

# PRODUÇÃO DE TIJOLOS A BASE DE PÓ DE MÁRMORE E CIMENTO<sup>1</sup>

Carlos Eduardo Gomes Ribeiro<sup>2</sup>

## Resumo

Este trabalho consiste na primeira etapa de um projeto desenvolvido em parceria entre SENAI-ES, SENAI-DN e POLITA. Por meio de uma metodologia experimental, houve o objetivo de estudar a viabilidade técnica da produção de tijolos modulares compostos por misturas binárias de finos de mármore-cimento e ternárias de finos de mármore-cimento-areia. Foram produzidos tijolos em uma prensa manual modelo SAHARA baseando-se na tecnologia utilizada para os tijolos de solo cimento através da substituição do solo por finos de mármore. As peças produzidas foram submetidas a ensaios de resistência à compressão e absorção de água, baseados nas NBR 8491/84 e NBR 8492/84. Os resultados obtidos apontam para uma possibilidade real de aproveitamento dos finos de mármore como material de base na produção destes elementos, restando agora a realização de um estudo mais aprofundado buscando o traço ideal para a produção dos tijolos.

**Palavras-chave:** Finos de mármore; Cimento; Tijolo modular; Solo cimento.

## PRODUCTION OF BRICKS BASED IN DUST MARBLE & CEMENT

### Abstract

This work is the first stage of a project developed in partnership between SENAI-ES, SENAI-DN and POLITA . With an experimental methodology it had the objective to study the viability technique of the production of modular bricks composites for binary mixtures of cement and marble dust and ternary mixtures of cement, marble dust and sand. Bricks in a manual SAHARA press the had been produced, it was based on the technology used for the cement ground bricks with the substitution of the ground for marble dust. The produced bricks had been submitted the tests of compressive strength and water absorption, based in the NBR 8491/84 and NBR 8492/84. The results point with respect to a real possibility of exploitation of the marble dust as material of base in the production of the bricks, now remaining study more searching the ideal trace for the production of the bricks.

**Key words:** Dust marble; Cement; Modular Brick; Cement ground.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Tecnólogo em Metalurgia e Materiais, SENAI DR-ES CEP “Mário Rezende”*

## 1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa trata da fabricação e análise de tijolos modulares produzidos utilizando a tecnologia solo-cimento com substituição do solo por finos de mármore provenientes do beneficiamento deste tipo de rocha ornamental.

A execução desta pesquisa foi demandada pela empresa parceira com o objetivo de encontrar um destino mais adequado ao seu subproduto industrial, através da utilização do mesmo na produção de tijolos que poderiam ser destinados a construção de moradias populares..

A utilização deste sub-produto justifica-se pelo problema ambiental causado pelo depósito do mesmo.

Além da questão do material, para Grande,<sup>(1)</sup> encontra-se num contexto mais amplo o uso da alvenaria como sistema construtivo culturalmente forte, sendo que o tijolo pode ser considerado o componente pré-moldado mais antigo e o mais empregado pelo homem na construção civil.

A técnica foi escolhida pois de acordo com Casanova,<sup>(2)</sup> o solo estabilizado gera uma grande economia de tempo na hora da construção, oferece conforto térmico e acústico superior ao de construções com alvenaria convencional, além de gerar menos entulho na hora da construção o que proporciona um local de obra mais limpo.

Segundo Pinto, citado por Grande,<sup>(1)</sup> os solos podem ser definidos por um conjunto de partículas sólidas provenientes da desagregação de rochas por ações físicas e químicas, com água (ou outro líquido) e ar, ou ainda ambos em seus espaços intermediários.

A partir desta afirmação podemos considerar os finos provenientes do beneficiamento de mármore como solos, já que estes são partículas provenientes de rochas desagregadas pela ação física de uma lâmina diamantada ou de segmentos abrasivos utilizados no processo de polimento da rocha, com água e/ou ar em seus espaços intermediários.

Entretanto este material apresenta algumas particularidades como sua granulometria e sua composição com teores consideráveis de óxidos de cálcio e magnésio, além da força de coesão existente entre suas partículas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A seguir serão descritos os materiais e métodos utilizados na produção dos tijolos.

### 2.1 Os Finos de Mármore (Solo)

O material utilizado na produção dos tijolos trata-se de um subproduto industrial, proveniente do desdobramento e do beneficiamento de mármore, sem a utilização de granalha de aço no processo.

O pó de mármore foi coletado na empresa POLITA na caçamba de descarga do filtro prensa. O material foi secado ao sol até que pudesse ser destorroado com facilidade. Após a secagem o material foi destorroado com um “pilão” e passado na peneira 4,8mm. A apresentação final do material pode ser observada na Figura 1.



**Figura 1** – Pó de mármore utilizado na fabricação dos tijolos

Alguns critérios para a seleção do material são definidos pelas normas ABNT NBR 10832 e ABNT NBR 10833 citadas por Grande<sup>(1)</sup> que são apresentados na tabela a seguir:

**Tabela 1** – Critérios para seleção de solos

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>REQUISITOS (%)</b>
% de solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm	100
% de solo que passa na peneira ABNT 0,075mm	10 a 50
Limite de liquidez	≤ 45
Limite de plasticidade	≤ 18

Com base nas prescrições do material apresentadas nas normas citadas foram realizados os seguintes ensaios a fim de caracterizar o material empregado:

- 1) Distribuição granulométrica a laser
- 2) Determinação do limite de liquidez (NBR 6459/84)
- 3) Determinação do limite de plasticidade (NBR 7180/84)
- 4) Análise granulométrica de solo (NBR 7181/84)
- 5) Determinação dos teores de óxidos de cálcio e magnésio e de resíduos insolúveis em HCl.

**Tabela 2** – Caracterização do pó de mármore

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>VALOR (%)</b>
% de solo que passa na peneira ABNT 4,8 mm	100
% de solo que passa na peneira ABNT 0,075mm	95,4
Limite de liquidez	Não apresentou
Limite de plasticidade	Não apresentou
% óxido de cálcio CaO	39,45
% óxido de cálcio MgO	13,79
% resíduo insolúvel RI	7,56

**Tabela 3 – Fração granulométrica do pó de mármore**

<b>FRAÇÃO</b>	<b>(%)</b>
Argila e argila coloidal: < 0,075mm	25
Silte: de 0,005mm a 0,05mm	53
Areia fina: 0,05mm a 0,42mm	22

## **2.2 O Cimento Portland**

Durante a pesquisa foi utilizado o cimento portland do tipo CII E 32 RS.

Optou-se por este tipo de cimento, pois:

“Atualmente os cimentos portland compostos são os mais encontrados no mercado, respondendo por aproximadamente 75% da produção industrial brasileira, são utilizados na maioria das aplicações usuais, em substituição ao antigo CP.”<sup>(3)</sup>

Além disso, o CII E é citado pela ABCP<sup>(3)</sup> como uma das opções para a aplicação solo-cimento.

## **2.3 Areia**

Utilizou-se areia retirada de um rio local, passada pela peneira ABNT 4,8 mm.

O objetivo de se adicionar areia foi o de elevar a granulometria da mistura já que os finos de mármore apresentavam um tamanho de partícula muito inferior ao recomendado pelas normas ABNT NBR 10832 e ABNT NBR 10833 citadas por Grande.<sup>(1)</sup>

## **2.4 Composição da Mistura**

Foram escolhidos alguns traços para a produção dos tijolos procurando considerar a finura do material.

Segundo Pires<sup>(4)</sup> preparam-se três traços volumétricos 1:10, 1:12, e 1:14, molda-se os tijolos e procede-se os ensaios de compressão e absorção de água, o traço que conferir aos tijolos valores de resistência a compressão e absorção de água compatíveis com a NBR 8492, na idade mínima de 7 dias será o adotado.

No decorrer da pesquisa optou-se trabalhar com teores mais elevados de cimento e com traços volumétricos na forma percentual.

Foram estipulados seis traços para a realização do estudo. Os traços adotados foram:

**Tabela 4 – Traços utilizados na produção dos tijolos**

<b>Traço</b>	<b>Finos de mármore(%)</b>	<b>Cimento(%)</b>	<b>Areia(%)</b>
<b>1</b>	90	10	-
<b>2</b>	80	20	-
<b>3</b>	80	10	10
<b>4</b>	70	20	10
<b>5</b>	70	10	20
<b>6</b>	60	20	20

## 2.5 Produção dos Tijolos Prensados

Na produção dos tijolos foi utilizada uma prensa manual de fabricação da empresa SAHARA, do modelo “Prensa Modular 10 x 20”, conforme podemos observar na Figura 2. Segundo o catálogo do fabricante da prensa este equipamento apresenta uma produção em torno de 250 a 300 tijolos por hora, com três pessoas trabalhando. A tensão de compactação, de acordo com SAHARA citado por Grande,<sup>(1)</sup> varia entre 2,0 e 3,0 MPa.



Figura 2 – Máquina utilizada na fabricação dos tijolos

A mistura dos componentes foi realizada no SENAI CEP “Mário Rezende” sobre uma superfície cimentada, onde os materiais foram dispostos e misturados com o auxílio de uma enxada até apresentar aspecto homogêneo. Verificou-se através de observação prática que não era necessária a adição de água às misturas, isto ocorreu devido a umidade presente nas matérias (pó de mármore e areia). Após a compactação dos tijolos, estes foram curados à sombra e molhados com um regador provido de chuveiro por um período de sete dias.

## 2.6 Ensaios

Os tijolos produzidos foram ensaiados utilizando os recursos disponíveis no local, buscando seguir as orientações da NBR 8492/84.

Os ensaios foram realizados em tijolos com idade de 28 dias.

Para a realização dos ensaios de compressão foi utilizada uma prensa hidráulica manual com capacidade para 15 toneladas com divisões de 0,5 toneladas.

Foram preparados cinco corpos de prova para cada amostra seguindo prescrição da norma.

Durante a compressão buscou-se adicionar a carga de forma lenta e sem impactos conforme prescrito na norma, além disso, os resultados foram registrados por meio audiovisual a fim de proporcionar análise do ponto de ruptura devido a falta de um ponteiro de arraste.

Para a realização dos ensaios de absorção de água foi utilizada uma balança com capacidade para 10 Kg e divisões de 10g. Os procedimentos foram desenvolvidos com base na norma NBR 8492/84.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios e sua relação com as especificações contidas na NBR 8491/84.

É importante ressaltar ainda uma particularidade apresentada pelos tijolos produzidos, pois eles apresentaram inclusões de baixa resistência na matriz, compostas por torrões não desfeitos da matéria prima, conforme podemos observar na Figura 3.

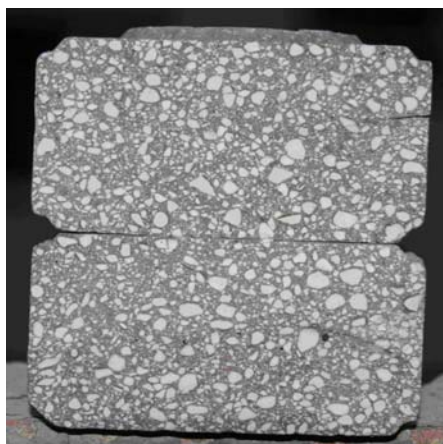


Figura 3 – Inclusões de baixa resistência na matriz

De acordo com a NBR 8491/84 as amostras ensaiadas não devem apresentar a média dos valores de resistência à compressão inferiores a 2,0 MPa, nem valores individuais inferiores a 1,7 MPa. Esta mesma norma prescreve ainda que as amostras ensaiadas não podem apresentar valores médios superiores a 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

Os resultados obtidos para os tijolos do traço 1 podem ser observados nas Tabelas 5 e 6:

Tabela 5 – Resistência à compressão em tijolos (T1)

Corpos de prova	Área Bruta	Carga Estimada (Kgf)	MPa
CP1	96,96	1700	1,75
CP2	96,96	600	0,62
CP3	96,96	1400	1,44
CP4	98,98	700	0,71
<b>Média</b>			1,13

Tabela 6 – Absorção de água em tijolos (T1)

Corpos de prova	Peso seco	Peso saturado	% Água
CP1	1350	1610	19,26
CP2	1340	1605	19,78
CP3	1330	1610	21,05
<b>Média</b>			20,03

De acordo com os dados apresentados nas Tabelas 5 e 6 este traço não se mostrou adequado a produção dos tijolos, pois, apesar dos valores de absorção de água serem aceitáveis, os corpos de prova apresentaram baixa resistência à compressão. Os resultados obtidos para os tijolos do traço 2 seguem a seguir nas Tabelas 7 e 8:

**Tabela 7 – Resistência à compressão em tijolos (T2)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Área Bruta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Estimada (Kgf)</b>	<b>MPa</b>
<b>CP1</b>	95,95	4400	4,59
<b>CP2</b>	97,97	3400	3,47
<b>CP3</b>	98,98	2000	2,02
<b>CP4</b>	96,96	2400	2,47
<b>Média</b>			3,13

**Tabela 8 – Absorção de água em tijolos (T2)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso saturado (g)</b>	<b>% Água</b>
<b>CP1</b>	1320	1590	20,45
<b>CP2</b>	1300	1570	20,77
<b>CP3</b>	1325	1580	19,24
<b>Média</b>			20,15

Analisando os dados apresentados nas Tabelas 7 e 8 observa-se que este traço atende às prescrições da norma, apresentando limites de resistência à compressão superiores aos especificados e um limite de absorção de água que atende aos valores individuais, enquanto que a média se for arredondada para um valor inteiro, atende aos 20% delimitados pela norma.

Na seqüência podem ser encontrados os resultados obtidos para o traço 3, nas Tabelas 9 e 10:

**Tabela 9 – Resistência à compressão em tijolos (T3)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Área Bruta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Estimada (Kgf)</b>	<b>MPa</b>
<b>CP1</b>	95,95	1200	1,25
<b>CP2</b>	95,95	1900	1,98
<b>CP3</b>	95,95	700	0,73
<b>CP4</b>	95,95	800	0,83
<b>Média</b>			1,19

**Tabela 10 – Absorção de água em tijolos (T3)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso saturado (g)</b>	<b>% Água</b>
<b>CP1</b>	1410	1650	17,02
<b>CP2</b>	1440	1680	16,67
<b>CP3</b>	1440	1690	17,36
<b>Média</b>			17,02

Ao observar os dados apresentados nas Tabelas 9 e 10, referentes aos resultados obtidos nos ensaios do traço 3 encontramos uma melhoria nos valores de absorção de água, comparados aos corpos de prova dos traços 1 e 2, no entanto a resistência à compressão apresentada está muito aquém da mínima especificada pela ABNT, diante dessa não conformidade podemos dizer que este traço não é adequado à produção dos tijolos.

Os resultados obtidos no traço 4 são os apresentados nas Tabelas 11 e 12:

**Tabela 11 – Resistência à compressão em tijolos (T4)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Área Bruta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Estimada (Kgf)</b>	<b>MPa</b>
<b>CP1</b>	97,97	1900	1,94
<b>CP2</b>	97,97	1900	1,94
<b>CP3</b>	96,96	3000	3,09
<b>CP4</b>	95,95	1600	1,67
<b>Média</b>			2,16

**Tabela 12 – Absorção de água em tijolos (T4)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso saturado (g)</b>	<b>% Água</b>
<b>CP1</b>	1390	1620	16,55
<b>CP2</b>	1395	1640	17,56
<b>CP3</b>	1400	1630	16,43
<b>Média</b>			16,84

Nos resultados obtidos para o traço 4, mostrados nas tabelas 11 e 12, encontramos valores para a absorção de água dentro dos limites estabelecidos pela norma e a média de valores para resistência à compressão também em conformidade com o prescrito pela ABNT. Observa-se, porém, que entre os valores individuais é possível encontrar um valor inferior ao especificado, no entanto, isso pode ter ocorrido por alguma falha na preparação do corpo de prova ou ainda pela imprecisão do instrumento utilizado na compressão, além disso, se arredondarmos o valor de resistência à compressão do CP3, este alcança a resistência mínima descrita na norma.

Para o traço 5 foram encontrados os resultados listados nas Tabelas 13 e 14.

**Tabela 13 – Resistência à compressão em tijolos (T5)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Área Bruta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Estimada (Kgf)</b>	<b>MPa</b>
<b>CP1</b>	94,94	1000	1,05
<b>CP2</b>	96,96	1500	1,55
<b>CP3</b>	94,94	1800	1,90
<b>CP4</b>	-	-	-
<b>Média</b>			1,50



**Tabela 14 – Absorção de água em tijolos (T5)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso saturado (g)</b>	<b>% Água</b>
<b>CP1</b>	1480	1690	14,19
<b>CP2</b>	1470	1690	14,97
<b>CP3</b>	1480	1700	14,86
<b>Média</b>			14,67

Com base nos dados expostos nas Tabelas 13 e 14 é possível observar uma melhora na absorção de água, que se mostra inferior à dos traços anteriores. Apesar da conformidade do teor de absorção de água, observa-se que os valores de resistência à compressão apresentam valores bem abaixo dos especificados. Encontramos nas Tabelas 15 e 16 os resultados obtidos para o traço 6:

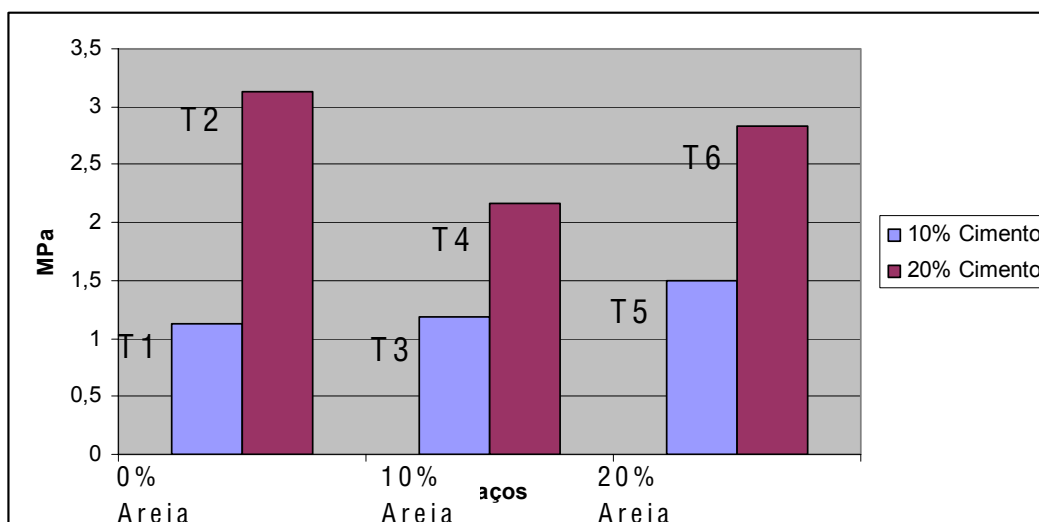
**Tabela 15 – Resistência à compressão em tijolos (T6)**

<b>Corpos de prova</b>	<b>Área Bruta (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Estimada (Kgf)</b>	<b>MPa</b>
<b>CP1</b>	95,95	1700	1,77
<b>CP2</b>	95,95	2900	3,02
<b>CP3</b>	96,96	3600	3,71
<b>CP4</b>	-	-	-
<b>Média</b>			2,83

**Tabela 16 – Absorção de água em tijolos (T6)**

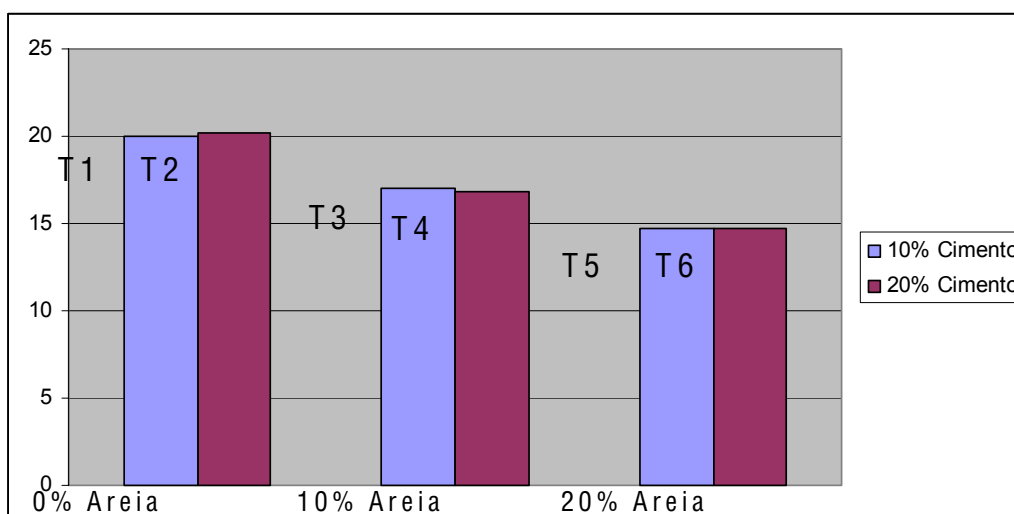
<b>Corpos de prova</b>	<b>Peso seco (g)</b>	<b>Peso saturado (g)</b>	<b>% Água</b>
<b>CP1</b>	1435	1650	14,98
<b>CP2</b>	1430	1640	14,68
<b>CP3</b>	1450	1660	14,48
<b>Média</b>			14,71

Nas Tabelas 15 e 16 podemos ver que este traço encontra-se em conformidade com a prescrição da NBR 8491/84, tanto nas médias quanto nos valores individuais. Gráficamente podemos comparar as médias dos resultados apresentados nas Tabelas de 5 a 16:



**Figura 4** – Gráfico comparativo das médias de resistência à compressão

A partir da Figura 4 é possível observar que os traços com 10% de cimento, todos eles, apresentaram valores de resistência à compressão inferiores aos especificados e sofreram um ligeiro aumento de resistência quando adicionamos areia. Apesar disso vemos que os traços com 20% de cimento apresentaram os limites de resistência superiores ao especificado, não apresentando porém uma relação bem definida com as adições de areia.



**Figura 5** – Gráfico comparativo das médias de absorção de água

Analisando a figura 5 observamos que a influência do teor de cimento sobre a absorção de água foi quase insignificante, enquanto que as adições de areia apresentaram resultados benéficos neste aspecto.

#### 4 CONCLUSÃO

Conforme exposto inicialmente o objetivo desta pesquisa era o de fabricar e analisar tijolos modulares produzidos utilizando a tecnologia solo-cimento com substituição do solo por finos de mármore.

Os resultados obtidos durante o decorrer do processo nos permitem algumas considerações importantes.

Foi possível observar que o teor de cimento na mistura é de grande importância no aumento da resistência à compressão. Além disso, nota-se claramente que as adições de areia à mistura são benéficas, já que, diminuem a absorção de água dos tijolos.

Observou-se ainda que na produção destes tijolos temos como complicador inclusões de baixa resistência na matriz, provocadas pela dificuldade em se desfazer completamente os torrões da matéria prima.

Acredita-se que com a completa pulverização da matéria prima será possível obter valores maiores de resistência à compressão.

No entanto, apesar deste complicador, observa-se que é possível utilizar este subproduto industrial na produção de tijolos a partir dos princípios empregados nos tijolos de solo-cimento.

Sem dúvida alguma a utilização do pó de mármore compactado com cimento para fabricação de tijolos constitui-se num tema que precisa ser explorado e abre caminho para diversos estudos como sugerido a seguir:

- produzir tijolos com a matéria prima devidamente pulverizada;
- estudar alguns traços intermediários aos apresentados, buscando a composição ideal da mistura;
- estudar a utilização de subprodutos da indústria de rochas que contenham granalha;
- estudar a utilização de subprodutos de base silicosa, como são os granitos.

## REFERÊNCIAS

- 1 GRANDE, Fernando M.. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa**. 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Departamento de arquitetura e urbanismo, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2003.
- 2 CASANOVA, Francisco e SILVA, Daniel B.. Técnica do solo-cimento. **Galeria de inventores brasileiros**. Disponível em: <<http://inventabrasilnet.t15.com.br/solocim.htm>>. Acesso em 13 set. 2006.
- 3 Associação Brasileira de Cimento Portland. **Guia de utilização do cimento portland**. São Paulo, 2002. 7 rev. Disponível em: <[http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos\\_pdf/BT106\\_2003.pdf](http://www.abcp.org.br/downloads/arquivos_pdf/BT106_2003.pdf)>. Acesso em 01 fev. 2007.
- 4 PIRES, Ilma. **A utilização do tijolo ecológico como solução para a construção de habitações populares**. Disponível em: <<http://www.unifacs.br/graduação/cursos/engcivil/tfg/tfg200y/apresenta%c3%a7%c3%a30%20ilma.pdf>>. Acesso em 06 fev. 2007.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo de solo cimento – determinação da resistência à compressão e da absorção de água**. NBR 8492. Rio de Janeiro, 1984.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo de solo cimento - especificações**. NBR 8491. Rio de Janeiro, 1984.