

**UNESP**  
**Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá**

**Guaratinguetá**  
**2011**

ALAN ROBERTO PINTO

DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS CERÂMICOS  
COM ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri

Guaratinguetá  
2011

P659d Pinto, Alan Roberto  
Desenvolvimento de tijolos cerâmicos com escória de alto-forno / Alan Roberto Pinto – Guaratinguetá : [s.n], 2011.  
28 f. : il.  
Bibliografia: f. 26-28

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.  
Orientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri

1. Cerâmica 2. Construção Civil I. Título


CDU 666.3

DESENVOLVIMENTO DE TIJOLOS CERÂMICOS  
COM ESCÓRIA DE ALTO-FORNO

ALAN ROBERTO PINTO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA  
DE **GRADUADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

  
**Prof. Dr. Marcos Valério Ribeiro**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO PERRELLA BALESTIERI  
Orientador/UNESP-FEG

  
Profa. Dra. ISABEL CRISTINA DE B TRANNIN  
UNESP-FEG

  
Prof. Dr. MIGUEL ANGEL RAMIREZ GIL  
UNESP/FEG

Novembro de 2011

## **DADOS CURRICULARES**

**ALAN ROBERTO PINTO**

NASCIMENTO	06.05.1988 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Rosiris Werder Pinto Natalino Adriano Pinto
2005/2006	Curso Técnico em Química ETE Conselheiro Antônio Prado
2007/2011	Curso de Graduação em Engenharia de Materiais UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço à minha família, que sempre acreditou em mim e meu deus forças e condições para estar onde estou,

ao meu orientador, Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri que sempre me incentivou na pesquisa e em muitos outros assuntos,

ao Prof. Dr. Eduardo Bellini Ferreira, por toda a ajuda ao longo desses anos,

ao técnico Domingos Hasmann Neto, pela paciência e simpatia inesgotáveis,

ao Dr. José Luiz Minatti por sua ajuda inestimável,

ao Paulo, que me ajudou a encontrar meu caminho,

à Luíza, por sempre me apoiar,

e a todos os outros que sempre estiveram ao meu lado.

Este trabalho contou com apoio da seguinte empresa

- Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A – USIMINAS, por meio da doação de escória de alto-forno granulada.

“Para voar, basta errar o chão”

Douglas Adams



**PINTO, A. R. Desenvolvimento de Tijolos Cerâmicos com Escória de Alto-forno.** 2011. 23 f. Tese (Trabalho de Conclusão de Graduação) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

## **RESUMO**

A indústria da construção civil encontra-se aquecida, e as moradias populares estão sendo fortemente incentivadas financeiramente pelo governo federal. Esse cenário é muito favorável para o desenvolvimento de materiais com aplicações na construção civil, principalmente construções de baixo custo. Estudos mostram que a escória de alto forno, material utilizado como matéria prima na fabricação de cimento, pode ser usada juntamente com óxido de cálcio na estabilização de solos para a fabricação de tijolos. Este trabalho tem como objetivo testar e identificar os melhores parâmetros para a fabricação de tijolos não queimados, adaptando sua composição aos materiais encontrados no Brasil e identificando as condições ótimas de cura para nosso clima. Até o momento foram feitos estudos preliminares para verificação da viabilidade técnica do material, com resultados que mostram uma resistência à compressão desses tijolos equivalente à dos tijolos cerâmicos queimados ou de solo-cimento. Estudos futuros deverão ser feitos para analisar a viabilidade econômica e os ganhos ambientais desse tipo de material.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tijolos cerâmicos, utilização de resíduos, construção civil.

**PINTO, A. R. Development of clay bricks with Ground Granulated Blast furnace Slag.** 2011. 23 p. Thesis (Graduation Final Work) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

### **ABSTRACT**

The construction industry is booming, and the federal government is heavily financially supporting public housing. This scenario is very favorable for the development of construction materials, especially low-cost construction. Thus, this study aims to develop a new class of unfired clay masonry bricks: GGBS stabilized bricks. Studies show that the ground granulated blast furnace slag, a material used as raw material in cement manufacture, can be used together with calcium oxide in soil stabilization for the manufacture of bricks. This study aims to test and identify the best parameters for the manufacture of unfired bricks, adapting its composition to the materials found in Brazil and identify the optimum curing conditions for our climate. So far preliminary studies were done to verify the technical feasibility of the material. Future studies should be done to ascertain the economic feasibility and environmental gains of such material.

**KEYWORDS:** Masonry bricks, use of waste, construction.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO .....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	24
REFERÊNCIAS .....	26
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	28

## **1 INTRODUÇÃO**

Como em todo país em desenvolvimento, a indústria da construção civil encontra-se aquecida no Brasil, e as moradias populares são incentivadas por pacotes econômicos do governo, como o programa “Minha Casa, Minha Vida”.

Esse cenário é muito favorável para o desenvolvimento de materiais com aplicações na construção civil, principalmente construções de baixo custo e sustentáveis.

Estudos mostram que a escória de alto forno, um resíduo industrial proveniente da fabricação do aço e utilizado como matéria prima na fabricação de cimento, pode ser usada juntamente com óxido de cálcio na estabilização de solos para a fabricação de tijolos cerâmicos não queimados.

Este trabalho buscou identificar os melhores parâmetros para a fabricação de tijolos não queimados, adaptando sua composição aos materiais e normas do Brasil.

Os estudos até então realizados mostram que os tijolos cerâmicos não queimados possuem uma resistência à compressão maior que a dos tijolos cerâmicos queimados ou de solo-cimento e maior até mesmo que os valores encontrados na literatura para o mesmo material. Estudos futuros deverão ser feitos para analisar a viabilidade técnica, econômica e os ganhos ambientais desse tipo de material.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo do presente trabalho é avaliar a viabilidade da fabricação de tijolos cerâmicos não queimados com a utilização de escória de alto-forno, adaptando sua composição aos materiais disponíveis no Brasil e buscando atender às exigências do mercado da construção civil e as normas técnicas para tijolos cerâmicos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria da construção civil encontra-se aquecida, e as moradias populares estão sendo fortemente incentivadas financeiramente pelo governo federal. Um reflexo disso é que, por mês, são produzidas, aproximadamente, 4 bilhões de peças de cerâmica vermelha estrutural (blocos e tijolos) (ANICER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA).

Tijolos cerâmicos são fabricados, comumente, pelo processo de extrusão. A argila com umidade entre 12 e 15% é forçada através de um extrusor e depois reprensada, no caso de tijolos aparentes, para assegurar uma forma mais uniforme e diminuir as tensões internas causadas pela extrusão. Os tijolos são então secos – ao ar livre, em galpões ou em túneis de secagem – e queimados em temperaturas entre 875 e 1000° C (SHREVR e BRINK, 1997). Em olarias tradicionais, a queima pode durar até dois dias, utilizando uma grande quantidade de combustíveis. Em 2005, a matriz energética para a produção de cerâmica estava assim distribuída: 48% de lenha, 26% de gás natural, 7,9% de eletricidade e 10,3% de outras fontes (SEBRAE / ESPM, 2008).

Durante a fabricação de tijolos muitos gases (entre eles o CO<sub>2</sub>) são liberados dos fornos cerâmicos, principalmente devido à sua precariedade e matriz energética. Ultimamente, muito se tem discutido sobre a contribuição do CO<sub>2</sub> para o aumento do efeito estufa, e a redução das emissões desse gás se tornaram uma obrigação de todos os países signatários do Protocolo de Kyoto. Além disso, o aumento constante nos custos de geração de energia aumentará também o preço dos tijolos queimados (OTI, KINUTHIA e BAI, 2009). Desse modo, o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, como a produção de tijolos cerâmicos não queimados, poderá diminuir o consumo de energia e permitirá o crescimento continuado do setor da construção civil.

No passado o uso do solo nas construções, principalmente nas áreas rurais, era muito comum, especialmente na forma de adobe, taipa de pilão, em casas de pau-a-pique, dentre outras (VAN LENGEN, 2008). Esse tipo de material apresenta muitas vantagens, entre elas a simplicidade da produção, o baixo custo, o bom isolamento

térmico e acústico e, sobretudo, a vantagem de, ao fim da vida útil da construção, o material ser novamente incorporado ao solo.

O fator limitante desses materiais é a baixa resistência à água. Essa limitação é atualmente resolvida estabilizando o solo com uma pequena quantidade de cal (óxido de cálcio). A adição de cal, além de aumentar a resistência à água, melhora muitas das propriedades de engenharia do solo, sendo por este motivo uma técnica largamente utilizada em estradas e fundações. Mas a cal, por outro lado, diminui a durabilidade desses materiais, algo essencial em construções residenciais.

Além da cal, outro estabilizante muito utilizado na fabricação de materiais de construção com solo é o cimento. Se comparado com a maioria dos materiais de construção tradicionais, os tijolos de solo-cimento – que são tijolos cerâmicos não queimados – oferecem vantagens para construções residenciais de baixo custo. Eles maximizam a utilização de materiais locais, requerem métodos de construção simples e oferecem bom isolamento térmico e acústico. Além disso, um tijolo de solo-cimento consome, em geral, 10% da energia necessária para a fabricação de um tijolo comum, pois não são queimados (JAYASINGHE e MALLAWAARACHCHI, 2009). A fabricação desses tijolos consiste, basicamente, na mistura e prensagem dos componentes, ocorrendo então a cura do cimento à temperatura ambiente.

Apesar dessas vantagens, os tijolos de solo-cimento são muito pouco utilizados. A falta de normas e critérios tanto para fabricantes quanto para construtores são os maiores problemas enfrentados na aplicação destes materiais. Essas deficiências são refletidas na pouca quantidade de artigos publicados nessa área (WALKER, 1995).

Mesmo sendo um grande passo para a diminuição da liberação de gás carbônico (se comparado com a queima dos tijolos cerâmicos comuns), o uso de cimento como estabilizante ainda apresenta um sério problema, pois a fabricação do cimento é um processo dispendioso que consiste na calcinação de silicatos de cálcio hidráulicos (que também libera grandes quantidades de gás carbônico).

Já a utilização de resíduos industriais e subprodutos de processos em materiais de construção civil é economicamente viável quando os fatores ambientais são considerados e quando esses materiais atendem às especificações técnicas e aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado da construção civil. Há muitos resíduos

industriais e subprodutos que podem ser usados para substituir matérias-primas naturais. As pozolanas compreendem uma classe de materiais capazes de substituir parcialmente as matérias-primas no desenvolvimento de materiais de construção, pois oferecem benefícios técnicos, econômicos e ambientais. As pozolanas são materiais que não são cimentos, mas contém componentes que, ao se combinar com cal, à temperatura ambiente e na presença de água, formam compostos estáveis que possuem propriedades de cimentação (KINUTHIA e NIDZAM, 2011).

Pozolanas naturais têm sido amplamente utilizadas como substitutas do cimento Portland em muitas aplicações devido às suas vantagens, que incluem redução de custos, redução na evolução do calor durante a cura, diminuição da permeabilidade, controle da expansão total, resistência química aumentada, reduzida da retração de secagem de concreto e melhoria das propriedades do concreto fresco. No entanto, a principal desvantagem para a substituição de cimento Portland com pozolanas naturais é que a resistência inicial é normalmente reduzida.

Para melhorar a resistência inicial dos concretos, várias técnicas foram testadas para melhorar a reatividade de pozolanas naturais, que incluem calcinação, tratamento ácido, moagem prolongada, cura a temperaturas elevadas e uso de ativadores químicos. SHI e DAY (2001) mostraram que a ativação química das pozolanas com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ou  $\text{CaCl}_2$  é um dos métodos mais vantajosos de ativação, pois proporciona uma boa resistência inicial à compressão e resulta em uma boa relação de custo por unidade de resistência do material final.

A escória de alto forno é uma pozolana artificial, subproduto da fabricação de ferro-gusa e que, em seu estado líquido, flutua para o topo do ferro fundido no interior do alto-forno. O resfriamento rápido da escória fundida resulta na formação de um material vítreo granulado, chamado de *Ground Granulated Blastfurnace Slag* (GGBS).

Na tabela 1 podem ser observadas as composições padrões e características físicas de uma pozolana natural de Milos, Grécia (PN) (MOROPOULOU, BAKOLAS e AGGELAKOPOULOU, 2004), da escória de alto forno (GGBS) e do cimento Portland (PC) (OLORUNSOGO, 1998).

*Tabela 1 – composição química padrão e propriedades físicas de uma pozolana natural (PN), cimento Portland (PC) e escória de alto forno (GGBS)*

	PN	PC	GGBS
SiO <sub>2</sub> (%)	69,66	21,06	37,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	12,21	5,09	10,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,34	3,01	0,43
CaO (%)	2,01	64,10	40,12
MgO (%)	0,70	2,58	8,83
K <sub>2</sub> O (%)	3,28	0,80	0,37
Na <sub>2</sub> O (%)	0,62	0,33	0,27
MnO (%)	-	-	0,68
TiO <sub>2</sub> (%)	-	-	0,58
C (%)	-	-	0,12
SO <sub>3</sub> (%)	-	2,92	0,15
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	2,36	3,11	2,93

Estudos mostram que a adição de escória de alto forno em solos estabilizados com cal, melhoram suas propriedades, inclusive a durabilidade (OTI, KINUTHIA e BAI, 2009). É importante salientar que grande parte da escória de alto forno produzida nas aciarias é atualmente utilizada na fabricação do cimento. Por esse motivo, a substituição do cimento pela escória nos tijolos excluiria uma etapa do processo (a fabricação do cimento), economizando energia e diminuindo a emissão de gases do efeito estufa, pois o processo de fabricação de ambos os tijolos é o mesmo: mistura dos componentes, prensagem e cura à temperatura ambiente.

O uso da escória de alto forno em concretos também é interessante, pois permite a substituição do cimento por este resíduo. WAINWRIGHT e REY (2000) mostraram que concretos com uma porcentagem de substituição de cimento por escória de até 85% apresentam características próximas às do concreto feito apenas com cimento.



Outro resultado interessante desse estudo é a avaliação da absorção de água pela escória, que se mostrou mais lenta que a absorção pelo cimento.

Tijolos com baixa condutividade térmica são interessantes, pois dão à construção inércia térmica, diminuindo a troca de calor com o ambiente o que, conseqüentemente, pode representar uma economia na energia necessária para aquecer ou resfriar o interior da construção. A análise térmica dos tijolos fabricados com escória de alto forno mostrou que esses possuem menor condutividade que os tijolos queimados, tornando-os melhores isolantes (OTI, KINUTHIA e BAI, 2009). Outra característica desses tijolos é que eles podem impedir a formação de mofo, porque apresentam poros que atuam como os filtros cerâmicos, o que resulta em uma melhor qualidade do ar. O fato de um único elemento da construção apresentar várias características favoráveis, incluindo a integridade estrutural, a baixa condutividade térmica e alta durabilidade em serviço, torna o material excelente para a fabricação de paredes, quando comparado aos tijolos usados convencionalmente.

Os tijolos cerâmicos estabilizados com escória de alto forno possuem uma resistência à compressão média de  $7,4 \text{ Nmm}^{-2}$  após 90 dias de cura (OTI, KINUTHIA e BAI, 2009), o que os coloca no mesmo patamar dos tijolos de solo-cimento, que possuem resistência à compressão média de  $7 \text{ Nmm}^{-2}$  que são valores consideravelmente superiores ao mínimo exigido pela norma ABNT NBR 7170:1983, que classifica como tijolos de classe “C” os que possuem resistência à compressão de, no mínimo,  $4 \text{ N/mm}^2$ .

Pelos resultados positivos, a fabricação de tijolos cerâmicos com escória de alto forno mostra-se uma alternativa interessante para a construção de residências populares em regiões próximas a siderúrgicas, pois permite o uso de resíduos industriais locais e a baixo custo.

Um método utilizado para comparar diferentes produtos do ponto de vista ambiental é a análise do ciclo de vida. Por definição, análise do ciclo de vida é um método utilizado para quantificar as cargas ambientais com base no inventário de fatores ambientais de um produto, processo ou atividade a partir da abstração de matérias-primas até sua disposição final. Em termos mais gerais, a análise do ciclo de vida envolve o exame de entradas e saídas necessárias e criadas durante a fabricação,

distribuição (incluindo a embalagem), uso e descarte de um produto (LEE, O'CALLAGHAN e ALLEN, 1994).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi desenvolvido utilizando materiais e equipamentos já existentes no Laboratório de Materiais Cerâmicos, do Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia da UNESP, campus de Guaratinguetá. A seguir, são apresentados os equipamentos utilizados:

- Moinho de bolas excêntrico BP Engenharia;
- Balanças MARTE, modelo AL 200, carga máx. 200 g (0,001 g) e TECNAL, carga máx. 220 g (0,001 g);
- Agitador de suspensões Marconi;
- Moldes metálicos para prensagem, com 20 mm de diâmetro.

O método experimental baseou-se nas seguintes etapas:

### 1. Obtenção de escória de alto-forno granulada

Amostras de escória de alto forno granulada foram obtidas junto ao fabricante (Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A), em quantidade suficiente para o desenvolvimento do procedimento experimental proposto. As propriedades físico-químicas da escória podem ser vistas na tabela 1.

### 2. Desaglomeração da escória

Para facilitar a mistura, a escória – inicialmente em grãos grosseiros – foi desaglomerada com esferas de alumina, em um recipiente (jarro) de porcelana, submetido à rotação intensa em um moinho de bolas excêntrico, por 10 minutos. Assim foi obtida a escória em pó fino.

### 3. Mistura dos constituintes

Como este é apenas um estudo de viabilidade técnica, os constituintes foram misturados manualmente, nas proporções mostradas na tabela 2. Estudos futuros devem ser realizados utilizando uma extrusora para a mistura e conformação dos constituintes.

*Tabela 2 – composições utilizadas (%)*

	<b>Argila</b>	<b>CaO</b>	<b>Escória</b>	<b>Água</b>
TL	87,1	1,4	5,4	6,1
A1	75,0	1,2	5,0	18,8
A2	68,6	1,1	4,6	25,7

### 4. Testes livres

Foram realizados testes livres, visando estimar alguns parâmetros da composição. A composição (TL) foi feita inicialmente com base na literatura (OTI, KINUTHIA e BAI, 2009). Tendo como objetivo utilizar o agitador de suspensões, adicionou-se mais água até ser obtida uma composição pastosa, que foi então vertida em moldes plásticos.

Após 28 dias de cura fora da estufa e à temperatura ambiente as peças foram analisadas visualmente.

O segundo lote de peças foi feito de maneira sistemática. Para determinar a porcentagem de água na mistura, foi calculada a porcentagem de água necessária para que a argila assumisse uma conformação plástica utilizando o ensaio de Casagrande.

### 5. Ensaio de Casagrande

O ensaio de Casagrande foi realizado da seguinte maneira: transferiu-se, com uma espátula, parte da amostra para a concha do aparelho de Casagrande e se alisou a

superfície, de forma a se obter uma camada com espessura de 10 mm na seção mais profunda; fez-se uma ranhura ao longo do plano de simetria da concha, utilizando-se o cinzel de Casagrande, que foi mantido normal à concha no ponto de contato durante o movimento; depois, a concha foi colocada no aparelho, evitando-se choques; a manivela foi girada, procurando-se respeitar a razão de duas revoluções por segundo e foram contados os golpes necessários para que as duas bordas inferiores da ranhura se unissem, numa distância de 13 mm, ao longo do eixo de simetria; seguidamente, foram coletados aproximadamente 20 g de solo junto às bordas, que se uniram para posterior determinação da umidade. O material da concha foi retirado para se promover a sua limpeza e secagem. A amostra ensaiada foi misturada novamente ao restante do material preparado, ao qual se adicionou um pouco de água para aumentar a umidade e, em seguida, homogeneizou-se a pasta novamente; este procedimento foi repetido cinco vezes, para se obter 5 pares de valores de umidade versus número de golpes situados, esses últimos, entre 15 e 35 (DE SOUZA, RAFULL e VIEIRA, 2000).

## 6. Conformação em moldes metálicos

A literatura (WALKER, 1995) mostra que a argila ideal para a fabricação de tijolos de solo-cimento é uma argila com índice de plasticidade (IP) entre 5 e 15. Para permitir uma melhor comparação entre os diversos tipos de tijolos, foi escolhida uma argila nessa faixa de plasticidade (Argila Santa Gertrudes).

A argila utilizada é uma argila caulínica proveniente de Santa Gertrudes – SP. A composição padrão dessa argila pode ser vista na tabela 3 (DE SOUZA, MONTEIRO e VIEIRA, 2004).

*Tabela 3 – composição da argila Santa Gertrudes (%)*

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
44,07	29,97	9,15	1,36	0,22	1,04	0,47	1,44

Para analisar o efeito da água na mistura foram feitas duas composições, variando apenas a porcentagem de água (A1 e A2). As composições podem ser vistas

na tabela 2. Ambas as composições utilizaram argilas com índice de plasticidade considerado ideal para tijolos de solo-cimento.

Os corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão foram conformadas manualmente em moldes metálicos, comumente utilizados para prensagem de pós. A massa plástica foi conformada no molde e, então, retirada, resultando em peças cilíndricas de 20 mm de diâmetro e 20 mm de altura. Foram fabricadas 15 peças para cada composição.

### **7. Secagem e cura das amostras**

A secagem foi realizada à temperatura ambiente, fora do molde. Durante a secagem, também ocorreu a cura da peça.

### **8. Ensaio de compressão**

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados seguindo a norma ABNT NBR 6460:1983, com velocidade de  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Para analisar o tempo de cura foram feitos ensaios de compressão após 7 e 21 dias.

### **9. Ensaio de absorção de água**

Para avaliar a resistência dos tijolos à água, amostras foram mergulhadas em água por 24 horas. Estes ensaios foram realizados para avaliar a resistência dos tijolos à água, pois esse é um pré-requisito da norma ABNT NBR 7170:1983. Após esse tempo, pretendia-se realizar ensaios de compressão para avaliar a queda na resistência dos tijolos e a absorção de água no material.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes livres resultaram em peças com trincas superficiais, causadas pela secagem não controlada. Apesar das trincas, as peças possuíam alta resistência à compressão.

*Tabela 4 – Resistência média à compressão vs tempo de cura*

Mistura	Tempo de cura (dias)	Resistência média (MPa)
A1	7	2,44
	21	8,19
A2	7	2,37
	21	9,44

Verificou-se pelos resultados apresentados na tabela 4 um aumento da resistência à compressão ao longo do tempo para as duas misturas avaliadas. Estudos posteriores devem ser feitos no sentido de analisar a curva de cura completa, pois as peças devem atingir a resistência máxima à compressão após 90 dias (OTI, KINUTHIA e BAI, 2009).

Verifica-se, também, que ao longo da cura a mistura A2 tornou-se mais resistente que a mistura A1. Isso pode ser devido ao fato da mistura A2 ter maior conteúdo de água, fornecendo um meio mais favorável para as reações da escória e da cal, tendo em vista a já comentada demora na absorção da água pela escória.

Os resultados encontrados (8,5 MPa) mostram-se promissores, pois após 21 dias de cura foram encontrados resultados duas vezes maiores que os registrados por OTI et al (2009) de aproximadamente 3,8 MPa. Com base nos resultados, estudos posteriores devem ser realizados, no sentido de aperfeiçoar a composição e o desenho dos tijolos.

O rápido aumento de resistência à compressão também pode permitir que as construções sejam feitas em um curto período após a fabricação dos tijolos, considerando que estes já apresentam resistência suficiente à sustentação. A cura posterior pode aumentar ainda mais a resistência dos tijolos cerâmicos a serem utilizados em construção civil.

Diminuir a resistência dos tijolos, mantendo-os dentro da norma ABNT NBR 7170:1983, é uma alternativa a ser estudada. Diminuir a porcentagem de estabilizantes ou fabricar tijolos vazados poderiam gerar esse resultado, o que permitiria uma economia de recursos.

O resultado dos ensaios de absorção de água não foi satisfatório, pois as peças foram dissolvidas na água após o tempo do ensaio. Esse resultado mostra que as reações entre cal e escória não ocorreram totalmente.

Como a escória absorve a água lentamente, provavelmente a secagem das peças ocorreu antes que as reações pozolânicas pudessem ocorrer, o que pode explicar as trincas nas peças e sua baixa resistência à água.

Para aumentar a resistência dos tijolos cerâmicos foi avaliada a cura das peças, sendo estas molhadas diariamente durante a fase inicial de cura (28 dias). Essa alternativa também não apresentou bons resultados, pois as peças foram “lavadas” pela água, sendo dissolvidas ao longo do período de testes.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram que a fabricação de tijolos não queimados utilizando escória de alto forno pode ser viável tecnicamente. As peças fabricadas apresentaram uma resistência que as enquadra na categoria “C” de tijolos maciços (conforme a norma da ABNT NBR 7170:1983), e é superior à dos tijolos de solo-cimento.

A alta resistência encontrada – embora tenham sido feitas poucas amostras – sinaliza que a composição e o desenho dos tijolos podem ser otimizados para economizar recursos e, ainda assim, atender à norma. O desenho dos tijolos deve levar em conta também a facilidade da construção, permitindo uma construção mais rápida e com menos desperdício de materiais.

A mistura atual, embora resistente mecanicamente, não possui resistência à água. Para diminuir o número de variáveis, estudos posteriores devem ser feitos para avaliar apenas a relação cal-escória-água. Variando as proporções de cal, escória e água, além dos parâmetros de moagem, mistura e secagem, pode-se encontrar a relação ideal desses componentes para uma reação pozolânica completa. Um indicador para avaliar essas reações seria a relação entre sílica e cálcio ao final do período de cura.

Após a definição da composição dos componentes reativos, deve ser estudada a proporção ideal da argila na mistura, de forma que garanta o cumprimento da norma e economize materiais, tendo em vista que a argila age apenas como carga.

De posse da composição ideal, espera-se que a mistura possa ser flexibilizada a ponto de comportar uma grande variedade de argilas, permitindo seu uso nas diversas regiões do país.

Ao garantir a estabilidade e a resistência mecânica dos tijolos, estudos devem ser feitos para de analisar a viabilidade econômica. A análise do ciclo de vida é um método interessante, pois pode quantificar a economia de recursos e energia dos tijolos cerâmicos não queimados estabilizados com escória de alto forno em relação aos tijolos queimados ou de solo-cimento.

De modo geral, os tijolos cerâmicos fabricados com escória de alto forno mostram-se muito interessantes para a fabricação de construções de baixo custo e este estudo pode ser considerado como um desenvolvimento inicial, mostrando a viabilidade técnica e indicando a necessidade de pesquisas futuras.

## REFERÊNCIAS

ANICER - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **ANICER.**

Disponível em:

<<http://www.anicer.com.br/index.asp?pg=institucional.asp&secao=3&categoria=60&selMenu=3>>. Acesso em: 14 dez. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6460 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria - Verificação da resistência à compressão.** ABNT. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7170 Tijolo maciço cerâmico para alvenaria.** ABNT. 1983.

DE SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 4, n. 3, 2000. 460-464.

DE SOUZA, E. T. A.; MONTEIRO, S. N.; VIEIRA, C. M. F. Revestimento cerâmico com granito e argila caulinítica. **Cerâmica**, 50, n. 314, Abril/Junho 2004. 122-127.

JAYASINGHE, C.; MALLAWAARACHCHI, R. S. Flexural strength of compressed stabilized earth masonry materials. **Materials and Design**, n. 30, 2009. 3859-3868.

KINUTHIA, J. M.; NIDZAM, R. M. Towards zero industrial waste: Utilisation of brick dust waste in sustainable construction. **Waste Management**, n. 31, 6 Maio 2011. 1867-1878.

LEE, J. J.; O'CALLAGHAN, P.; ALLEN, D. Critical review of life cycle analysis and assessment techniques and their application to commercial activities. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 13, 5 Março 1994. 37-56.

MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; AGGELAKOPOULOU, E. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. **Thermochimica Acta**, n. 420, 2004 Julho 2004. 135-140.

OLORUNSOGO,. Particle Size Distribution Of Ggbs And Bleeding Characteristics Of Slag Cement Mortars. **Cement and Concrete Research**, 28, n. 6, 18 Março 1998. 907-919.

OTI, J. E.; KINUTHIA, J. M.; BAI, J. Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks. **Engineering Geology**, n. 109, 2009. 230-240.

OTI, J. E.; KINUTHIA, J. M.; BAI, J. Design thermal values for unfired clay bricks. **Materials and Design**, n. 31, 5 Agosto 2009. 104-112.

OTI, J. E.; KINUTHIA, J. M.; BAI, J. Engineering properties of unfired clay masonry bricks. **Engineering Geology**, n. 107, 2009. 130-139.

SEBRAE / ESPM. **Cerâmica Vermelha para Construção: Telhas, Tijolos e Tubos - Relatório Completo**. SEBRAE / ESPM. 2008.

SHI, C.; DAY, R. L. Comparison of different methods for enhancing reactivity of pozzolans. **Cement and Concrete Research**, n. 31, 13 Fevereiro 2001. 813-818.

SHREVR, R. N.; BRINK, J. A. **Indústrias de Processos Químicos**. Quarta. ed. Editora Guanabara, 1997.

VAN LENGEN, J. **Manual do Arquiteto Descalço**. Empório do Livro, 2008.

WAINWRIGHT, P. J.; REY, N. The influence of ground granulated blastfurnace slag (GGBS) additions and time delay on the bleeding of concrete. **Cement & Concrete Composites**, n. 22, 2000. 253-257.

WALKER, P. J. Stength, Durability and Shrinkage Characteristics of Cement Stabilised Soil Blocks. **Cement & Concrete Composites**, n. 17, 1995. 301-310.

### **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

BARSOUM, M.W. **Fundamentals of ceramics**. 1. ed. Philadelphia: IOP, 2003. 604p.

MOLLISON, B. **Permaculture: A Designers' Manual**: Tagari Publications, 1988, 576 p.

HOLMGREN, D. **Permaculture: Principles and Pathways Beyond Sustainability**: Holmgren, 2002, 320 p.

ROSELAND, M. Dimensions of the ecocity. **Cities**, v. 14, n. 4, p 197-202, 1997.