

## **Durabilidade de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduo de corte de granito**

**R. C. O. Lima<sup>1\*</sup>, G. A. Neves<sup>1</sup>, J. B. Q. Carvalho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande, Av.

Aprígio Veloso, 822, CEP 58109-970, Campina Grande – PB

<sup>2</sup>Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio

Veloso, 822, CEP 58109-970, Campina Grande – PB

(Recebido em 10/12/2009; revisado em 30/04/2010; aceito em 03/05/2010)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

### **Resumo:**

A grande quantidade de resíduo gerado durante o processo de beneficiamento das rochas graníticas é fator de preocupação para os ambientalistas, este resíduo, conhecido como lama abrasiva, é na maioria das vezes, colocado em locais inadequados como aterros, margens de rodovias e rios causando grandes impactos ambientais. O resíduo de granito apresenta-se inicialmente em polpa e é geralmente constituído de pó de granito, cal e granalha. O presente trabalho tem como objetivo principal estudar a durabilidade de tijolos ecológicos de solo-cimento incorporados com resíduo granítico. Para viabilizar esse estudo foram estudadas as propriedades física, química e mineralógica, através da distribuição de tamanho de partículas, análise química e difração de raios X. A metodologia utilizada para o ensaio de envelhecimento foi a de ciclos sucessivos de molhagem e secagem. Os resultados mostraram que com o aumento da incorporação de resíduo há um decréscimo de suas propriedades mecânicas e um aumento considerável na perda de massa, evidenciando assim o desgaste. Ao final dos ciclos de molhagem e secagem seguidos de escovação as amostras com 50% de resíduo foram as que apresentaram a maior diminuição na resistência mecânica evidenciando o envelhecimento.

**Palavras-chave:** Durabilidade; solo-cimento; resíduo de granito.

---

### **Abstract:**

The environmentalists are concern that the great amount of residue produced during the processing of granite rocks is generally placed in landfill, road borders and rivers causing major environmental impacts. The residue of granite rocks, known as abrasive mud, in the form of pulp is usually made up of powdered granite, lime and grit. The objective of this research is to study the durability of bricks of soil-cement with granite waste incorporated. Physical properties, chemical and mineralogical through the distribution of particle size, chemical analysis and X-ray diffraction patterns were determined. The methodology used for the ageing test was the well known repeated wetting and drying cycles. The results showed that with increasing amount of residue, there are a decrease in mechanical properties and a considerable increase in mass loss, thus showing wearing. At the end of the cycles of wetting and drying with brush the samples with 50% of granite residue incorporated, showed evidence of ageing.

**Keywords:** Durability; soil-cement; granite residue.

---

\* E-mail: [rosinha\\_cg@hotmail.com](mailto:rosinha_cg@hotmail.com) (R. C. O. Lima)

## 1. Introdução

O Brasil detém a maior parte das reservas mundiais de granito, as principais estão localizadas no Espírito Santo, Minas Gerais e estados nordestinos, principalmente Bahia e Ceará. Com o crescimento do setor mineral no país, a partir da década de 60, surgiram muitas empresas de beneficiamento de granito. Apesar de o segmento significar consideráveis incrementos sociais e econômicos, não se pode desconsiderar os problemas ambientais decorrentes desta atividade, como a geração de quantidades expressivas de resíduos os quais, em sua maior parte, são destinados de forma inadequada levando à contaminação dos recursos hídricos e do solo, poluição atmosférica, desfiguração da paisagem e danos à saúde [1].

Os resíduos do beneficiamento de granito são basicamente de dois tipos: frações de pedras desperdiçadas por possuírem menor qualidade ou pouco valor comercial e a lama em forma de polpa, que se caracterizam como sendo a massa mineral resultante dos processos de serragem, polimento e corte. A lama é constituída por pó de granito, cal e granalha. Esses resíduos não são biodegradáveis e classificados como resíduo classe IIB – inerte e não apresenta toxicidade, segundo a NBR 10004/2004 [2].

As lamas graníticas surgem devido à água que é utilizada para a refrigeração das máquinas, em conjunto com o pó resultante dos processos de corte e polimento. A disposição final da lama é um dos grandes desafios para as empresas mineradoras do século XXI. A busca pelo gerenciamento adequado dos resíduos, priorizando o uso de novas tecnologias de reutilização e reciclagem, é necessária [3].

Neste viés, pesquisas sobre a reciclagem dos resíduos graníticos vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo. O aproveitamento dos rejeitos de lavras de granito é de grande importância bem como sua aplicação como insumo na construção civil, na forma de alicerce, muro de arrimo, paralelepípedos, pedra tosca para calçamentos, cascalho para aterros, britas de pós, de modo a criar uma fonte de renda mínima com agregação de valor ao material extraído [4].

Feitosa [5] pesquisou a utilização do resíduo de serragem de granito para uso em blocos de concreto e demonstrou ser esta uma aplicação viável, visto que os blocos produzidos com a

incorporação destes resíduos apresentaram maior resistência à compressão simples que os produzidos com traço convencional.

Por suas características, como granulometria e composição química predefinida, o resíduo de corte de granito poderia ser utilizada para fabricação de tijolos prensados de solo-cimento [6].

O uso do rejeito de granito na fabricação de tijolos de solo-cimento, como qualquer outra nova tecnologia deve ser avaliada do ponto de vista econômico, ambiental e tecnológico para que possa ser livremente difundido no mercado.

Considerando a complexidade dos mecanismos de degradação, a prolongada vida útil dos produtos da construção civil e o elevado custo da obras civis, a avaliação da durabilidade é certamente um dos aspectos mais importantes do desenvolvimento de um novo material [7].

Por durabilidade entende-se a capacidade de um material manter a sua integridade quando submetido à ação de agentes ambientais. A agressividade do meio ambiente está diretamente relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas. O processo através do qual um dado material sofre transformações irreversíveis, capazes de comprometer sua qualidade e valor, é chamado degradação. Os agentes ou fatores de degradação podem ser físicos, químicos ou biológicos. Em relação aos solos estabilizados, os principais agentes de degradação são as variações de temperatura e umidade, além das solicitações impostas [8].

É possível perceber e quantificar a degradação através de seus indicadores, que são propriedades mensuráveis, que expressão a variação nas propriedades ou desempenho do material durante sua avaliação ou utilização. A manutenção das propriedades é indispensável para justificar o desempenho do produto ao longo de sua vida útil [9].

Uma das principais formas de avaliar a durabilidade de um material é através da observação da perda de massa e da variação de volume ao longo de repetidos ciclos de secagem e molhagem.

O objetivo do presente trabalho foi estudar a durabilidade de tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de granito, através da metodologia do envelhecimento acelerado (ciclos de molhagem e secagem).

## 2. Metodologia

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais além de água potável fornecida pela concessionária local.

**Cimento Portland:** adotou-se o tipo CP II Z 32 da marca Zebu, facilmente encontrado no comércio local (Campina Grande/PB). A massa específica é  $2,94\text{g/cm}^3$  e o Blaine é  $3.845\text{cm}^2/\text{g}$ .

**Solo:** Foi utilizado um solo argiloso proveniente do município de Campina Grande-PB. Classificado segundo a AASHOTO [10] como A-6. Esse solo foi beneficiado em peneira ABNT nº 80 (0,018mm) por via seca.

**Lama granítica:** O resíduo de granito utilizado foi proveniente das indústrias GRANFUGI e FUGI/SA, situadas no distrito industrial de Campina Grande-PB. A lama abrasiva após passar pelo filtro prensa foi exposta ao ar em temperatura ambiente para secagem natural durante 7 dias. O material seco foi beneficiado em peneira ABNT nº 80 (0,018mm) por via seca.

Inicialmente o resíduo granítico foi caracterizado através da determinação de sua distribuição de tamanho de partículas (Cilas, 1064LD), análise química por fluorescência de raios X (Shimadzu EDX-90), difração de raios X (Shimadzu, XRD 6000). Em seguida com base nos estudos de Araújo [6], foi estabelecido o traço de 1:9 incorporados com 20%, 30% e 40% de resíduo. Como fator água/cimento adotou-se 1,5 com base na umidade ótima do solo. Os tijolos ecológicos foram fabricados com as seguintes dimensões 0,25 m de comprimento, 6,5m de altura e 12,5 m de largura, utilizando uma Prensa Modular SAHARA de acordo com a norma ABNT NBR 10832 [11].

A metodologia empregada no ensaio de durabilidade por molhagem e secagem baseou-se na ABNT NBR 13554/96 [12]. Acrescentou-se a esta metodologia a determinação da absorção de água e da resistência à compressão simples [13], cujos resultados foram comparados para as amostras submetidas e as não submetidas ao envelhecimento acelerado.

Foram moldados 16 corpos-de-prova onde 8 foram submetidos aos fatores de envelhecimento, dos quais 4 foram destinados a obter a perda de massa e 4 a variação de volume, e posteriormente a resistência à compressão simples.

Para calcular a perda de massa dos corpos-de-prova ao final dos ciclos de molhagem e secagem foi necessário obter a quantidade relativa de água nos corpos-de-prova destinados a avaliação da variação do volume e utilizou-se a equação 1:

$$A_n = \frac{(M_f - M_i)}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

$A_n$  = Água retida no corpo de prova, em %

$M_f$  = massa seca final do corpo-de-prova após atingir massa constante, em g

$M_i$  = massa seca inicial calculada por ocasião da moldagem do corpo-de-prova, em g

A água retida  $A_n$  foi obtida pela média das 4 medidas. Para corrigir as massas secas dos corpos-de-prova selecionados para a obtenção da perda de massa teve-se que descontar a água que reagiu com o cimento durante o ensaio e que ficou retida no corpo-de-prova, conforme a equação 2:

$$M_{fc} = \frac{M_f}{(A + 1)} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

$M_{fc}$  = massa seca final corrigida do corpo-de-prova, em g

$M_f$  = massa seca final do corpo-de-prova após atingir massa constante, em g

$A$  = água retida no corpo-de-prova

Para o cálculo da perda de massa dos corpos-de-prova como porcentagem da massa seca inicial utilizou-se equação 3.

$$P_m = \frac{(M_i - M_{fc})}{M_i} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$P_m$  = Perda de massa do corpo-de-prova, em %

$M_{fc}$  = massa final corrigida do corpo-de-prova, em g

$M_i$  = massa inicial calculada por ocasião da moldagem do corpo-de-prova, em g.

A perda de massa de cada composição foi obtida pela média dos 5 corpos-de-prova utilizados.

Para calcular a variação de volume ao final de cada etapa foi utilizada a equação 4.

$$V_v = \frac{(V_i - V_n)}{V_i} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

$V_{v,n}$  = Variação de volume do corpo-de-prova em cada etapa, em %

$V_i$  = Volume inicial do corpo-de-prova, em  $\text{mm}^2$

$V_n$  = Volume do corpo-de-prova em cada etapa, em  $\text{mm}^2$

A variação de volume de cada composição foi obtida pela media dos 4 corpos-de-prova utilizados.

### 3. Resultados e discussões

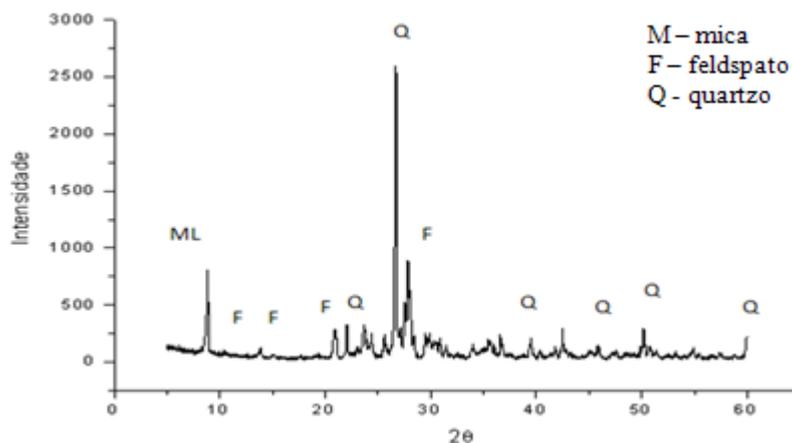
A Tabela 1 apresenta a composição química do resíduo de granito. Observa-se que o resíduo granito apresenta elevado teor de sílica (59,56%), alumina (16,46 %) e óxidos de ferro (6,58 %) e de cálcio (6,14 %). O ferro é proveniente da granalha utilizada como abrasivo e o óxido de cálcio é oriundo da cal utilizada como lubrificante das serras.

**Tabela 1:** Composição química (% em massa) do resíduo de granito.

Determinações (%)	Resíduo de Granito
SiO <sub>2</sub>	59,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,46
K <sub>2</sub> O	4,16
MgO	2,82
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,58
CaO	6,14
Na <sub>2</sub> O	2,32
Outros Óxidos	1,96

A Figura 1 apresenta o difratograma de raios X do resíduo de granito. As fases mineralógicas presentes no resíduo granítico foram mica,

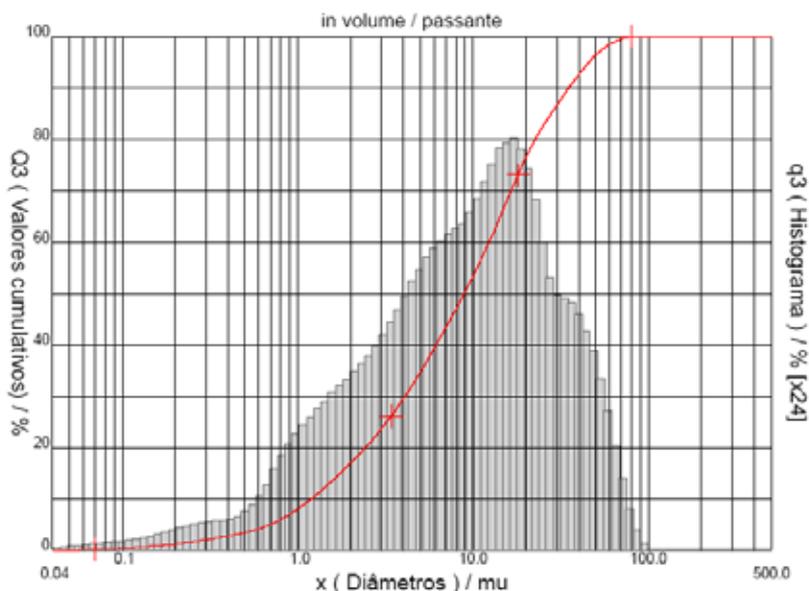
feldspato e quartzo, essas fases mineralógicas são típicas de rochas graníticas.



**Figura 1:** Difratograma de raios X do resíduo de granito.

A Figura 2 apresenta a distribuição de tamanho de partículas do resíduo granítico. A curva apresentou comportamento mono modal com larga distribuição de tamanho de partículas,

com  $D_{10}$  de 1,19  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 8,89  $\mu\text{m}$ ,  $D_{90}$  de 35,02  $\mu\text{m}$  e diâmetro médio de 13,87  $\mu\text{m}$ .



**Figura 2:** Distribuição granulométrica do resíduo de granito.

**Tabela 2:** Resultados de absorção de água (%)

Teor de Resíduo	30%	40%	50%
7 dias	17,81	17,79	18,89
28 dias	16,18	17,92	17,57
NBR 10834/94	≤ 20 %		

Comparando com a norma da ABNT, o resíduo apresentou valores de massa acumulada de 16,93% equivalente a fração argila ( $< 2 \text{ mm}$ ); 81,61% equivalente a fração silte ( $2 \text{ mm} < X < 60 \text{ mm}$ ) e 18,39% equivalente a fração areia ( $60 \text{ mm} < X < 2000 \text{ mm}$ ).

Os resultados de absorção de água para períodos de cura de 7 e 28 dias estão apresentados na Tabela 2.

Analisando os valores da Tabela 2 verificou-se um aumento na absorção de água com a adição do resíduo granítico, isto pode ser justificado pela elevada quantidade de quartzo e feldspato presentes no resíduo de granito e consequentemente aumento da porosidade dos tijolos de solo-cimento. Observou-se ainda que para todas as porcentagens de resíduo granítico os valores de absorção de água

permaneceram dentro dos limites especificados pela norma que é de 20%.

Os valores da resistência a compressão simples para períodos de cura de 7 e 28 dias estão contidos na Tabela 3. Analisando os resultados observou-se que houve um decréscimo da resistência com aumento do teor de resíduo de granito, isto pode ter ocorrido, devido o aumento da porosidade, e consequentemente aumento nos valores de absorção de água. Verifica-se também um acréscimo da resistência com o tempo, evidenciando a cura dos tijolos de solo-cimento aos 28 dias.

Os valores da variação da resistência à compressão simples entre as amostras submetidas ao envelhecimento acelerado e as amostras curadas normalmente até a idade de 28 dias estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 3:** Resultados de Resistência a Compressão simples para as idades de 7 e 28 dias (MPa).

Teor de Resíduo	30%	40%	50%
7 dias	0,9	0,9	1,0
28 dias	1,3	1,2	1,1
NBR 10834/94	≥ 2,0 MPa		

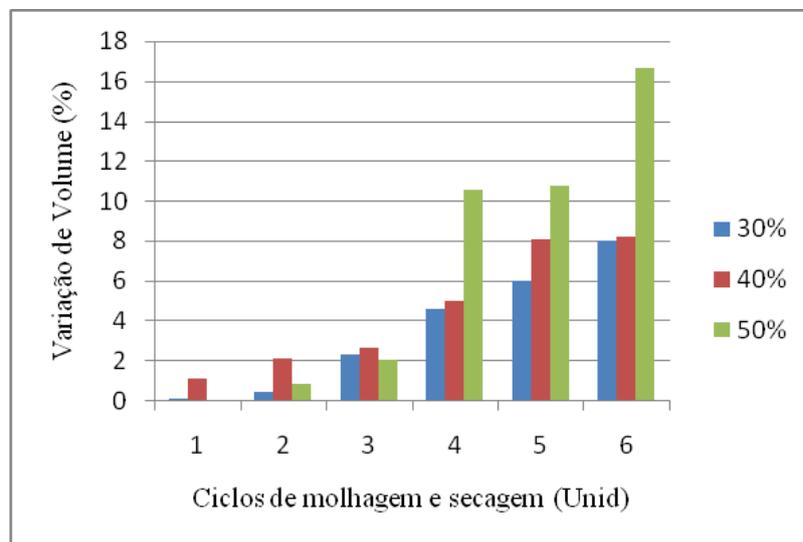
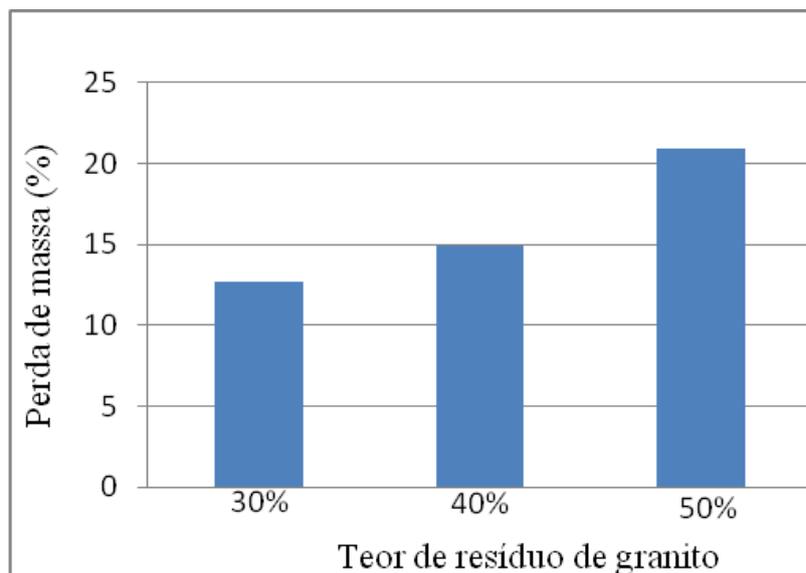
**Tabela 4:** Resultados de Resistência a Compressão simples (MPa)

Teor de Resíduo	30%	40%	50%
Normal	1,3	1,2	1,1
Envelhecimento	1,2	1,5	0,7
Variação ( $\Delta_{RCS}$ )	8%	-25%	36%

Analisando os valores da Tabela 4 observou-se que para as amostras 30% de resíduo granítico, após os ciclos de molhagem e secagem houve apenas uma discreta redução da resistência (8%). Para amostras com 40% de resíduo granítico verificou-se que mesmo após os 6 ciclos de molhagem e secagem a resistência ainda aumentou em 25%, evidenciando que não degradação do sistema. Já para as amostras com

50% o desgaste foi claramente observado através da redução em 36% da resistência a compressão simples das amostras submetidas às condições de desgaste em relação às amostras curadas normalmente.

O envelhecimento do traço com 50% de resíduo granítico pode ser verificado ainda através da variação de volume expressa na Figura 3.

**Figura 3:** Variação do volume dos tijolos ecológicos**Figura 4:** Perda de massa dos tijolos ecológicos (%)

Analisando os valores da Figura 3, percebeu-se um crescimento no desgaste da peça com o aumento da quantidade de resíduo, atingindo uma variação de volume acima de 16% para os corpos de prova com 50% de resíduos. Com 30% de resíduo foi verificado menor variação de volume, abaixo dos 8%.

Outro aspecto que caracteriza o desgaste do material em estudo é a perda de massa, mostrada na Figura 4. A perda de massa aumenta com a adição de resíduo de granito, chegando a mais de 20% de perda de massa para as amostras com 50% de resíduo granítico.

Devido à elevada perda de massa e variação de volume, as amostras com 50% de resíduo, ao contrário das demais composições, apresentaram uma diminuição da resistência e aumento da absorção de água após os ciclos de molhagem e secagem, já que sofreram maior desgaste.

#### 4. Conclusões

A partir dos estudos da durabilidade dos tijolos de solo-cimento incorporados com resíduo de serragem de granito conclui-se que:

- o resíduo de granito apresentou elevado teor de sílica, alumina, óxidos de ferro e de cálcio;
- a distribuição granulométrica apresentou comportamento monomodal com larga distribuição de tamanho de partículas;
- o resíduo apresentou as seguintes fases mineralógicas: mica, feldspato e quartzo;
- o aumento do teor de resíduo granítico nos tijolos de solo-cimento evidenciou aumento na absorção de água e maior perda de massa e variação de volume;
- não observou-se uma tendência bem definida da resistência mecânica com o aumento no teor de resíduo após os ciclos de envelhecimento;
- os tijolos incorporados com 50% de resíduo granítico foram os que apresentaram o maior decréscimo de resistência após os ciclos de envelhecimento.

#### Referências

- [1] Prezotti, J.C.S. et al. Concepção de um sistema de gerenciamento de resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais. I Congresso Internacional de Rochas Ornamentais. Guarapari, ES. 2004.
- [2] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – Resíduos Sólidos – Classificação. NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987.
- [3] Oliveira, I. C. A., As lamas resultantes da indústria transformadora das rochas ornamentais -recuperação paisagística de um aterro superficial de lamas em Pêro Pinheiro (sintra). Relatório de Fim de Curso de Arquitectura Paisagista. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, Portugal, 2005
- [4] Silva, D. C., Vidal, F. W. H. Aproveitamento econômico de rejeitos de lavra de granitos nas pedreiras: Rosa Iracema e Vermelho Filomena. In: Morais J. O. Rochas industriais : pesquisa geológica, exploração, beneficiamento e impactos ambientais. Fortaleza, 2003,
- [5] Feitosa, A. O. Utilização do resíduo de serragem de granito para uso em blocos de concreto sem função estrutural. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Paraíba – Campus II. Campina Grande. 2004. 92p.
- [6] Neves, G. A. Reciclagem de resíduos de serragem de granitos para uso como matéria-prima cerâmica. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos), Universidade Estadual de Campina Grande, Campina Grande, PB. 2002, 242p.
- [7] Oliveira, D. F., Santos, V. S., Lira, H. L., Melo, A. B., Neves, G. A. Durabilidade de compósitos de concreto Portland produzidos com agregados reciclados da construção civil. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, V.I, 2 (2006) ISSN 1809-8797. 2006 Disponível em: [www.dema.ufcg.edu.br/revista](http://www.dema.ufcg.edu.br/revista).
- [8] Rojas, J.W.J; Consoli, N.C.; Heineck, K.S., Durabilidad de un suelo contaminado y tratado com cemento portland. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 23 N°3, Dezembro de 2008. In.: [www.ing.puc.cl/ric](http://www.ing.puc.cl/ric)
- [9] Farias Filho, J. Estudo da durabilidade de argamassas alternativas produzidas de resíduos de construção e granito. Tese (doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande/PB. 2007

- [10] Carvalho, J. B. Q. Fundamento da Mecânica dos Solos. Editora Marcone. 2ª Edição. Campina Grande –PB. 2004
- [11] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. NBR 10832.
- [12] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. NBR 13554.
- [13] ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência a compressão e absorção de água - NBR 10836.