

# Estudo do aproveitamento de resíduos cerâmicos visando à redução da quantidade de Cimento Portland na produção de solo-cimento

*Studies of reuse the residues ceramic aiming for reducing the quantity of  
Portland Cement in soil-cement production*

*Maria Amélia Caixeta Barcelos*

Graduanda do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).  
E-mail: mariameliacb@gmail.com

*Jean Lúcio Martins Teixeira*

Graduando do curso de Engenharia Civil (UNIPAM).  
E-mail: jeanlucio99@hotmail.com

*Juliana Queiroz Borges de Magalhães Chegury*

Professora orientadora (UNIPAM).  
E-mail: julianaq@unipam.edu.br

---

**Resumo:** Esta pesquisa teve como objetivo apresentar uma alternativa técnica, baseada em estudos de laboratório, para o emprego de agregados oriundos de resíduos cerâmicos, na pavimentação de pátios de solo-cimento, com o intuito de reduzir a quantidade de cimento Portland no traço. Foram executados ensaios com todos os materiais utilizados no traço para obtenção das características essenciais de cada agregado e aglomerante em estudo. Durante os ensaios, observou-se que a cerâmica oriunda do aproveitamento de obras tem grande quantidade de matéria orgânica bem como no solo arenoso obtido para as análises do projeto. Os resultados indicaram que para a obtenção de uma resistência mínima para o uso em um pátio era necessária uma substituição insignificante em relação ao traço e mesmo assim não obteríamos uma resistência suficiente. Conclui-se que a cerâmica é um material inerte e de baixo poder resistente quando utilizado em substituição ao cimento Portland.

**Palavras-chave:** Resíduo. Cerâmica. Solo-cimento.

**Abstract:** This research aimed to present an alternative technique, based on laboratory studies, for the use of aggregates, derived from waste ceramic, paving of soil-cement patios, in order to reduce the amount of Portland cement in the trace. Tests with all materials used in the trace were carried out in order to obtain the essential characteristics of each aggregate and binder in the study. During the tests it was observed that the ceramic coming from the use of constructions has large amount of organic material as well as the sandy soil obtained for the project analysis. The results indicated that to obtain an almost appropriate resistance minimum for use needed in a patio, it was needed a negligible substitution in relation to the mark and even yet we would not get sufficient strength. We conclude that the ceramic is an inert material and it is a low-resistant material when is used in substitution of the Portland cement.

**Keywords:** Residue. Ceramics. Soil-cement.

---

## 1 INTRODUÇÃO

As pesquisas sobre reciclagem na construção civil têm aumentado significativamente nos últimos anos, em virtude da grande necessidade de se saber qual será a destinação final dos resíduos gerados por este setor, que muitas vezes não são reutilizados ou até mesmo descartados de forma inadequada.

Normalmente, os resíduos gerados pela construção civil atingem volumes expressivos e, não recebendo solução adequada, impactam o meio ambiente, tornando críticos os problemas de saneamento nas áreas urbanas (HANSEN, 1996; PINTO, 1999; BOURDEAU, 1998; LAURITZEN, 1997; COLLINS, 1997; JOHN, 2000; HENDRIKS, 2000).

As pesquisas voltadas à reciclagem têm sido muito bem lembradas, pois se observa que muitos pesquisadores se destacaram analisando essa área quando a produção era muito menor do que os dias atuais. O emprego de resíduos da construção e demolição (RCD) é uma ótima ideia para a sustentabilidade em todas as áreas.

A utilização dos recursos naturais não renováveis deve ser repensada pelos impactos ambientais diretos ocasionados e, portanto, faz-se necessária a tentativa de se criarem continuamente formas de diminuir os impactos no meio ambiente e uma das formas viáveis é a utilização dos RCDs. Em várias partes do mundo esse processo já está em andamento, mas para isso deve-se conhecer o comportamento desse material quando inserido na produção de outros componentes da construção, como, por exemplo, solo-cimento, tijolos ecológicos, em que já foi estudada a utilização de resíduos cerâmicos oriundos do descarte, com vistas a diminuir a quantidade de Cimento Portland na composição destes produtos.

O estudo e a utilização de agregados reciclados de RCDs para a produção de concreto têm avançado muito. Porém, a grande heterogeneidade desse material pode representar a principal dificuldade encontrada para a utilização na fabricação do concreto. Cada parte desse resíduo pode influenciar diferentemente nas propriedades, uma vez que sua composição pode variar muito de uma amostra de materiais para outra. Contudo, é necessário controlar essa limitação, até que sejam implantadas políticas mais rigorosas e restritivas para a gestão de resíduos de RCD, dentro e fora dos canteiros de obra (REVISTA SITIENTIBUS).

A indústria da construção civil é um setor produtivo que possui considerável papel na economia do Brasil; quando se refere a concreto, o alcance é maior ainda. Como já relatado, a reutilização do RCD para o concreto tem que ser analisada devido à heterogeneidade e, no solo-cimento, não é diferente. Quando analisado o resíduo cerâmico em todas as suas propriedades, é necessário levar em conta o desempenho final da mesma para o devido fim, resistência final elevada, mas substituição da mesma com intuito de diminuir o cimento Portland.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em duas etapas: a primeira englobou as condições iniciais, justificativa, objetivos e revisões bibliográficas sobre o tema abordado; a segunda parte englobou os experimentos que analisaram as características dos

agregados e aglomerantes. Posteriormente foram discutidos os resultados encontrados nas análises, para iniciar a elaboração dos traços de solo-cimento usando a cerâmica previamente analisada juntamente com um solo caracterizado como sendo arenoso.

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Tecnologia de Materiais localizado no Campus do Centro Universitário de Patos Minas em Minas Gerais. Foram realizados vários ensaios consecutivos, com as mesmas unidades experimentais, sendo que a cerâmica vermelha passou por vários ensaios de caracterização, durante todo o estudo.

Os resíduos coletados e utilizados no estudo, conforme exemplo da foto 01, foram de origem cerâmica, proveniente de tijolos descartados pela construção civil. Após a coleta, foi feito o tritramento, para obtenção de material com uma granulometria semelhante à do cimento Portland.

**Figura 01.** Cerâmica Vermelha



**Fonte:** Foto do acervo pessoal dos autores.

A obtenção do RCD foi uma das partes mais complicadas do projeto, não por ser raro, mas devido à granulometria, pois era necessário um material com granulometria semelhante ao do cimento Portland, e o intuito era usar o rejeito da construção (cacos de tijolos), que é obtido em uma granulometria bem superior ao trabalhado. Portanto tivemos que enviar esse material para uma local que dispunha de moinho de bola, o qual triturou o RCD na granulometria desejada.

A análise da cerâmica foi feita da mesma forma que se analisam os demais agregados em um concreto. Foram avaliados: a granulometria (NBR NM 248 - 2003); os materiais pulverulentos - material mais fino que 0,075 mm (NBR NM 46 - 2003); a massa específica do agregado seco - Método do Frasco de Chapman (DNER-ME 194/98); a massa unitária em estado solto (DNER-ME 152/95); a umidade (NBR 9775, DNER - ME 52-64). A resistência mecânica à compressão (NBR 7215) foi feita em uma segunda etapa, visto que nessa etapa já se estudava o solo arenoso juntamente com o cimento CP II - E e com o material cerâmico para substituição de parte do cimento Portland.

O traço visava à redução da quantidade de cimento Portland, substituindo o mesmo pela cerâmica vermelha proveniente do RCD em quatro proporções, iniciada com 0%, 10%, 25% e 50%.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são constituídos em cerca de 90% por frações de natureza mineral (concretos, argamassas, rochas naturais, solos e cerâmicas), tanto no Brasil como na Europa (CARNEIRO *et. al.*, 2000; FERRAZ *et. al.*, 2001; EC, 2000). Do ponto de vista químico, a composição estimada do RCD brasileiro, em óxidos, seria majoritariamente sílica, seguido de alumina e óxido de cálcio (ÂNGULO *et. al.*, 2001).

O setor da construção civil é um grande consumidor de recursos naturais não renováveis. Os agregados naturais estão entre os minerais mais consumidos no Brasil e no mundo. A mineração de areia e brita está espalhada por todo o território nacional e é uma das mais importantes atividades extrativas do setor mineral brasileiro, devido ao volume produzido. Em 2010, cerca de 289 e 192 milhões de toneladas de areia e brita, respectivamente, foram produzidas pelo Brasil. Esses valores são comparáveis ao volume de produção do minério de ferro 370 milhões de toneladas, principal produto mineral brasileiro. A participação do macro setor no total do Produto Interno Bruto da economia gira em torno de 20% (CEE/CBIC, 2011).

Depois de se analisar o resíduo cerâmico, obtivemos os dados a partir de experimentos laboratoriais, tais como: Determinação da composição granulométrica; Pulverulência - Determinação do material fino que passa pela peneira 0,075 mm, por lavagem; Massa específica do agregado seco - Método do Frasco de Chapman; Determinação da massa unitária no estado solto e Umidade.

Observamos então que, por mais que a matéria prima da cerâmica seja argila com alto teor de umidade, depois de fabricado o tijolo (calcinado) essa umidade é perdida por capilaridade (tabela 01). Levando-se em consideração essa análise, observamos que a granulometria passa a ser arenosa (tabela 02), pois, depois de feito e triturado o tijolo, perdem-se as propriedades (principalmente umidade) dos materiais argilosos. Esse material, por mais que não seja visto a olho nu, tem grande quantidade de material orgânico, que é desfavorável à reutilização de pavimentação em solo-cimento.

**Tabela 01.** Umidade da cerâmica vermelha

Umidade NBR 6457				
Umidade				
Cápsula	Tara	Mat. Úmido + Cáps	Mat. Seco + Cáps	Umidade (%)
1	14,6g	72,7g	71,00 g	3,01
2	14,7g	80,3g	78,30 g	3,14
3	15,3g	57,6g	56,20 g	3,42
Média Umidade				3,2

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

**Tabela 02.** Determinação da composição granulométrica

Determinação da composição granulométrica NBR NM 248 – 2003								
Malha (mm)	Amostra 01		Amostra 02		Média das amostragens			
	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa retida	Massa retida (g)	% Massa retida	% M.ret. acumulada	% Pass. acum.
4,75	0	0	0	0	0	0	0	0
2,36	4,07	0,8%	5,02	1,0%	4,545	0,9%	0,9%	99,1%
1,18	24,04	4,8%	21,3	4,3%	22,67	4,5%	5,4%	94,6%
0,60	74,7	15,0%	72,13	14,5%	73,415	14,7%	20,2%	79,8%
0,30	154,8	31,0%	153,4	30,7%	154,1	30,9%	51,0%	49,0%
0,150	152,8	30,6%	152,4	30,5%	152,6	30,6%	81,6%	18,4%
Fundo	89,2	17,9%	94,9	19,0%	92,05	18,4%	100,0%	0
	499,61		499,15		499,38			

  

Argila + Silte	Areia	Pedregulho
18,40%	80,70%	0,90%

  

Diâmetro máximo característico ( $D_{max}$ )
2,36

  

Módulo de finura (MF)
1,59

Fonte: Elaborada pelos autores.

Depois de obtido o solo arenoso, foram feitas as proporções de adição de cimento, substituindo pelo material cerâmico do traço. Foram colocados 2500g de solo com adição de 8% dessa quantidade de cimento CP II – E quando a substituição de cerâmica foi de 0%, quando a substituição foi de 10% , 25% e 50% estas quantidades foram substituídas pelo cimento.

Os corpos de prova foram feitos (figura 02) com três camadas com 26 golpes em cada uma delas, logo em seguida desformados (figura 03) e colocados em uma câmara de umidade constante durante sete dias para cura dos mesmos.

No decorrer do ensaio foram retiradas as umidades das misturas (figura 04) e os pesos dos corpos de prova, conforme mostram as tabelas 03 e 04. Tentaram-se colocar os corpos de prova com os valores das umidades o mais próximo possível.

**Tabela 03.** Umidade da mistura solo-cimento

Umidade NBR 9775, DNER – ME 52-64					
Umidade (g)					Umidade (%)
Cápsula	Proporção	Tara	Mat. Úmido + Cápsula	Mat. Seco + Cápsula	
1	0%	12,230	48,280	40,100	29,35
2	10%	13,970	61,760	50,550	30,65
3	25%	14,440	75,700	61,780	29,40
4	50%	15,300	58,680	47,910	33,03
<b>Média Umidade</b>					<b>31,0</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

**Figura 02.** Moldagem do corpo de prova



Fonte: Foto do acervo pessoal dos autores.

**Figura 03.** Corpos de prova deformados prontos para colocar na câmara úmida



Fonte: Foto do acervo pessoal dos autores.

**Figura 04.** Cápsulas com solo-cimento para determinação de umidade



Fonte: Foto do acervo pessoal dos autores.

**Tabela 04.** Massa do corpo de prova

Massa do Corpo de Prova				
Massa (g)				
Cilindro	Proporção	Cilindro	Cilindro com Solo	Corpo de Prova
1	0%	4290,0	6200,0	1910,0
2	10%	4290,0	6215,0	1925,0
3	25%	4290,0	6225,0	1935,0
4	50%	4290,0	6230,0	1940,0

**Fonte:** Elaborada pelos autores.

Segundo Metha & Monteiro (1994), em relação às interações físicas da pozolana na pasta de cimento resultantes da relação entre suas partículas e o hidróxido de cálcio (reação pozolânica), dois efeitos podem ser considerados: o refinamento do tamanho dos poros e o refinamento do tamanho do grão. Outro aspecto a ser considerado com relação à reação pozolânica é a forma mais lenta com que a mesma ocorre quando comparada ao cimento, resultando em uma taxa de liberação de calor e desenvolvimento de resistências consequentemente lentas (METHA & MONTEIRO, 1994).

Segundo Farias Filho *et. al.* (2000), a cinética dessa reação dependerá, além das características mineralógicas da pozolana, de sua finura e da temperatura e concentração dos reagentes.

Imediatamente após as desformas dos corpos de prova, os mesmos foram colocados em câmara úmida por sete dias. Após o período de cura especificado, eles foram submetidos a quatro horas de imersão antes de serem rompidos.

Os carregamentos iniciaram-se após a superfície dos corpos de prova (figura 05) se encontrarem parcialmente secas e a prensa adaptada para compressão de aproximadamente 1 mm/min. A carga máxima foi anotada e posteriormente foram feitos os cálculos para obtenção da resistência dos mesmos, conforme tabela 05.

**Figura 05.** Corpos de prova após a cura de sete dias



Fonte: Foto do acervo pessoal dos autores.

**Tabela 05.** Resistência à compressão

Corpos de prova					
Cilindro	Proporção	Altura (mm)	Diâmetro da base (mm)	Carga máxima de ruptura (N)	Tensão de ruptura (Mpa)
1	50%	134,0	100,0	520,0	0,066
2	25%	128,7	100,0	920,0	0,117
3	10%	129,0	100,0	1250,0	0,159
4	0%	129,0	100,0	1570,0	0,200

Fonte: Tabela elaborada pelos autores, de acordo com os resultados dos ensaios.

Observando os resultados, notou-se que todos os valores das tensões de ruptura foram inferiores ao valor esperado de 1MPa, resistência necessária para que se possa utilizar o traço para pavimentação do pátio de compostagem para decomposição de resíduos orgânicos. Para chegar à resistência mínima necessária (1MPa), seria necessário que o material estudado fosse menos inerte e mais resistente.

Os rompimentos ocorreram com uma resistência muito pequena de 0,5MPa e com grandes fissuras, portanto quando empregado em obras rotineiras, como o pátio de compostagem, ela não suportaria o necessário para atender aos requisitos mínimos de resistência e de viabilidade econômica, para justificar o reaproveitamento cerâmico. Seguem figuras dos ensaios de reaproveitamento realizados (figura 06, 07 e 08).

**Figura 06.** Corpos de prova com substituição de material cerâmico por cimento de 0%



Fonte: Foto do acervo pessoal dos autores.

**Figura 07 e 08.** Corpos de prova com substituição de material cerâmico por cimento de 25% e 10% respectivamente



Fonte: Fotos tiradas pelos autores

#### 4 CONCLUSÃO

O estudo foi desenvolvido no decorrer de dez meses, sem imprevistos. Os resultados iniciais se encontravam de acordo com a hipótese inicial. Porém todos os ensaios nos quais foram efetuadas as substituições de resíduos cerâmicos por Cimento Portland não apresentaram as resistências mínimas necessárias para justificar o aproveitamento de resíduos cerâmicos visando à redução da quantidade de Cimento Portland na produção de solo-cimento. Diante dos resultados obtidos após o rompimento de todos os corpos de prova após a cura adequada, todos os traços se mostraram inviáveis, não sendo recomendável o uso desse material na redução da quantidade de Cimento Portland, conforme as hipóteses iniciais do estudo desenvolvido.

Os resultados encontrados foram muito pertinentes, quando foi executado o ensaio de granulometria observamos que depois de calcinado o material triturado deixou de ter uma característica argilosa (18,4%), a qual é sua matéria prima para ser arenosa (80,7%), isso se deve ao fato de suas propriedades originais (umidade, textura) terem mudado depois de passar por todo o processo de fabricação, apesar das suas funções pozolânicas continuarem dentro das análises físicas e químicas primárias. Como os produtos de cerâmica vermelha são fabricados em altas temperaturas, toda umidade é expelida capilarmente. Portanto, quando analisada a umidade de RCD, não se trabalha com variáveis altas e sim com variáveis extremamente estáveis, com oscilações decorrentes da umidade ambiente.

Na segunda etapa foram desenvolvidos os traços do solo-cimento, de acordo com os resultados obtidos na primeira etapa, incluindo ensaios extras para se obterem

as características do solo empregados nos traços, como por exemplo a umidade. O solo escolhido para elaboração do traço foi do tipo arenoso, pois quando analisado o resíduo cerâmico conforme descrito anteriormente o mesmo era do tipo arenoso. Sabe-se que o meio mais fácil de se obter a coesão interna necessária é utilizar nos traços estudados materiais de mesmas características. No caso deste estudo, misturou-se o resíduo de cerâmica (80,7% arenosa) com o solo arenoso obtido nas proximidades da MG 354 KM 177,5.

As substituições das quantidades do cimento Portland pelo RCD nos traços foram de 0%, 10%, 25% e 50%, que foram obtidos com a cerâmica vermelha estudada e o solo coletado.

Desde o princípio, a intenção era de se levar em consideração que esse rejeito poderia ter uma nova destinação muito importante no ponto de vista ambiental. Visto que o solo-cimento tem muitas funcionalidades, por que não aproveitar esse resíduo o descartando como forma de economia na utilização do cimento?

Fica registrada aqui, a sugestão para que outros pesquisadores estudem a utilização deste material para outros fins que não o solo-cimento.

## REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C. *et. al.* Utilização de Pilhas de Homogeneização para Controle de Agregados Miúdos de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados. In: *CONSTRUÇÃO 2001: por uma construção sustentável*, p. 713-720, Lisboa, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 46- Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7215 – Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão*. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9775 - Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman*. Rio de Janeiro, 2011.

BOURDEAU, L.; Sustainable Development and the Future of Construction, a CIB W82 Project. In: *CIB World Building Congress, 1988, Sweden. Anais...* Sweden, 1998. p. 1975-1982.

CARNEIRO, A.P. *et. al.* *Caracterização do entulho de Salvador visando à produção de agregado reciclado*. In: *ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 7. Anais... Salvador: ANTAC, 2000.

CCE/CBIC – Comissão de Economia e Estatística da Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br>>. Acesso em: 14 maio 2012, 19:25:16.

COLLINS, R.J. Reuse and recycling in construction: BRE case studies. In: International Conference Buildings and the Environment, 2, Paris, 1997. *Proceedings*. Paris, 1997. p. 627-634.

COLLINS, R.J. Upgrading the use of recycled material – UK demonstration Project. In: The International Conference on the Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Material. Science 71, Elsevier, 1997. *Proceedings*. p. 185-91.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. DNER – ME 194 – Agregados – determinação da massa específica do agregado miúdo por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM. DNER – ME 152/95 – Agregado em estado solto - determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1995.

EUROPEAN COMMISSION (EC). *Management of construction and demolition waste*. 2000.

FARIAS FILHO, João de; ROLIM, J. S.; TOLEDO FILHO, R. D. Potencialidade da metacaolinita e do tijolo queimado moído como substituto parcial do cimento Portland. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, Pb. V.4 n.3 UFPB, 2000. P. 437-444.

FERRAZ, G.R. et. al. *Estações de classificação e transbordo na cidade de São Paulo*. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4. Anais... São Paulo: IBRACON/IPEN, 2001. p.75-86.

HANSEN, T.C.(Ed.). *Recycling of demolished concrete and masonry*. 2. ed. London: E&FN Spon, 1996.

HENDRIKS, C.F. Masonry. In: HENDRIKS, C.F. *Durable and sustainable construction materials*. Netherlands: Aeneas, 2000. p. 525-535.

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. Tese de D. Sc., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LAURITZEN, E.K. Environmental management in large construction. In: The International Conference On The Environmental And Technical Implications Of Construction With Alternative Material. Science 71, Elsevier, 1997. *Proceedings*. p. 727-35.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: Pini, 1994.

PINTO, T.P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.