltosa)	UFES (quartzosa)	UEFS	UFES
Dimensão Máxima Característica (mm)	2,4	1,2	4,8	4,8
Módulo de Finura	1,60	1,66	2,76	3,43
Massa Específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	2,600	2,649	2,587	2,817
Massa Unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	1,52	1,50	1,51	1,67
Material Pulverulento (%)	10,6	0,7	10,8	9,2
Coefficiente de Inchamento	1,29	1,40	-	-
Umidade Crítica (%)	2,25	2,98	-	-
Matéria Orgânica	Mais Escura	Mais escura	-	-

## 2.2. Metodologia para Produção dos Blocos de Argamassas

Para produção dos blocos de vedação, inicialmente foi desenvolvido o traço de referência (sem utilização de RSRO), tanto na UEFS quanto na UFES, devendo os mesmos atenderem aos requisitos da NBR 7173 (ABNT, 1982). Com base em estudos anteriores para produção de blocos de vedação, com utilização de finos de britagem (MOURA, 2004), definiu-se, como ponto de partida, iniciar a produção de blocos com o traço 1:8 (cimento:agregados, em massa).

A definição da proporção ideal de areia e finos de britagem, foi feita levando em consideração o menor índice de vazios das misturas, determinada através do método MB 3324 (ABNT, 1990) - Solo-determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. A proporção que alcançou o menor índice de vazios na UEFS foi de 50% de areia siltosa e 50% de finos de britagem. Na UFES a melhor proporção foi 30% de areia quartzosa e 70% de finos de britagem. Logo, considerando o melhor empacotamento da mistura, o traço unitário de referência da UEFS foi 1:4,0:4,0:0,66 (cimento:areia siltosa: finos de britagem:água) e o da UFES foi 1:2,4:5,6:0,765 (cimento:areia: finos de britagem:água). Os teores utilizados de RSRO, em substituição ao cimento, em massa, para elaboração dos demais traços foram de 5%, 10% e 15%.



Tanto na UEFS quanto na UFES as misturas foram feitas em betoneiras de eixo inclinado. Para cada traço, todos os materiais foram misturados a seco durante 90 segundos. Em seguida foi adicionada a água e misturado por mais 90 segundos.

Os blocos foram produzidos numa vibro-prensa, sendo o tempo de vibração de 10 segundos. A Figura 4a ilustra o processo de moldagem dos blocos de vedação.

Após a prensagem os blocos foram retirados da máquina e depositados na área de dosagem e posterior remoção dos paletes. Aí permaneceram, cobertos com plástico, durante 24 horas, para posterior cura por aspersão. As dimensões dos blocos de vedação foram de 200x100x400mm. A Figura 4b mostra um aspecto dos blocos moldados.



**Figura 4** Produção dos blocos: (a) moldagem dos blocos de vedação; (b) aspecto dos blocos de vedação

Após 24 horas da moldagem, os blocos foram retirados dos paletes e teve início a cura, por aspersão, durante 3 dias. Após este período, os blocos foram mantidos em área coberta dos laboratórios até a data de capeamento para determinação da resistência.

Como critério de avaliação determinou-se a resistência à compressão dos blocos (NBR 7184: ABNT 1992). A resistência à compressão foi determinada nas idades de 7 e 28 dias de cura. Foram ensaiados 5 blocos quanto a resistência à compressão, para cada idade.

### 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DOS BLOCOS DE ARGAMASSAS

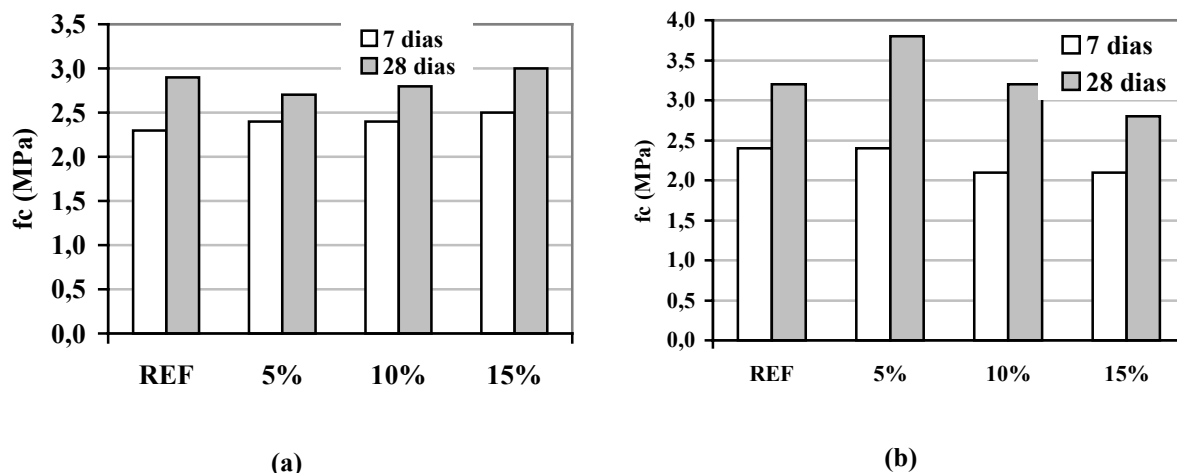
Na Tabela 7 estão apresentados os resultados de resistência à compressão dos blocos produzidos.

**Tabela 7** Resultados de resistência à compressão dos blocos de vedação

Resistência à Compressão (MPa)	UEFS								UFES							
	IDADE (dias)								IDADE (dias)							
	VREF		V5% PA		V10% PA		V15% PA		VREF		V5% PA		V10% PA		V15% PA	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
	2,1	3,0	2,0	2,4	2,2	2,6	2,5	3,3	2,6	2,8	2,2	4,4	2,0	3,1	2,3	2,2
	2,7	2,1	2,8	3,0	2,3	2,7	2,6	3,1	2,3	3,4	2,2	3,4	2,2	3,3	2,1	3,0
	1,9	3,2	2,4	2,9	2,3	2,6	2,5	2,9	2,4	3,2	2,5	3,4	2,1	2,9	1,9	2,9
	2,2	3,0	2,6	2,5	2,2	3,4	2,3	2,9	2,5	3,6	2,5	4,1	2,0	3,7	1,9	3,0
	2,7	3,3	2,3	2,7	2,8	2,9	2,5	3,0	2,4	3,1	2,4	3,8	2,3	3,0	2,3	2,7
<b>fc<sub>méd</sub></b>	<b>2,3</b>	<b>2,9</b>	<b>2,4</b>	<b>2,7</b>	<b>2,4</b>	<b>2,8</b>	<b>2,5</b>	<b>3,0</b>	<b>2,4</b>	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>3,8</b>	<b>2,1</b>	<b>3,2</b>	<b>2,1</b>	<b>2,8</b>
<b>Sd. (MPa)</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>15,7</b>	<b>16,3</b>	<b>12,5</b>	<b>9,4</b>	<b>10,6</b>	<b>11,8</b>	<b>4,4</b>	<b>5,5</b>	<b>4,7</b>	<b>9,4</b>	<b>6,4</b>	<b>11,5</b>	<b>6,2</b>	<b>9,9</b>	<b>9,5</b>	<b>12,2</b>

V-REF - vedação de referência; V5%PA – vedação com 5% de resíduo de serragem com polpa abrasiva; V10%PA – vedação com 10% de resíduo de serragem com polpa abrasiva; V15%PA – vedação com 15% de resíduo de serragem com polpa abrasiva. Sd (MPa) – Desvio padrão. CV (%) – Coeficiente de variação.

As Figuras 5a e 5b mostram os gráficos comparativos de resistência média dos blocos produzidos na UEFS e na UFES, respectivamente.



**Figura 5** Resultados de resistência à compressão dos blocos de vedação produzidos: (a) UEFS; (b) UFES. Os blocos atendem aos requisitos da NBR 7173 (ABNT, 1982), quanto à resistência à compressão.

Os resultados dos ensaios foram analisados com base na análise estatística, para respaldar as conclusões obtidas. Foi verificada a significância estatística do efeito de cada uma das variáveis, através da análise de variância (ANOVA). Esta técnica permite comparar grupos de observações, através da comparação da variabilidade das médias entre grupos e a variabilidade das observações dentro de cada grupo (NANNI e RIBEIRO, 1992). O efeito de um determinado fator sobre uma variável de resposta analisada é determinado através de um teste de comparação entre valores calculados ( $F_{\text{calculado}}$ ) e os tabelados ( $F_{\text{tabelado}}$ ) de uma função de distribuição de probabilidade de Fischer. Os valores de ( $F_{\text{tabelado}}$ ) são estabelecidos para um determinado nível de significância. A hipótese que um determinado fator influencia significativamente nos resultados é confirmada se ( $F_{\text{calculado}}$ ) for maior do que ( $F_{\text{tabelado}}$ ). O nível de significância adotado nas análises foi de 5%, que é comumente utilizado na área de engenharia civil. A ANOVA foi realizada através do *software statistica*.

Foi verificada se há influência do teor de substituição de RSRO e da idade, nos resultados de resistência à compressão dos blocos, através da ANOVA, para os valores individuais. Os resultados desta análise estão apresentados nas Tabelas 8 e 9.

**Tabela 8** Resultados da ANOVA para a resistência à compressão axial dos blocos de vedação produzidos pela UEFS

Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A – teor de substituição	3	0,175667	0,82696	2,84	NS
B – idade	1	2,304000	25,18033	4,08	S
AB	3	0,050667	0,55373	2,84	NS
ERRO	40	0,091500			

GDL – Graus de Liberdade; MQ - Média Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo.

**Tabela 9** Resultados da ANOVA para a resistência à compressão axial dos blocos de vedação produzidos pela UFES

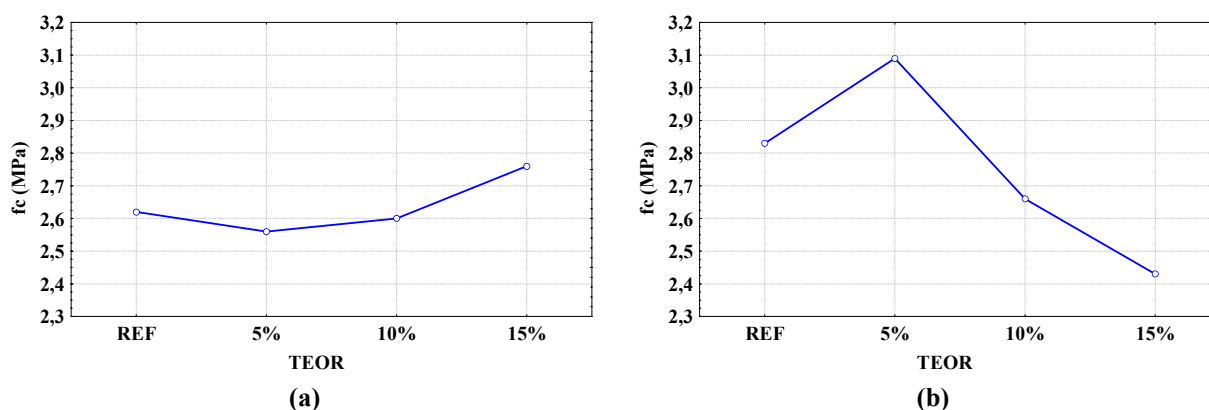
Fator	GDL	MQ	Fcalculado	F0,05	Significância
A – teor de substituição	3	0,774917	10,5073	2,84	S
B – idade	1	9,900250	134,2407	4,08	S
AB	3	0,318250	4,3153	2,84	S
ERRO	40	0,073750			

GDL – Graus de Liberdade; MQ - Média Quadrada; Fcalculado – Valor calculado de F; F0,05 – Valor tabelado de F para o nível de significância de 5%; S – Significativo; NS – Não Significativo.



Os resultados da ANOVA mostram que, para os blocos produzidos na UEFS, não há influência significativa do teor de substituição de RSRO. Entretanto, há influência da idade dos blocos na resistência à compressão axial. Pode-se observar que não há interação entre o teor de substituição de RSRO e a idade dos blocos. Para os blocos produzidos na UFES, a ANOVA mostrou uma influência significativa para o teor de substituição, para idade e para a interação entre teor e idade.

As Figuras 6a e 6b mostram a curva de comportamento dos blocos quanto à resistência à compressão axial em função do teor de substituição.



**Figura 6** Comportamento dos blocos de vedação quanto à resistência à compressão em função do teor: (a) UEFS; (b) UFES.

Para os blocos produzidos na UEFS, verifica-se que há uma redução na resistência à compressão média, aos 28 dias, de 6,9% para o teor de substituição de 5% de RSRO. Já para o teor de substituição de 10% de RSRO, a redução na resistência é de 3,4%. Por outro lado, há um aumento de 3,4% na resistência média à compressão para o teor de 15% de RSRO. Entretanto, como foi demonstrado na ANOVA essa diferença não é significativa para o conjunto de resultados, em função da variabilidade observada. Pode-se atribuir o bom desempenho dos blocos de vedação com RSRO, ao efeito filler promovido pelo resíduo, que compensou a perda do efeito cimentante promovido pelo aglomerante.

Em relação aos blocos produzidos pela UFES, verifica-se que há um aumento na resistência à compressão média, aos 28 dias, de 18,8% para o teor de substituição de 5% de RSRO. Para o teor de substituição de 10% de RSRO a resistência média é igual à resistência dos blocos de referência. Por outro lado, há um decréscimo de 12,5% na resistência média à compressão para o teor de 15% de RSRO. Essas diferenças são significativas, como foi constatado pela ANOVA. O bom desempenho dos blocos com até 10% de RSRO, produzidos na UFES, se deve, possivelmente, ao melhor efeito de empacotamento promovido pelo RSRO. Entretanto, com 15% de RSRO o efeito de empacotamento promovido pelo RSRO foi insuficiente para compensar o efeito cimentante promovido pelo aglomerante.

O comportamento diferenciado na UEFS e UFES pode ser explicado pela diferença de características dos materiais utilizados nas universidades, bem como, pela variabilidade inerente ao processo de produção.

#### 4.0. CONCLUSÕES

A utilização de RSRO como substituição parcial do cimento para produção de blocos de vedação poderá dar uma contribuição para o meio ambiente, uma vez que possibilitará a redução de consumo de matéria prima e destinação adequada do resíduo.

Os resultados de resistência à compressão dos blocos mostraram comportamento diferenciado entre os blocos produzidos na UEFS e na UFES. Enquanto na UEFS não houve influência significativa dos teores de substituição, na UFES esta influência foi constatada.

Com base nos resultados encontrados na UEFS, pode-se substituir 15% do cimento por RSRO. O que significa uma vantagem econômica e ambiental.

A substituição de até 10% de cimento por RSRO mostrou ser vantajosa, considerando os resultados obtidos na UFES.

A elevada variabilidade inerente ao processo de produção de blocos de argamassa justifica um aprofundamento do estudo.

#### 4.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 10004 – Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2005.

**ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 7173 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

**ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.** NBR 7184 – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria- Determinação da resistência à compressão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

CALMON, J.L.; TRISTÃO, F. A.; LORDÊLLO, F.S.S.; SILVA, S.A. Aproveitamento do resíduo de corte de granito para a produção de argamassas de assentamento. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, **Anais**. Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 64-75.

CHIODI FILHO, C. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Brasil – mercados interno e externo. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, 2005. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife: Deminas, DAU, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS. **Anais...** 28p. 2005.

CRUZ, D.F.M., LAMEIRAS, R.M., BARBOZA, A.S.R., LIMA, L.A. Estudo das propriedades mecânicas de argamassas produzidas utilizando-se resíduo de corte de mármore e granito. In: VI Seminário de Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. São Paulo, out/2003.

GONÇALVES, J.P. **Utilização do resíduo de corte de granito (RCG) como adição para a produção de concretos.** Porto Alegre, RS. PPGEC/UFRGS. 2000. 135p., il. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

GUERRA, E. A. Apoio do MCT ao setor de Rochas Ornamentais e Revestimentos. V Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, 2005. In: Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife: Deminas, DAU, PPGEMinas, SBG, SINDIPEDRAS. **Anais...** 12p. 2005.

LIMA FILHO, V.X., BEZERRA, A.C., SANTOS, F.C., NOGUEIRA, R.E.F.Q., FERNADES, A.H.M. Determinação de parâmetros para racionalização do processamento de rochas graníticas por abrasão. In XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. **Anais...** nov/1999. São Paulo.

MATTOS, F. V. **Rejeitos de serragem do mármore e granito. Estudo de sua aplicabilidade para fabricação de tijolos de solo-cimento.** 1998. Iniciação científica (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo.

MOURA, W. A. **Aproveitamento do resíduo de agregado graúdo natural (pó de pedra) como agregado miúdo para argamassa e concreto para peças pré-moldadas.** 2004. Trabalho para mudança de classe de professor – Universidade Estadual de Feira de Santana.

MOURA, W. A.; GONÇALVES, J. P., LEITE, R. S., Utilização do resíduo de corte de mármore e granito em argamassas para revestimento e confecção de lajotas para piso. In: **Revista Sitientibus**, UEFS, Feira de Santana/Ba, v.26, p.49 - 62, 2002.

NANNI, L. F.; RIBEIRO, J. L. **Planejamento e avaliação de experimentos.** 2.ed. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1992. 194p. (Caderno Técnico, 17).

NEVES, G. PATRICIO, S.M.R., FERREIRA H.C., SILVA, M.C., Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** Florianópolis/SC. Jun/1999.

#### 5.0 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP, CNPq e CETEMAG pelo apoio financeiro ao projeto e às equipes técnicas dos Laboratórios de Tecnologia da UEFS e do Centro de Tecnologia da UFES.