

Incorporação de resíduos da indústria de rochas ornamentais na fabricação de concreto

Lorenzo Pratti Prando (1), Iatahanderson de Souza Barcelos (2), Marcos Roberto Teixeira Halasz (3), Alfredo Akira Ohnuma Jr. (4)

(1) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: lorenzoprando@hotmail.com

(2) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: iata@fsjb.edu.br

(3) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: halasz@fsjb.edu.br

(4) MPTA, FAACZ, Brasil. E-mail: akira@fsjb.edu.br

Resumo: Devido à ascensão do setor de rochas ornamentais nos últimos anos, houve um aumento da preocupação com o impacto ambiental causado tanto na extração como no processo de beneficiamento de rochas. A preocupação em diminuir os impactos ambientais gerados, motivada também, por uma legislação mais rígida, fez com que empresários do setor de beneficiamento de rochas e meio acadêmico se unissem para tentar desenvolver novas metodologias para o aproveitamento mais adequado dos resíduos gerados. O objetivo deste trabalho foi o de realizar a caracterização do resíduo e desenvolver possíveis aplicações tecnológicas como, por exemplo, a sua incorporação na fabricação de concreto, reduzindo o percentual de cimento aplicado. Inicialmente o resíduo foi caracterizado, sendo determinada sua densidade e distribuição granulométrica. Através de ensaios de tração e mecânicos foi possível analisar se a incorporação do resíduo altera as propriedades físicas necessárias ao concreto. Para tais testes, foram preparadas amostras de concreto contendo uma variação no teor de resíduo na faixa entre 25% a 0%, em substituição ao percentual de cimento, aplicadas ao teste de ruptura. Verificou-se que as amostras contendo 5% de resíduo em sua composição apresentaram uma ligeira menor resistência (menos que 3%) ao teste de ruptura. Esta eficiência menor não impossibilita a sua aplicação na área da construção civil, como uma nova alternativa para diminuir o passivo ambiental causada pela destinação incorreta do resíduo das marmorarias.

Palavras-chave: resíduos, rochas ornamentais, cimento, testes físicos.

Abstract: Due to ascension of ornamental rocks sector in last years, in such a way had an increase of the concern with the ambient impact caused in the extraction as in the process of improvement of rocks. The concern in diminishing the generated ambient impacts, also motivated, for a rigid legislation, made with that businessmen of the sector of improvement of rocks and academic way if joined to try to develop new methodologies for the adjusted exploitation of the generated residues. The objective of this work was to carry through the characterization of the residue and to develop possible technological applications as, for example, its incorporation in the manufacture of concrete, reducing the percentage of applied cement. First, the residue was characterized, being determined its density and granulometric distribution. Through tractive and mechanics assays it was possible to analyse if the incorporation of the residue modifies the necessary physical properties to the concrete. For such tests, samples of concrete had been prepared contend a variation in the text of residue in the band enter 25% 0%, in substitution to the percentage of cement, applied to the rupture test. It was verified that the samples contend 5% of residue in its composition had presented a fast minor resistance (less than 3%) to the rupture test. This lesser efficiency does not disable its application in the area of the civil construction, as a new alternative to diminish the ambient liabilities caused by the incorrect destination of the residue of the marble shops.

Key-words: waste, ornamental stones, cement, physical tests.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista o crescimento do setor de rochas ornamentais nos últimos anos, houve um aumento da preocupação com o impacto ambiental causado tanto na extração como no processo de beneficiamento de rochas.

Uma das aplicações dos resíduos gerados pelos teares é o seu uso como concreto auto adensável, o concreto capaz de preencher os espaços vazios das formas e se auto adensar apenas sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo (GOMES *et al.*, 2001). O concreto adensável é caracterizado pela grande capacidade de fluxo sem perda da estabilidade. A capacidade de se auto adensar é obtida com o equilíbrio entre alta fluidez com grande mobilidade e moderada viscosidade e coesão entre as partículas do concreto fresco. A alta fluidez é alcançada com utilização de aditivos plastificantes e a moderada viscosidade e coesão entre suas partículas são conseguidas com o

incremento de um percentual adequado de adição mineral de granulometria muito fina (LISBOA *et al.*, 2004).

De acordo com LISBOA (2004) entende-se por Concreto Auto Adensável (CAA), o concreto capaz de preencher os espaços vazios das formas e se auto adensar apenas sobre o efeito da gravidade e de sua própria capacidade de fluxo. Neste mesmo estudo verifica que inúmeras pesquisas sobre CAA vêm se desenvolvendo com o objetivo de obter o mesmo, com diferentes materiais, conhecer seu comportamento, melhorar suas propriedades e verificar sua aplicabilidade em diferentes elementos estruturais.

GONÇALVES *et al.* (2003) utilizaram, individualmente, três tipos de resíduos sólidos (escória de cobre finamente moída, resíduo do beneficiamento do mármore e granito e resíduo de construção e demolição), os dois primeiros como adições minerais e o último como agregado, em concretos convencionais. Já NEVES (2002) verificou a aplicação do mesmo na substituição de parte de materiais não plásticos. Esses resíduos têm em sua constituição um elevado percentual de quartzo, feldspato, mica e calcário, e apresentam-se na forma de pó com granulometria muito fina (diâmetro médio equivalente abaixo de 20 µm) que facilita a sua utilização em composições para produtos cerâmicos.

TENÓRIO (2004) utilizou o resíduo do polimento e corte de mármore e granito, sem granalha, como adição mineral, na produção de argamassas, substituindo por resíduo, percentuais de 5% e 10% sobre o volume de cimento e 5% e 10% sobre o volume de areia. Foram feitas análises comparativas de índice de consistência, resistência à compressão, módulo de deformação, absorção por imersão, índice de vazios e massa específica real, entre as quatro argamassas e com a de referência sem resíduo.

As rochas ornamentais, mesmo utilizadas inicialmente na arquitetura e na construção como elemento estrutural, atingiram, na verdade, uma grande difusão do seu uso, como elemento de revestimento em pisos, paredes e fachadas. A alta demanda fez com que aumentasse significativamente a geração de resíduo sendo que no seu beneficiamento, cerca de 30% são transformados em pó (FORMIGONE *et al.*, 2007).

É necessária a utilização de ensaios mecânicos para a verificação da resistência do material composto com tais resíduos. Outro ensaio é o da caixa em L, onde uma caixa composta por uma alavanca que através do tempo de escoamento determina-se se a massa teste possui um bom escoamento e agregação. Segundo PETERSSON (2000), se o agregado graúdo se apresentar bem distribuído ao longo da superfície do concreto até o final da parte horizontal da caixa, significa que o mesmo pode ser considerado estável.

PETERSON (2000) descreve que para o correto ensaio da caixa em L é necessário colocar a caixa sobre uma superfície nivelada, limpando e umedecendo suas superfícies internas. A seguir é necessário preencher com concreto a parte superior da Caixa, sem utilizar nenhum tipo de adensamento, deixando a superfície do concreto nivelado e, retirando o excedente. Após 15 segundos, é necessário levantar rapidamente a porta e simultaneamente ligar os dois cronômetros registrando em segundos os tempos para o concreto atingir na horizontal as marcas de 20 cm e 40 cm, TL₂₀ e TL₄₀, respectivamente. Logo após o concreto atingir seu estado de repouso, medir com uma trena suas alturas H₁ e H₂, no início e final da parte horizontal da Caixa L, respectivamente. Tanto o bloqueio como a estabilidade do concreto, podem ser detectados visualmente. Se o concreto formar uma camada elevada atrás das armaduras, significa que o mesmo sofreu bloqueio e segregação. Usualmente é apresentado no bloqueio o agregado graúdo reunido entre as barras das armaduras. Se o agregado graúdo se apresentar bem distribuído ao longo da superfície do concreto até o final da parte horizontal da caixa, significa que o mesmo pode ser considerado estável.

Desta forma, esse trabalho tem o objetivo de realizar a caracterização do resíduo gerado e desenvolver possíveis aplicações tecnológicas. Será estudada sua incorporação na fabricação de concreto, visando a sua implementação reduzindo o percentual de cimento. Com esta aplicação no concreto passamos de um subproduto para uma matéria prima de grande qualidade, contribuindo assim para o desenvolvimento de novas tecnologias na fabricação e uso na área da construção civil, com propriedades que suportam o grande crescimento que essa área vem enfrentando nos últimos anos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em parceria com a empresa Marmoraria Inter Ltda., localizada na cidade de Linhares, ao norte do estado do Espírito Santo. Na empresa foram coletados cerca de 450 kg de rejeitos da lagoa de decantação da serraria e acondicionados em grandes recipientes de plásticos e transportados para os laboratórios de Química e Materiais da Faculdade de Aracruz.

Através de ensaios em laboratório, a amostra foi caracterizada quanto à sua estrutura e os compostos presentes. Inicialmente uma amostra do material foi acondicionada em uma estufa com temperatura de 110°C por 24 horas, para eliminar a umidade presente. Depois de desidratada, foi moída com o objetivo de reduzir sua granulometria e

depois submetida a procedimentos para determinação de sua densidade e distribuição granulométrica.

2.1. Determinação da densidade do sólido

A densidade do sólido foi realizada através de picnometria. O experimento foi realizado em picnômetros similares aos apresentados na Figura 1 e todo teste foi conduzido em triplicata para uma maior confiabilidade aos dados, numa uma temperatura de 25°C.



FIGURA 1 – Picnômetros utilizados para determinação da densidade do sólido.

2.2. Determinação da análise granulométrica

Os testes foram conduzidos em um jogo de peneiras seguindo a série Tyler, como é possível observar na Figura 2. Uma amostra contendo 400g do material foi agitada por um período de 20 minutos e depois foram determinadas as frações que ficaram retidas em cada uma das peneiras.



FIGURA 2 – Sistema de peneiras para determinação da distribuição granulométrica.

2.2.1. Modelos de distribuição granulométrica

As análises granulométricas de sólidos como o apresentado neste trabalho podem ser representadas por diversos modelos de distribuição, incluindo o GGS (Gates Gaudin Schumann) e o RRB (Rosin Rammler Bennet). Desta forma utilizou-se o material sólido obtido neste trabalho por moagem para determinação do modelo que melhor se adequa. Para obtenção da distribuição granulométrica do modelo GGS (Equação 1) e RRB (Equação 2), será necessário determinar os parâmetros k e m para cada um dos modelos.

$$Y = \left(\frac{dp}{k} \right)^m \quad (1)$$

$$Y = 1 - \exp\left(-\frac{dp}{k}\right)^m \quad (2)$$

2.3. Preparação dos corpos de prova

A massa teste foi preparada em uma betoneira, agitador basculante com capacidade de 320L, para garantir uma maior homogeneidade. Os corpos de provas foram confeccionados em tubos PVC de 10x20cm (Figura 3) onde foram adicionadas quantidades diferentes de resíduo: 0 (padrão), 5%, 10%, 15%, 20% e 25%.



Figura 3 – Moldes para confecção dos corpos de prova

2.4. Testes Mecânicos

Os corpos de prova devidamente curados foram submetidos a testes de resistência (Figura 4) para determinar qual tensão suporta cada amostra. O teste de resistência foi realizado no Laboratório de Materiais da Construção Civil (LEMACK) situado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).



Figura 4 – Equipamento utilizado para ensaio de resistência

2.5. Experimento em Caixa L

Para avaliar as propriedades e capacidade de preencher formas e resistência à segregação do concreto foi utilizada a caixa em L, ilustrada na Figura 5, que tem como princípio o preenchimento de uma caixa na forma de L por uma massa de concreto teste. Logo após o preenchimento o aparato a alavanca, localizada no aparato, deve ser acionada para ocorrer o escoamento do concreto ao longo da caixa.

A parte vertical da caixa possui dimensões de 0,69 m x 0,32 m x 0,15 m (altura x largura x profundidade), com um volume de preenchimento de 14,9 litros de concreto. A parte horizontal da caixa possui dimensões internas de 79 cm x 33 cm x 21 cm (comprimento x largura x profundidade).

Após a imersão do concreto no aparato experimental, aguardou-se um tempo de 30 segundos, onde foi deslocada a guilhotina e cronometrado o tempo de escoamento na horizontal até atingir as marcas de 20 cm e 40 cm, respectivamente t_{20} e t_{40} .



Figura 5 – Equipamento em Caixa em L

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira etapa da caracterização do resíduo foi a determinação da densidade, utilizando a metodologia proposta foi possível obter os resultados apresentados na Tabela 1, lembrando que os testes foram realizados em triplicata para reduzir o erro associado.

Tabela 1- Cálculo da densidade do resíduo através de picnometria

Massa dos picômetros (gramas)				Cálculos		
Vazio	Sólido	Sólido + Água	Água	ρ (g/cm ³)	$\rho_{\text{médio}}$	σ
14,63	19,54	23,14	20,37	2,294	2,227	0,058
16,29	22,28	25,6	22,35	2,186		
17,82	23,17	26,27	23,35	2,202		

3.1. Análise Granulométrica

Com base nos dados coletados em laboratório (Figura 6) foi possível montar a distribuição granulométrica da amostra (Tabela 2) que podem ser modeladas de acordo com os dois modelos propostos (GGS e RRB) como é possível observar na Figura 7.

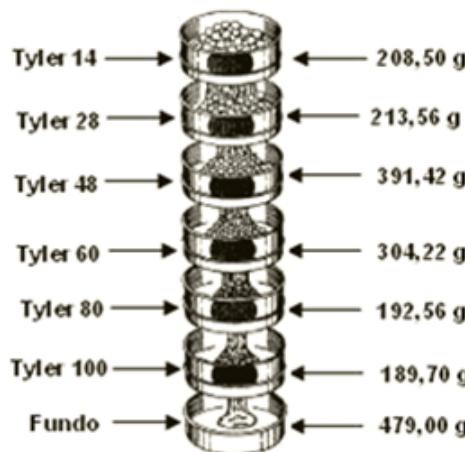


Figura 6 – Desenho esquemático do resultado da análise de peneiras

Tabela 2- Determinação do % retido em cada peneira

GRANULOMETRIA			
Peneiras (#)	Peneiras + Amostra (g)	Material Retido (g)	Material Retido (%)
+ 14	208,5	7,0	1,75
- 14 + 28	213,56	19,96	4,99
- 28 + 48	391,42	189,32	47,33
- 48 + 60	304,22	117,92	29,48
- 60 + 80	192,56	48,8	12,2
- 80 + 100	189,7	14,2	3,55
Fundo	479	2,8	0,7
Total	400		100

Dentre os modelos propostos que descrevem a distribuição de tamanhos de partículas o que apresentou o melhor resultado foi o modelo RRB. Esse modelo fornece a fração mássica de partículas em função do diâmetro da partícula. Tal modelo é importante para a montagem de projetos de equipamentos bem como simulação de processos. É válido ressaltar que a distribuição granulométrica analisada foi de uma amostra de resíduo oriundo dos teares de marmoraria, ainda não foram adicionados os demais componentes para a formação do CAA utilizado posteriormente no teste da caixa em L.

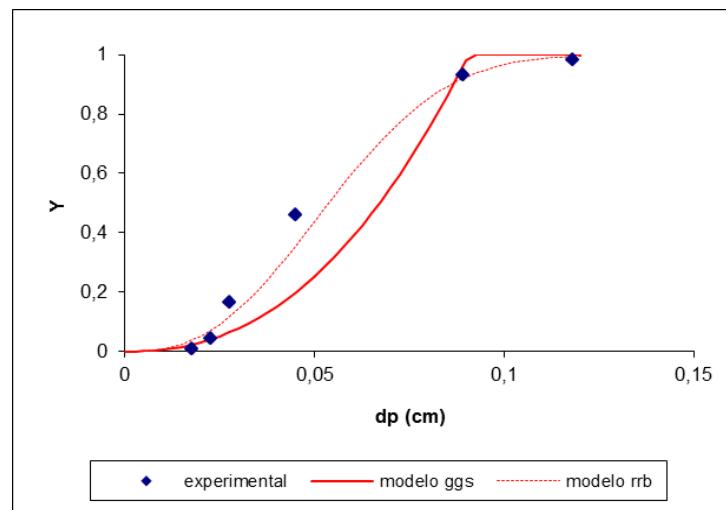


Figura 7 – Determinação do modelo que melhor se adequa a amostra estudada

3.2. Ensaio de Resistência Mecânica

Os corpos de provas confeccionados, conforme Figura 8, foram submetidos ao teste, até a sua total ruptura, ilustrados na Figura 9. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 3.

É possível afirmar que o concreto de referência com 0% de resíduo, isto é, com 100% de cimento Portland, é o que apresenta a maior resistência, conforme a Tabela 3. A diferença de resistência da amostra contendo 0% de resíduo para a amostra contendo 25% de resíduo foi de aproximadamente 13,5%.

O concreto teste com adições de 5 a 25% de resíduo em sua composição apresentou uma ligeira queda de resistência ao teste de ruptura. Esta eficiência menor não impossibilita a sua aplicação na área da construção civil, como uma nova alternativa para diminuir o passivo ambiental, causada pela destinação incorreta do resíduo das marmorarias.

Com o grande volume de obras na construção civil no estado do Espírito Santo, apesar da crise econômica mundial, uma economia nessa escala pode representar uma enorme redução de gastos, proporcionando tanto ao estado quanto à iniciativa privada um maior investimento em outras obras.



Figura 8 – Teste de resistência para o corpo de prova com 5% de resíduos



Figura 9 – Corpos de prova após o teste de resistência

Tabela 3- – Tensão de ruptura média exercida por cada corpo de prova

Corpos de Prova	Identificação	Tensão Ruptura média (MPa)
1	0% resíduo	27,4
2	5% resíduo	26,7
3	10% resíduo	22,8
4	15% resíduo	22,5
5	20% resíduo	22,3
6	25% resíduo	21,6

Para determinar a quantidade real de resíduo que poderia ser substituída no concreto sem afetar a sua resistência mecânica, haveria a necessidade da realização de testes em campos, para avaliar na prática todas as suas propriedades, em condições reais ao ser expostas ao ambiente natural.

3.3. Ensaio com caixa em L

Os testes realizados em triplicata levaram ao resultado de $t_{20}=1,67\text{s}$ e $t_{40}=3,39\text{s}$, que atenderam aos valores que estão relacionados com a fluidez, estabelecidos na literatura que são de 2s e 4s respectivamente. O ensaio da caixa em L foi realizado em triplicata para garantir a confiabilidade dos resultados obtidos, conforme ilustrado na Figura 10.



Figura 10 – Vistas do experimento de caixa em L realizado

No teste de fluidez foi utilizada uma concentração de 25% de resíduo, buscando assim diminuir a carga de cimento utilizada no mesmo. Neste teste a movimentação da amostra dentro do aparato experimental não foi muito satisfatória, pois no inicio da retirada da guilhotina houve a formação de uma aglomeração de material próxima a grade, mas esse desvio do padrão normal pode ser compensada pelo rápido deslocamento da amostra em instantes.

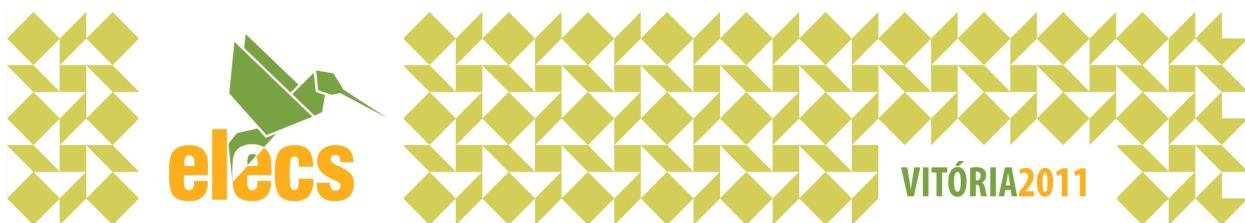
4. CONCLUSÕES

Inicialmente foi possível observar que com adições de 5 a 25% de resíduo em sua composição o material formado apresentou uma ligeira queda de resistência ao teste de ruptura, não impossibilitando a sua aplicação na área da construção civil, como uma nova alternativa para diminuição do passivo ambiental.

Levantamentos realizados comprovam que em uma obra o valor de agregados como o cimento representa 80% do valor total da construção. Se o percentual de cimento utilizado for reduzido, teremos uma diminuição do custo do concreto, sendo assim os investimentos voltados para a construção civil, seja de casas populares ou de mansões, ficariam mais acessíveis. Com a redução do custo seria possível o estado construir mais casas populares, podendo então direcionar estas verbas que estariam comprometidas com a construção para outras áreas, como a saúde, beneficiando diretamente a sociedade e diminuindo um dos grandes problemas do país.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L.; BERBARD, CAMILO. **Experimental Optimization of High-Strength Self-Compacting Concrete**. In: The Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, 377., 2001, Tokyo. Anais. Tokyo: University of Tokyo, 2001.
- GONÇALVES, J. P., MOURA, W. A., LEITE, M. B., **Utilização de resíduos sólidos industriais e urbanos para produção de concretos**, Engenharia, Ciéncia e Tecnologia, V. 6, n. 3, p. 17-30,2003.
- LISBOA, E. M. **Obtenção do concreto auto-adensável utilizando resíduo do beneficiamento do mármore e do granito e estudos de propriedades mecânicas**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Faculdade Federal de Alagoas, 2004.
- NEVES, G. A., **Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica**, Tese. Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Campina Grande, 2002.



PETERSSON, Design of Self-Compacting Concrete, Properties of the Fresh Concrete. In: Proceedings Seminar on Self-Compacting Concrete, pág.15-20, 2000.

TENÓRIO, J. J. L., Desenvolvimento de argamassa através da utilização do resíduo do beneficiamento de chapas de granito, Monografia (TCC – Engenharia Civil), Graduação em Engenharia Civil, UFAL, 2004.

FORMIGONI, G.E.; BLEGGI, M.A.E.; SILVA, L.F.; EGERT, P.; SILVA, H.R.T, Aproveitamento de Resíduos, reciclagem de rochas ornamentais. Disponível em: <http://junic.unisul.br/2007/JUNIC/pdf/0120.pdf>. Acesso em: 14 Out. 2010.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Marmoraria Inter Ltda por permitir a coleta de material e auxiliar no desenvolvimento do projeto.