



III-283 - INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS OBTIDOS DO CORTE E BOLEAMENTO DE MÁRMORES E GRANITOS DA REGIÃO DE LIMEIRA-SP NA PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTO-ADENSÁVEL

Márcio Da Silva Soares⁽¹⁾

Graduando em Tecnologia da Construção Civil, Centro Superior de Educação Tecnológica. CESET-UNICAMP

Luísa Andréia Gachet Barbosa⁽²⁾

Professor Doutor, Centro Superior de Educação Tecnológica. CESET-UNICAMP

Lubienska Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro⁽³⁾

Professor Doutor, Centro Superior de Educação Tecnológica. CESET-UNICAMP

Ana Elisabete Paganelli Guimaraes De Avila Jacintho⁽⁴⁾

Professor Doutor, Faculdade de Engenharia Civil - PUC-CAMPINAS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Pascoal Marmo, 1888 – Jd. Nova Itália – Limeira, SP, CEP: 13484-332. CENTRO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA (CESET) – UNICAMP. E-mail: marciocps22@yahoo.com.br

RESUMO

Matérias-primas da natureza vêm sendo extraídas há muitos anos para serem utilizadas como materiais pela construção civil. Embora o desenvolvimento e o crescimento sejam fatores importantes e necessários à sociedade, deve-se salientar o grande impacto ambiental resultante em vários processos da construção civil como, por exemplo, as gigantescas extrações minerais necessárias em vários processos. Este trabalho trata da reutilização de resíduos do mármore e granito na produção de concreto auto-adensável. A auto-adensabilidade do concreto no estado fresco é a sua capacidade de preencher todos os espaços vazios da forma e envolver as armaduras, por meio de seu peso próprio, mantendo sua coesão e estabilidade. A eliminação dos resíduos provenientes do processo de beneficiamento, corte e boleamento do mármore e granito vêm sendo apontada pelos ambientalistas como um grande desafio para o século XXI, isto porque, estima-se que o Brasil produz hoje 800.000 toneladas por ano destes poluentes e, nos últimos anos estas indústrias vêm apresentando crescimento de 6%. Desta forma, o objetivo principal deste trabalho é a análise da possibilidade de reutilizar tal resíduo propondo a incorporação deste na produção de concreto auto-adensável. Consequentemente reduzindo o consumo dos finos industrializados, pois na confecção do concreto auto-adensável utiliza-se uma grande quantidade de materiais finos. Como metodologia foram executados 36 corpos-de-prova cilíndricos os quais foram ensaiados conforme prescrições da Norma aos 7, 28, 35 dias. O objetivo de obter concreto auto-adensável utilizando os resíduos do beneficiamento do mármore e granito foi alcançado de forma satisfatória, atingiram-se as resistências esperadas, o que colabora para a divulgação positiva do uso do concreto auto-adensável produzido com resíduos de pó de mármore e granito.

PALAVRAS-CHAVE: Construção civil, concreto auto-adensável, reutilização, reciclagem, pó de mármore e granito.

INTRODUÇÃO

Matérias-primas da natureza vêm sendo extraídas há muitos anos para serem utilizadas como materiais pela construção civil. Pode-se citar como exemplo as rochas basálticas, os diabásios, o granito, o gnaisse e o calcário duro que são extraídos e utilizados na produção de pedra britada.

Adicionando-se a esta lista tem-se a calcita e dolomita que são rochas utilizadas na produção da cal hidratada, e ainda a rocha gipso, constituída basicamente do minério gipsita onde extraí-se o gesso. E finalmente, a partir das rochas calcárias e do gipso produz-se o cimento, material extremamente utilizado na indústria da construção civil.

Embora o desenvolvimento e o crescimento sejam fatores importantes e necessários na sociedade, deve-se salientar o grande consumo de energia elétrica empregado na extração e produção destes materiais e o alto nível de impacto ambiental proporcionado em todos os processos de beneficiamento dos mesmos. Por se



tratarem de matérias-primas finitas, torna-se cada vez mais urgente buscar um equilíbrio entre as necessidades e a capacidade do meio ambiente de fornecer e suportar essas retiradas.

Outro fator relevante que agrava essa situação ambiental são as grandes quantidades de resíduos produzidos e descartados diariamente na natureza. Pensando em soluções para estes problemas, estudos vêm sendo realizados no meio acadêmico e técnico, para se obter soluções viáveis como por exemplos:

- Sistemas de ventilação e iluminação que diminuem o consumo de energia elétrica;
- Reutilização de resíduos de construção civil (RCC) como agregados para concretos com fins não estruturais ou para a preparação de bases e sub-bases de pavimentação asfáltica ou ainda o preenchimento de valas;
- Incorporação de resíduos obtidos a partir do beneficiamento de matérias-primas na fabricação de produtos industrializados.

Este trabalho estuda a reutilização de resíduos do mármore e granito na produção de concreto auto-adensável. A auto-adensabilidade do concreto no estado fresco é a sua habilidade de preencher todos os espaços vazios da forma e envolver os obstáculos (armaduras), por meio de seu peso próprio, mantendo sua coesão e estabilidade (Lavandoscki, 2007).

O beneficiamento do mármore e do granito gera grandes quantidades de resíduos industrial e costumam ter destinação não definida. Na cidade de Limeira este resíduo é depositado em aterro após ter sido coletado por empresas de caçamba (Soares, 2009). Sabendo-se que este resíduo é extremamente fino, tem-se um material que após seco e ventilado formará uma cortina de pó prejudicial à saúde.

No Brasil, a quantidade estimada da geração deste resíduo é de 800.000 toneladas/ano e, segundo Lisboa (2004), a produção das indústrias de mármore e granito vem crescendo 6% ao ano. Nos últimos anos, estas mineradoras vêm sendo citadas pelos ambientalistas como fontes de contaminação e poluição do meio ambiente, devido a quantidade de resíduos gerados e frequentemente lançados diretamente nos ecossistemas, sem nenhum processo de tratamento para reduzir os constituintes presentes.

Deve-se salientar que, o beneficiamento destas rochas ocorre em quatro fases, sendo que na primeira ocorre a pesquisa mineral para identificar a presença de rochas ígneas, na segunda ocorre o desmatamento da área (Figura 1), na terceira ocorre a geração de grandes quantidades de resíduos por meio da confecção dos blocos de dimensões padronizadas e nova geração de resíduos na forma de lama para padronizar a espessura das chapas que costumam ter dois ou três centímetros e, na quarta, produção de mais resíduos na forma de lama para o corte da rocha na dimensão desejada para as peças de pias, lavabos, balcões, soleiras, etc.



Figura 1: Exploração de recursos naturais pelo homem

A partir da problemática relatada pode-se compreender a vantagem da utilização desse resíduo na produção de concreto auto-adensável; uma vez admitido, como grande desafio para este século, a eliminação dos resíduos industriais gerados por empresas mineradoras do mármore e granito.

Pensando-se ainda na temática da retirada de novas matérias-primas da natureza, deve-se levar em consideração que, na produção do concreto auto-adensável é necessário à utilização de materiais denominados



“finos”, geralmente produzidos a partir de processo industrial utilizando matéria-prima da natureza. Desta forma, utilizando os resíduos do beneficiamento do mármore e do granito, para produção deste concreto, poupa-se a natureza.

Outro fator muito importante para a utilização do concreto auto-adensável na construção civil é a não utilização de vibradores no processo de lançamento e adensamento do concreto; equipamento que produz muito barulho, causando enorme poluição sonora no ambiente. Devido a esta vantagem, este concreto está sendo muito utilizado nos grandes centros, próximos a hospitais, escolas e outros locais.

O objetivo deste trabalho é a produção e avaliação da resistência à compressão do concreto auto-adensável confeccionado com resíduos oriundos do processo de corte e boleamento do mármore e granito utilizados na região de Limeira, sabendo que as chapas destas rochas têm origem em sua maioria no estado do Espírito Santo.

METODOLOGIA

Como metodologia procedeu-se um estudo das quatro etapas de produção das peças de mármore e granito que ornamentam as residências brasileiras e de outros países, focalizando a região de Limeira. Realizou-se também um estudo bibliográfico do concreto auto-adensável (CAA), englobando desde sua definição, produção e sua utilização no Brasil e no mundo. Para isso, estudou-se alguns trabalhos acadêmicos realizados no Brasil com o concreto em questão, sua aplicação em obras e sua importante relevância como uma das mais novas tecnologia em concreto.

Avaliou-se as vantagens de se reduzir a retirada de novas matérias-primas da natureza, uma vez que já não seja necessária a produção industrial destinada a fabricar estes finos. Assim como contribuir para os estudos de redução do custo desta nova tecnologia uma vez que estes finos podem ser adquiridos a custos menores.

Pode-se basicamente afirmar que esta produção se dá em quatro etapas. Sendo que num primeiro momento ocorre a fase de pesquisa mineral para se identificar a presença de rochas ígneas interessantes para a produção de peças de mármore e granito, nesta etapa ocorre o desmatamento inicial e as escavações (Figura 2). Na fase seguinte, procede-se a transformação das rochas em blocos, neste momento gera-se uma quantidade imensa de resíduos (Figura 3).



**Figura 2: Primeira etapa do processo:
desmatamento inicial e as escavações**

Fonte: <http://www.cmataexport.com/vimages/pedreirs>



**Figura 3: Segunda etapa do processo:
transformação das rochas em blocos**

Fonte: <http://www.minercal.com.br/impcpedr>

Na etapa seguinte os blocos são padronizados em chapas de dois ou três centímetros costumeiramente (Figura 4) e gera-se mais resíduos. No Brasil estas etapas ocorrem com maior frequência nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais e Bahia e após a padronização das rochas em chapas elas são transportadas para as mais diversas partes do país e do mundo onde ocorre a quarta fase.



Figura 4: Terceira etapa: chapas cortadas



Figura 5: Quarta etapa: Produção de lama devido a presença de água durante corte com disco das chapas

Na quarta fase as chapas serão cortadas e podem ser boleadas para tornarem-se pias, lavados, soleiras, mesas, balcões, corrimões, dentre outros (Figuras 6, 7, 8 e 9). Nesta fase a produção de resíduo é menor em relação às duas penúltimas fases, porém elas ocorrem de maneira parecida em todos os locais, o que possibilita que um estudo realizado com os resíduos desta etapa tenham grande relevância para várias localizações diferentes (Soares, 2009). Neste momento as chapas são cortadas com disco diamantados e deste corte resulta uma grande quantidade de pedaços de rochas e, como o corte é realizado com presença de água, uma lama que é conduzida até tanques onde devem ser armazenada para posterior transporte para outros locais (Figura 5).



Figura 6: Pia de granito e mármore

Fonte: www.joli.com.br



Figura 7: Cozinha com pia/balcão em granito

Fonte: www.3dmarmoresegranitos.com.br



Figura 8: Banheira com acabamento em mármore

Fonte: www.granitosconcordia.com.br

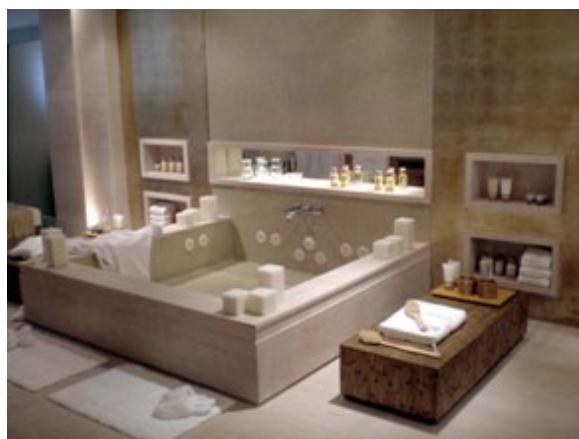


Figura 9: Banheira de mármore

Fonte: www.zap.com.br

Tendo como outro parâmetro a problemática do excesso de produção de resíduos estudou-se as vantagens em se aliviar os aterros, pois na cidade de Limeira os resíduos criados no processo de corte e boleamento dos materiais em questão são depositados no aterro sanitário municipal. Pensou-se também a questão da saúde pública, pois o material resultante do processo de corte e boleamento destas rochas ornamentais apresentam granulometria muito fina e, após secarem, sofrem a ação dos ventos que podem distribuir tal pó por grandes extensões. Surge desta forma, o objetivo de contribuir minimamente com a redução de doenças respiratórias na região.

Após finalizado estes estudos realizaram-se os ensaios em laboratório de caracterização dos materiais convencionais e do pó de mármore e granito (resíduos analisados para serem incorporados ao concreto). Dentre esses ensaios devem ser destacados: Granulometria; Determinação de Material Pulverulento; Massa Específica; Massa Unitária; Absorção; Inchamento e Finura.

Foram executados 36 corpos-de-prova cilíndricos os quais foram ensaiados conforme prescrições de Norma aos 7, 28, 35 dias. Ressalta-se que foram confeccionados e ensaiados corpos-de-prova cilíndricos com os materiais finos tradicionais e com os resíduos.

Para o controle do concreto fresco foi realizado o ensaio do abatimento denominado de Slump Flow Test para controlar o espalhamento do mesmo e também o controle visual da exsudação e da segregação do concreto. Para ambos os concretos no estado fresco foram executados os ensaios de Espalhamento e Caixa L com o intuito de avaliar a capacidade do concreto de preencher todos os espaços vazios e vencer obstáculos.

Após o rompimento dos corpos-de-prova em máquina universal de ensaios foram avaliados os desempenhos dos dois tipos de concretos, por meio da comparação da resistência à compressão dos corpos-de-prova produzidos com o resíduo em questão e com os resultados produzidos com os finos tradicionais.

MATERIAIS

Os materiais utilizados para a produção do concreto auto adensável são cimento ARI Fácil Ultra Rápido da Holcim, areia fina, brita 1, água. E os aditivos empregados são o Superplastificante Powerflow 1130 e Modificador de Viscosidade Murapor Estabilizador; e como adição foi utilizado o pó de mármore e granito resultante do processo de corte e boleamento dos mesmos.



RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os resultados da determinação do material fino que passa através da peneira 200 μ m, por lavagem. NBR NM 46. Este ensaio mostra o quão fina são as partículas do pó de mármore e granito. A quantidade de material pulverulento presente neste resíduo é muito grande, cerca de 86%.

Tabela 1 – Teor de material pulverulento do pó de mármore e granito

| | Massa inicial | Massa final | Teor da material pulverulento |
|----|--------------------|-------------------|-------------------------------|
| M1 | 100,006 (g) | 13,393 (g) | 86,61 (%) |
| M2 | 100,002 (g) | 13,849 (g) | 86,15 (%) |

Determinação do traço do concreto

Após a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, determinou-se a dosagem do traço de concreto confeccionado com pó de mármore e granito conforme Tabela 2. Pode-se notar pela tabela que a quantidade de água neste traço é bem reduzida.

Tabela 2 – Dosagem do traço do concreto confeccionado com pó de mármore e granito.

| | Cimento | Agregado miúdo | Agregado graúdo | Pó de granito | Água | Superplastificante |
|------------------|-----------|----------------|-----------------|---------------|-------------|--------------------|
| Quantidades (kg) | 25 | 50 | 55 | 12,5 | 12,5 | 1 (%) |

Ensaio do concreto no estado fresco

Anteriormente a moldagem dos corpos-de-prova realizou-se os ensaios de espalhamento e caixa L no estado fresco do concreto, conforme Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Resultado do espalhamento do concreto confeccionado com pó de mármore e granito

| | |
|--------------|----------------|
| Espalhamento | 78 (cm) |
| T_{50} (s) | 1,7 |

Um concreto auto-adensável com um valor de espalhamento mediano é indicado para peças com uma taxa de armadura eleva.

Já os resultados apresentados na Tabela 4 (Resultado do ensaio de Caixa L) são típicos de um concreto fluido. O concreto não apresentou dificuldade para atravessar obstáculos (armaduras), deve-se ressaltar, contudo que a dimensão máxima característica do agregado graúdo tem importante papel neste desempenho, mas a presença de um agente modificador de viscosidade é fundamental para garantir que o concreto atravesse obstáculos. Neste trabalho partiu-se do pressuposto que o pó de mármore e granito realiza o papel de modificador de viscosidade, mas deve-se ainda tomar cuidado para fazer esta afirmação, pois mais estudos devem ser realizados com este material.

Tabela 4 – Resultado do ensaio de Caixa L

| | |
|-----------------|-------------|
| $R B = H_2/H_1$ | 0,98 |
| T_{L20} | 0,60 |
| T_{L40} | 1,20 |

Ensaio do concreto no estado endurecido

Os corpos-de-prova cilíndricos de concreto foram ensaiados a resistência à compressão aos 7, 28 e 35 dias, conforme Tabelas 5 e 6.



Tabela 5 – Média das resistências à compressão do concreto confeccionado com pó de mármore e granito

| Idade dos corpos-de-prova | 7 dias | 28 dias | 35 dias |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Resistência à compressão média (MPa) | 50,44 | 52,64 | 61,00 |

Tabela 6 – Média das resistências à compressão do concreto confeccionado com materiais tradicionais

| Idade dos corpos-de-prova | 7 dias | 28 dias | 35 dias |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Resistência à compressão média (MPa) | 45,59 | 53,45 | 56,98 |

CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios foram gratificantes e estimulantes, sendo que no Slump Flow Test a velocidade de fluxo não chegou a provocar nenhum sinal de segregação para os dois traços, na Caixa L ocorreu uma boa distribuição do agregado graúdo e a houve o nivelamento na parte horizontal da caixa.

Em relação à resistência à compressão dos corpos-de-prova cilíndricos ensaiados, ambos os grupos apresentaram resultados satisfatórios e promissores, o que leva-se a projetar novos ensaios e continuidade de pesquisas. O concreto produzido com finos tradicionais apresentou maior resistência, mas a diferença não foi significativa, o que pode estar associado à falhas no processo de confecção do traço ou moldagem do concreto produzido com o resíduo.

O objetivo de obter concreto auto-adensável utilizando o resíduo do beneficiamento do mármore e granito foi alcançado de forma satisfatória, o que colabora para a divulgação positiva do uso do concreto auto-adensável tradicional bem como do CAA produzido com resíduos de pó de mármore e granito.

Ainda pode-se concluir que com a incorporação destes resíduos aliviam-se os aterros, deixa-se de retirar novas matérias-primas da natureza, e, como não é necessária a utilização de vibradores, na aplicação deste concreto, economiza-se energia elétrica e a poluição sonora é reduzida significativamente da obra, pois os vibradores produzem altos ruídos. Em consequência da redução de poluição sonora este concreto possibilita concretagens noturnas. E, com a incorporação destes resíduos, ocorre também uma redução no custo para a produção deste concreto.

Também conclui-se que ocorreu na marmoraria Pedras MC a educação ambiental dos funcionários que aprenderam a importância de separar e armazenar os resíduos para sua posterior reutilização e, de uma forma geral, aprenderam a importância da reciclagem de materiais na construção civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALENCAR, R. et al. Trabalhabilidade do concreto auto-adensável: ensaios para dosagem, controle de qualidade e aceitação em obra. Revista do Concreto, 2009.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1998.
3. _____. NBR NM 68: Concreto – Determinação da consistência pelo espalhamento na mesa de Graff. Rio de Janeiro, 1998.
4. FURNAS. Concreto – Determinação da habilidade de preenchimento do concreto auto-adensável utilizando-se o cone de Abrams (Slump Flow Test) – Método de ensaio. Manual de qualidade, 2004.
5. GOBBI, T. L.; AMARAL, C. K. Concreto auto-adensável de alto desempenho – Benefícios proporcionados pela microssilica, Anais do 47º Congresso Brasileiro do Concreto, 2005.
6. GIOVANETTI, E. Princípios básicos sobre concreto fluido. Pini, IBRACON, São Paulo, 1999.
7. LAVANDOSCKI, F. I. Comparação da resistência de concretos auto-adensáveis. Iniciação Científica, Centro Superior de Educação Tecnológica. CESET-UNICAMP. 2007.
8. LISBÔA, E. M. Obtenção do Concreto Auto-Adensável Utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas. Maceió, 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas.
9. KALBUSCH, A. Critérios de avaliação de sustentabilidade ambiental dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários em edifícios de escritórios. 2007.



10. MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais, São Paulo – Pini, 2008.
11. NASCIMENTO, A. R. Produção de areia reciclada lavada de resíduos “classe A” da construção civil: Contribuição ao desenvolvimento de processo via úmida na usina de Socorro/SP 2007 (Boletim Técnico).
12. Resolução CONAMA nº 307, 5 de julho de 2002 – Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.
13. SANTOS, A. D. Reciclagem do lodo de esgoto da região metropolitana de São Paulo – RMSP 2007.
14. SOARES, M. S. Estudo da Comparação da Resistência de Concretos Auto-adensáveis, através de Finos obtidos a partir do Beneficiamento do Mármore e do Granito. Iniciação Científica pelo Centro Superior de Educação Tecnológica. CESET-UNICAMP. 2009.
15. TUTIKIAN, B. F. Método de dosagem de concretos auto-adensável. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 2004.
16. 12º Concurso Falcão Bauer – Utilização de concreto auto-adensável em estrutura de edifícios com custo inferiores ao concreto convencionais.