

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA COMO AGREGADO MIÚDO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETOS

João Victor Freitas Barros Correia<sup>1</sup>

Yuri Sotero Bomfim Fraga<sup>2</sup>



Engenharia Civil

ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

## RESUMO

A cerâmica é um dos materiais construtivos mais antigos utilizados pelo homem, tendo até hoje vasta aplicação na moderna indústria da construção civil. O acúmulo do desperdício de materiais cerâmicos ao longo da escala produtiva da indústria da cerâmica e na indústria da construção civil, somado ao volume de prédios antigos que tem como principal constituinte da alvenaria, blocos cerâmicos, traz à tona a expressividade dos materiais cerâmicos sobre o total de resíduos de construção e demolição (RCD). Os resíduos cerâmicos são materiais inertes quimicamente e biologicamente, demorando longos períodos para serem decompostos por intemperes. Reinsere esse tipo de resíduo na escala produtiva como matéria prima alternativa de concretos, mais especificamente na forma de agregado, se mostra uma excelente solução para o gerenciamento dos mesmos, trazendo vantagens, como o aumento da vida útil de aterros sanitários. Esse trabalho tem como objetivo analisar através de revisão bibliográfica e normativa, a geração de resíduos de cerâmica vermelha na indústria da construção civil e na indústria cerâmica, e as propriedades dos concretos confeccionados com os agregados reciclados de cerâmica vermelha, onde foi possível observar boas propriedades mecânicas da sua utilização como agregado miúdo.

## PALAVRAS-CHAVE

Cerâmica. Construção Civil. Resíduos.

## ABSTRACT

Ceramics is one of the oldest building materials used, and has so far been widely used in the modern building industry. The accumulation of waste ceramic materials throughout the production scale of the ceramic industry and in the construction industry, coupled with the volume of old buildings whose main constituent of masonry, ceramic blocks, brings out the expressiveness of ceramics on Construction and Demolition (C&D) waste. The ceramic waste materials are chemically and biologically inert, taking long periods to be decomposed by weathering. Reinserting this type of waste in the productive scale as an alternative raw material for concrete, more specifically in the form of aggregate, is an excellent solution for the management of the same, bringing advantages, such as the increase in the useful life of landfills. The objective of this work is to analyze, through bibliographic and normative review, the generation of red ceramic waste in the construction industry and in the ceramics industry, and the properties of the concretes made with recycled aggregates of red ceramics, where it was possible to observe good properties mechanical use as fine aggregate.

## KEYWORDS

Ceramics. Construction. Waste.

## 1 INTRODUÇÃO

A cerâmica vermelha, também conhecida como cerâmica estrutural, é um material não-metálico e um dos materiais construtivos mais antigos utilizado pelo homem. A fabricação da cerâmica consiste em compostos argilosos com predominância em sua formação por alumino-silicatos (alumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e sílica  $\text{SiO}_2$ ), que em contato com água ganham propriedades plásticas e aglutinantes, podendo ser moldados de acordo a sua utilização, então são levados a alto forno, chegando a mais de  $1000^\circ\text{C}$ , onde se inicia a sinterização, um processo de beneficiamento térmico, que aprimora as propriedades mecânica da argila. Tem-se então como produto final do processo de sinterização um material cristalino, coeso, de dureza e rigidez elevada. A qualidade do produto final depende da quantidade de fundentes (álcalis), que são os materiais que durante o processo de sinterização se ligam, melhorando as propriedades da argila.

A indústria de cerâmica vermelha tem como principal matriz energética, alimentando seus fornos a lenha proveniente de desmatamento. Com a conscientização de fabricantes e fiscalizações constantes pelos órgãos governamentais, a substituição da lenha de desmatamento pela biomassa e pela lenha de reflorestamento, tem ganhado representatividade nesse mercado, mas o quadro do Brasil ainda se mostra longe de uma conduta ambiental ideal, devido ao grande número de indústrias de cerâmica que trabalham na ilegalidade.

No Nordeste do Brasil, o grande desmatamento gerado pelas indústrias de cerâmica acelera o processo de desertificação do semiárido, devido ao extrativismo exacerbado.

Na indústria da construção civil, a cerâmica tem vasta aplicação devido a suas propriedades mecânicas como resistência à compressão, isolamento acústico e térmico, permitindo sua aplicação como blocos para construção de alvenaria estrutural e de vedação, telhas para cobertura de telhados, louças sanitárias, isoladores elétricos para alta, baixa tensão e revestimento. A Tabela 1 mostra o consumo per capita de materiais de construção no Brasil.

Tabela 1 – Evolução do consumo de materiais de construção no Brasil

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2013	2014	2015
CIMENTO (kg / hab)	100	160	227	155	177	179	233	215	353	353	321
CERÂMICA VERMELHA (peças / hab)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	131	145	176	n.d.	354	n.d.	260
CERÂMICA REVESTIMENTO (m <sup>2</sup> / hab)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,08	1,64	2,31	3,15	4,2	4,3	4,1
VIDRO (kg / hab)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10,5	11,4	12,8	n.d.	n.d.	8,75*
CAL (kg / hab)	n.d.	n.d.	40	36	33	37	37	39	42,1	39,9	39,0
GESSO (kg / hab)	1,8	2,4	5,0	4,2	5,6	8,5	9,0	9,2	22,1	n.d.	n.d.

Fonte: Ministério de Minas e Energia (2016).

Os materiais cerâmicos são muito desperdiçados na construção devido a perdas durante processos de fabricação, transporte, estocagem e métodos construtivos por falta de qualificação de mão de obra. Isso fica bem visível nas perdas de blocos cerâmicos em canteiros de obra, onde a demolição de alvenaria construída com cerâmica também é grande contribuinte para a expressividade dos materiais cerâmicos sobre o total do RCD. A Figura 1 ilustra os resíduos gerados por blocos cerâmicos.

Figura 1 – Resíduos de blocos cerâmicos durante momento de descarga



Fonte: Arquivo próprio.

A perda de materiais cerâmicos na construção civil é bastante expressiva, porém não é unânime entre alguns autores, como é possível observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação entre pesquisas de campo sobre perda de materiais construtivos convencionais

<b>Materiais</b>	<b>Pinto (1)</b>	<b>Soibelman (2)</b>	<b>FINEP/ITQC (3)</b>
Concreto usinado	1,5%	13%	9%
Aço	26%	19%	11%
Blocos e tijolos	13%	52%	13%
Cimento	33%	83%	56%
Cal	102%	--	36%
Areia	39%	44%	44%

(1) Valores de uma obra (PINTO, 1989)  
 (2) Média de 5 obras (SOIBELMAN, 1993)  
 (3) Mediana de diversos canteiros (SOUZA et al., 1998)

Fonte: Pinto (1999).

Além do grande desperdício verificado nas obras, as cerâmicas são muito propícias à fratura durante o transporte. Ou seja, ainda poderiam ser computadas outras perdas ao longo na escala produtiva, aumentando ainda mais esse valor. Perdas durante transporte podem ser geradas pelo péssimo estado de conservação de estradas ou uso de veículos inadequados para o transporte de materiais cerâmicos. As perdas ocasionadas durante o manuseio se estabelecem muitas vezes pela falta de treinamento e preparo da mão de obra, estocagem mal elaborada, necessidade de retrabalhos devido a problemas em projetos.

Faz-se necessário, tendo em vista a expressividade do resíduo de cerâmica vermelha, gerado devido perdas acumuladas em sua escala produtiva, o estudo de práticas de gerenciamento específicas para esse tipo de resíduo. Para viabilizar a reinserção do mesmo na escala produtiva dentro de parâmetros de qualidade, segurança e eficiência pré-estabelecidos, com o intuito de minimizar os impactos ambientais gerados pelo extrativismo de argila e lenha para fabricação de blocos cerâmicos, a presente pesquisa tem como objetivo analisar as propriedades mecânicas de concretos produzidos com resíduos de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural.

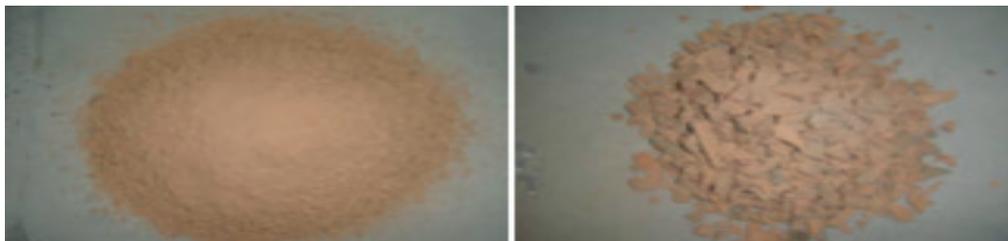
## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Segundo a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 307 (2002), os resíduos de cerâmica advindos de construções, demolição, reformas e reparos em edificações ou ainda dos processos fabris da indústria de cerâmica, contemplando tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento são classificados como Classe A. Esses resíduos têm como opções para seu gerenciamento a reutilização ou reciclagem na forma de agregado, ou ainda direcionamento para aterros de resíduos

da construção civil, sendo dispostos de maneira que seja facilitada uma possível reciclagem futura.

Os agregados reciclados obtidos pelo beneficiamento de resíduos cerâmicos apresentam porosidade elevada, dureza e é inerte quimicamente, características da cerâmica. Apresentam quebra *conchoidal* quando britados, gerando um agregado graúdo de formato achatado, que é indesejado para um agregado, sendo formato ideal o cúbico, além disso, o processo de britagem pode gerar fissuração interna da cerâmica, proporcionando um produto final com suas propriedades mecânicas minoradas, como por exemplo, perdas na resistência a compressão e abrasão. A Figura 2 apresenta o agregado reciclado miúdo e graúdo de cerâmica vermelha.

Figura 2 – Aspecto do agregado reciclado de cerâmica vermelha, miúdo e graúdo, respectivamente da esquerda para a direita obtidos por processo de moagem com impacto



Fonte: Cabral (2007).

Os resíduos de cerâmica vermelha quando advindos da indústria da construção e de demolições podem vir acompanhados de argamassas e tintas, o que gera uma heterogeneidade na composição e propriedades dos agregados obtidos pela reciclagem dos mesmos. Os resíduos de cerâmica vermelha, advindos pelos processos fabris da indústria da cerâmica tendem a apresentar um menor percentual de outras matérias além de cerâmica, ou seja, uma composição mais homogênea, com menor presença de contaminantes.

Em estudos com agregados especificamente de tijolos comuns, Khalaf e Denvny (2004) encontraram massa unitária 31% menor e massa específica 21% menor, quando comparando com agregados convencionais de granito.

Segundo Cabral e outros autores (2007) exclusivamente o agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha age de maneira positiva sobre a resistência à compressão. Isso mostra a viabilidade de sua utilização, se utilizado com as proporções adequadas.

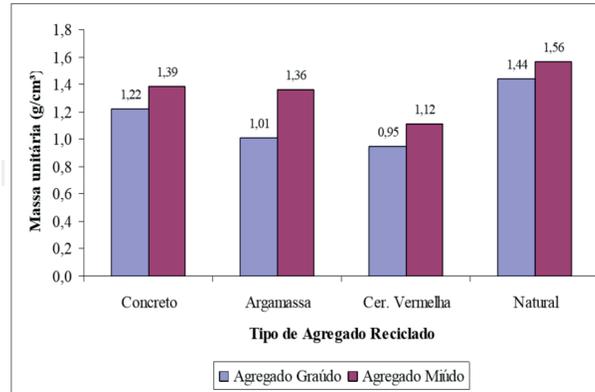
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS DE RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA

A massa específica dos agregados de resíduo de cerâmica vermelha é menor que a dos convencionais, devido a sua porosidade característica e sua partição que se dá de forma *conchoidal*, que reduz o fator de empacotamento do agregado e sua

massa específica e unitária. Dentre os agregados reciclados o agregado cerâmico é o que apresenta o menor valor de massa unitária tanto para o gráudo quanto para o miúdo, como pode ser observado na Figura 4.

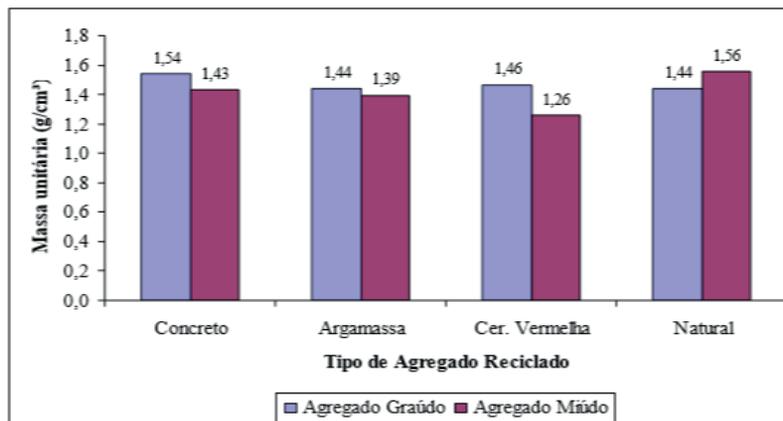
Figura 4 – Massa unitária dos agregados reciclados e naturais



Fonte: Cabral (2007).

Após o processo de parametrização, é possível observar um leve aumento da cerâmica vermelha em comparação com os demais materiais, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Massa unitária dos agregados reciclados e naturais obtidos após parametrização



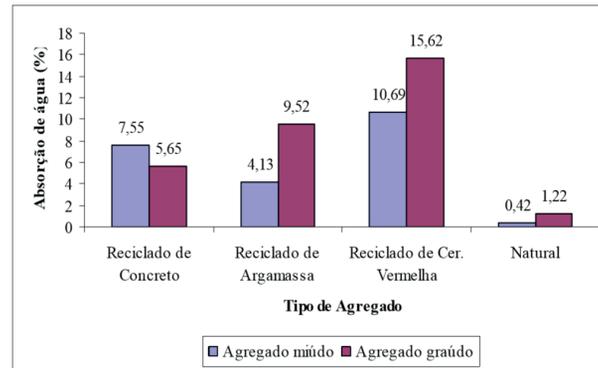
Fonte: Cabral (2007).

Após o processo de parametrização, a massa unitária dos agregados cerâmicos miúdos aumentou, ultrapassando ligeiramente a do agregado natural. Provavelmente, o processo térmico é o responsável por esse leve aumento de massa unitária pós-parametrização.

A característica que mais destaca negativamente os agregados reciclados de cerâmica vermelha em comparação com os outros agregados é a sua capacidade de

absorção de água. Tendo em vista os métodos construtivos, na alvenaria cerâmica se concentram os dois tipos de agregados que mais absorvem água, o de argamassa e de cerâmica, como é possível observar na Figura 6.

Figura 6 – Comparação entre a característica de absorção de água dos agregados naturais e reciclados



Fonte: Cabral (2007).

### 3.2 PROPRIEDADES DOS CONCRETOS CONFECCIONADOS COM AGREGADOS DE RESIDUO DE CERÂMICA VERMELHA

De acordo com o estudo de Reis (2013), os melhores resultados, proporcionalmente, ocorreram nas situações de pré-saturação 80% com relação a/c em 0,55 e 0,65, onde os concretos com agregado reciclado de cerâmica vermelha obtiveram 75% e 78% dos valores de resistência à compressão do concreto referência. E que o quadro que apresentou a pior situação de minoração da resistência foi o quadro onde o agregado foi utilizado com relação a/c 0,65 e pré-saturação de 100%, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Comportamento da resistência a compressão aos 28 e aos 63 dias, em MPa

Mistura	a/c	Idade do ensaio (dias)	
		28	63
REF(AGN)	0,45	37,69	40,74
	0,55	29,96	30,43
	0,65	19,61	22,92
50% RCC 60% SAT	0,45	22,45	24,19
	0,55	19,14	21,05
	0,65	10,74	12,35
50% RCC 80% SAT	0,45	29,5	31,96
	0,55	20,88	22,96
	0,65	10,91	13,03
50% RCC 100% SAT	0,45	18,8	21,22
	0,55	14,81	17,53
	0,65	9,46	10,91

Fonte: Reis (2013).

Onde:

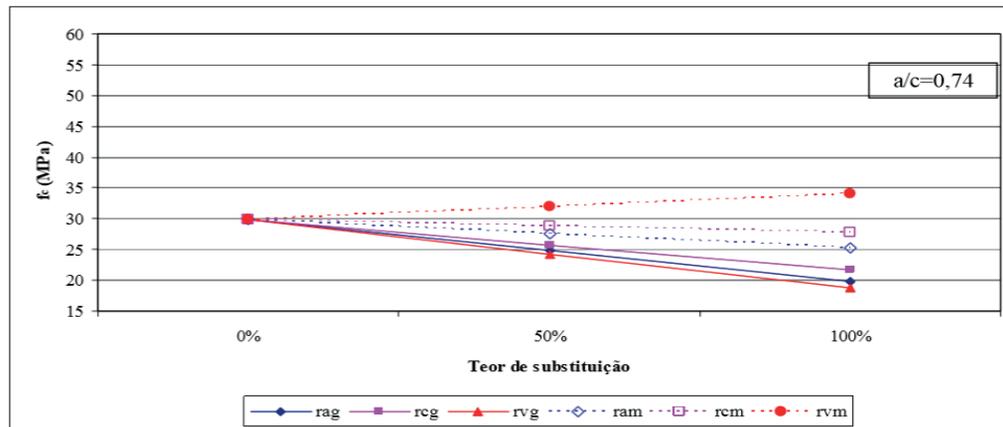
REF (AGN) = Concreto referência com agregados naturais.

SAT = Porcentagem de pré-saturação por molhagem.

RCC = porcentagem de agregado reciclado de resíduos de cerâmica graúdo.

Por meio da Figura 7, é possível observar o comportamento da resistência à compressão em função dos teores de substituição do agregado natural pelos reciclados, podendo-se obter uma comparação mais fácil de visualizar para os teores de 50% e 100% de substituição.

Figura 7 – Resistência à compressão em função dos teores de substituição do agregado natural pelos reciclados



Fonte: Cabral (2007).

Onde:

Rag= agregado graúdo reciclado de argamassa

Rcg = agregado graúdo reciclado de concreto

Rvg = agregado graúdo reciclado de cerâmica vermelha

Ram = agregado miúdo reciclado de argamassa

Rcm = agregado miúdo reciclado de concreto

Rvm = agregado miúdo reciclado de cerâmica vermelha

Foi possível observar que a melhor situação se deu com o agregado miúdo de cerâmica vermelha, pois o agregado graúdo de cerâmica vermelha teve o pior resultado, muito provavelmente devido a seu formato *conchoidal*, que não satisfaz o formato ideal de um agregado.

Apesar do agregado miúdo de cerâmica vermelha apresentar melhoria no desempenho do concreto, ele não pode ser utilizado com função estrutural, pois a NBR 7122 (2009), referente a agregados para concreto, não se aplica a agregados reciclados e artificiais, ou seja, por mais que alguma propriedade desse agregado seja melhor, o mesmo não pode ser utilizado com função estrutural.

Uma propriedade que apresenta os piores resultados na substituição dos agregados convencionais pelos reciclados de resíduos de cerâmica em concretos, é a cabonatação. Ela pode ser descrita como um conjunto de processos físico-químicos danosos ao concreto, onde a umidade e o  $\text{CO}_2$  presentes no ambiente em que o concreto está exposto desencadeiam processos reativos com os álcalis do concreto, "roubando" átomos de cálcio dos compostos gerados na hidratação do cimento. A influência da substituição dos agregados convencionais por agregados reciclados de resíduos de cerâmica no fenômeno acima descrito pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4 – Profundidade de cabonatação pelo tempo de exposição a agentes, mistura e fatores água cimento

Mistura	Fator a/c	Profundidade de carbonatação (mm) x idades (dias)						KCO2 (mm <sup>2</sup> /sem)
		0	3	7	14	21	28	
REF (AGN)	0,45	0	2,68	3,3	4,48	4,50	4,54	2,2663
	0,55	0	2,8	4,89	5,18	5,44	5,48	2,7467
	0,65	0	4,21	5,77	6,18	6,27	6,42	3,0393
60% SAT (AGR)	0,45	0	4,39	4,61	4,91	5,98	6,38	2,8536
	0,55	0	5,06	7,02	7,23	7,84	8,14	3,8299
	0,65	0	5,54	7,70	7,99	8,56	8,92	4,1959
80% SAT (AGR)	0,45	0	2,05	2,20	3,04	4,28	4,78	2,3094
	0,55	0	3,92	5,20	5,49	6,33	6,67	3,1399
	0,65	0	4,76	6,78	6,98	8,52	11,25	5,0096
100% SAT (AGR)	0,45	0	2,93	3,52	3,44	5,83	6,20	2,9239
	0,55	0	4,31	6,09	8,28	8,58	9,35	4,6647
	0,65	0	4,36	6,21	10,87	12,12	16,13	7,8532

Fonte: Reis (2013).

Pode-se perceber, analisando o resultado da Tabela 4, que a pior situação foi semelhante a resistência a compressão, se deu na situação onde a saturação usada foi de 100% e a relação a/c foi de 0,65. Dentro do grau de pré-saturação de 80%, o melhor resultado foi com a relação a/c de 0,45, onde se obteve um valor de penetração 5% maior que o ocorrido no concreto de referência.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resíduos de cerâmica vermelha quando utilizados especificamente como agregado miúdo em concretos, apresentam vantagens técnicas sobre os agregados naturais convencionais, dentro de predeterminação de relação a/c e pré-saturação. Além disso, eles se mostram a solução mais eficiente para o gerenciamento desse resíduo, tendo em vista sua expressividade e os longos períodos para decomposição do mesmo.

Mediante aos resultados apresentados, fica evidenciada a superioridade mecânica do agregado miúdo de cerâmica vermelha sobre o agregado miúdo natural convencional, em condições de pré-saturação 80%, em substituições totais e parciais, se saindo melhor nos valores de a/c de 0,55 e 0,45. Apesar do resultado superior, nas mesmas condições com relação à cabonatação do concreto, o agregado apresentou resultados pouco inferiores, quanto a isso, poderia ser sugerido o uso de cobrimentos maiores para proteção de armaduras em concreto.

Uma dificuldade é a de fazer o controle em campo de pré-saturação, pois utilizar valores inadequados de pré-saturação prejudica tanto a durabilidade quanto as propriedades mecânicas do concreto confeccionado com agregados miúdos de cerâmica vermelha.

## PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Averiguar o desempenho agregado miúdo proveniente de cerâmica vermelha em concretos, estando o agregado em pré-saturação com variação entre 75% e 85%, e com relações a/c, variando entre 0,45 e 0,55 a fim de se obter um intervalo que estabelece o melhor desempenho desse agregado no concreto por meio de ensaios em laboratórios com corpos de prova e pesquisa bibliográficas.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211**: Construção Civil - Agregados para Concreto - Especificações. 2009.

CABRAL, A.E.B. **Modelagem de Propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a viabilidade da composição do RCD**. 2007. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Ambiental Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307**. Brasília-DF, 2002.

KHALAF, F.M.; DEVENNY. A Performance of Brick Aggregate Concrete at High Temperatures. **Journaul of Materials in Civil Engineering**, v.16, n.6, p.556-565, 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico do Setor de Transformação de Não-Metálicos**. Brasília-DF, 2016.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Civil, USP, São Paulo, 1999.

REIS, F.J.L. **Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregados graúdos de cerâmica vermelha, com diferentes taxas de pré-saturação**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

---

**Data do recebimento:** 11 de Dezembro de 2017

**Data da avaliação:** 16 de Dezembro de 2017

**Data de aceite:** 18 de Dezembro de 2017

---

---

1 Graduando em Engenharia Civil, Universidade Tiradentes – UNIT. E-mail: j.vfreitas2016@outlook.com

2 Mestrando em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília – UNB.

E-mail: jurisotero.engcivil@gmail.com

