



Proposta de Incorporação do Resíduo de Casca Cerâmica em Concreto

TEDESCO, M.¹; TUBINO, R.M.C.²

¹ Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, PPGE3M/UFRGS

engmarinatedesco@hotmail.com

² Professora Doutora do PPGE3M, UFRGS (rejane.tubino@ufrgs.br)

Resumo

O Brasil destaca-se como o sétimo produtor mundial de fundidos e um dos grandes desafios é a gestão dos resíduos. Este trabalho tem como objetivo a incorporação do resíduo de casca cerâmica no concreto, visando à preservação ambiental, a reciclagem e a redução no consumo de recursos naturais. Com isso, foram desenvolvidas substituições dos agregados graúdo e miúdo, realizando testes comparativos. Foram dosados corpos de prova pelo método IPT EPUSP e avaliadas a massa específica, a relação a/c e o consumo de cimento. Em estado seco, foram realizados testes de resistência à compressão, absorção de água, o índice de vazios, massa específica e de carbonatação. A absorção de água da casca cerâmica tanto como agregado miúdo quanto como graúdo aumentou a relação a/c conforme o aumento do teor de substituição. Houve redução do consumo de cimento e aumento da resistência à compressão quando comparado com o concreto convencional. O teste de carbonatação apresentou resultados satisfatórios. Por fim, o estudo mostra que o uso de casca cerâmica tem grande potencial, devendo ser avaliado cada caso de substituição em função do produto a ser gerado.

Palavras-chave: Casca cerâmica, concreto, resíduo, agregado reciclado.

Área Temática: Tema 10 – Resíduos Sólidos.

Proposal of Incorporation of the Residue of Ceramic Shell in Concrete

Abstract

Brazil stands out as the seventh global producer of castings and one of the great challenges is waste management. The objective of this work is the incorporation of the residue of ceramic shell in the concrete, aiming at the environmental preservation, the recycling and the reduction in the consumption of natural resources. With this, substitutions of the large and small aggregates were developed, carrying out comparative tests. The specimens were dosed by the IPT EPUSP method and the specific mass, the a/c ratio and the cement consumption were evaluated. In the dry state, tests of compressive strength, water absorption, voids index, specific mass and carbonation were performed. The water absorption of the ceramic peel as both a small and large aggregate increased the a/c ratio as the substitution content increased. There was a reduction in cement consumption and an increase in compressive strength when compared to conventional concrete. The carbonation test presented satisfactory results. Finally, the study shows that the use of ceramic shell has great potential, and should be evaluated each case of substitution depending on the product to be generated.

Key words: Investment casting ceramic residue, concrete, waste, recycled aggregate.

Theme Area: Theme 10 - Solid Waste.



1. Introdução

1.1 O Processo de Microfusão

Entre os processos de fundição para a fabricação de peças, destaca-se o de microfusão ou cera perdida. Este processo inicia com a elaboração do projeto da peça que se quer produzir e a fabricação da matriz, que consiste em um molde bipartido da peça no qual a cera para modelos é injetada (BRUM, 2007). Após a injeção do modelo em cera é formado o cacho durante a fase de montagem, seguindo para o revestimento cerâmico. Na última etapa do processo de microfusão, após a quebra do molde (calcinado) para a retirada da peça metálica fundida, gera-se um resíduo conhecido por casca cerâmica ou casca refratária (MACHADO, 2013).

1.2 A Importância da Destinação de Resíduos para a Indústria

A Política Nacional de Resíduos Sólidos prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos.

O macro setor da construção civil é um dos maiores consumidores de recursos naturais do planeta. As atividades de construção demandam uma notável quantidade de materiais inertes, tais como areia e brita. A extração de material inerte de formações rochosas em áreas acidentadas e montanhosas também é uma danosa atividade ao meio ambiente, uma vez que altera a paisagem e provoca problemas de estabilidade (BIANCHINI et.al, 2005).

2. Metodologia

O resíduo de casca cerâmica utilizado é gerado pelo processo de microfusão na Serra Gaúcha, com uma geração de 110 toneladas mensais. Este resíduo é classificado como não perigoso, Classe IIB, inerte, pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) e atualmente seu destino é o aterro industrial.

Visando cumprir os objetivos específicos propostos, foram dosados concretos a partir do método IPT EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992). Foram realizadas seis dosagens, a primeira sem resíduo (CC), depois com incorporação de resíduo como agregado graúdo e miúdo como seguem: 50% agregado miúdo (50M), 50% agregado miúdo e 25% agregado graúdo (50M25G), 50% agregado miúdo e 50% agregado graúdo (50M50G), 50% agregado miúdo e 75% agregado graúdo (50M75G) e 50% agregado miúdo e 100% agregado graúdo (50M100G).

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Cimento

Utilizou-se cimento CPV ARI da empresa Itambé.

2.1.2 Agregados miúdo e graúdo naturais

O agregado miúdo foi utilizado a areia natural, proveniente do “Rio Guaíba”. Como agregado graúdo a brita com diâmetro máximo característico de 12,5 mm.

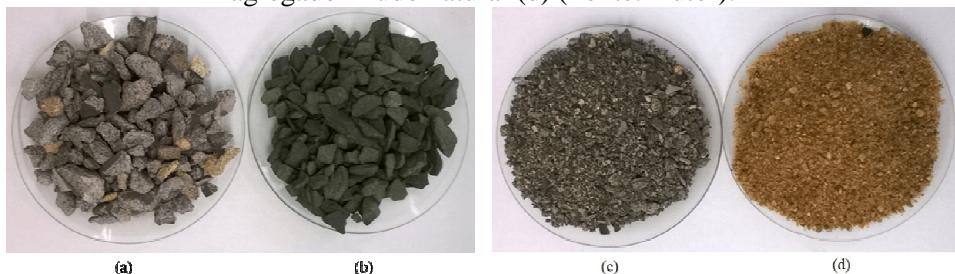


2.1.3 Agregado graúdo e miúdo reciclado

Para utilização em substituição ao agregado graúdo, a casca cerâmica foi levada ao britador de mandíbulas por três vezes. A Figura 1(a) e 1(b) e mostra uma imagem comparativa entre os agregados natural e de casca cerâmica.

Para o agregado miúdo, utilizou-se a fração passante em 4,75 mm e retida em 0,15 mm. O material passante em 4,75 mm no britador de mandíbulas e retida em 0,15 mm resultante do processo de preparação do agregado graúdo foi utilizado e, para o material acima de 12,5 mm, para obtenção do agregado graúdo passou por duas vezes no moinho de rolos. A Figura 1(c) e 1(d) mostra uma imagem comparativa entre os agregados natural e de casca cerâmica.

Figura 1 – Imagem comparativa do resíduo (a) e do agregado graúdo natural (b) e resíduo (c) e agregado miúdo natural (d) (Fonte: Autor).



2.1.5 Dosagem de concreto pelo método IPT/EPUSP

São necessários três pontos para montar o diagrama de dosagem (traço intermediário, traço rico e traço pobre), que correlaciona a resistência à compressão, relação a/c, traço e consumo de cimento. O início do estudo experimental parte da avaliação preliminar de parâmetros para um traço intermediário de 1:5 (cimento: agregados secos totais, em massa) para definição do teor ideal de argamassa e, baseado nisso, confeccionaram-se os outros dois traços.

2.1.6 Resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão seguiram a NBR 5739 (ABNT, 2007), utilizando corpos de prova cilíndricos de 10x20cm, mantidos até a idade de ensaio (7, 14 e 28 dias) em processo de cura úmida.

2.1.7 Absorção de água, índice de vazios e massa específica do concreto em estado seco

O ensaio foi realizado baseado na norma NBR 9778 (ABNT, 2005).

2.1.8 Carbonatação

Para o ensaio de carbonatação foram utilizados corpos de prova (10x20cm) com 60 e 90 dias de idade, por carbonatação natural, e realizado para o traço 1:5 de cada dosagem (CC, 0R, 25R, 50R, 75R e 100R). As amostras foram impermeabilizadas nas suas extremidades com parafina. Os corpos de prova passaram por ruptura, e imediatamente após esta etapa, foram aspergidos com a solução de fenolftaleína, baseando-se na CPC-18 (RILEM, 1988).



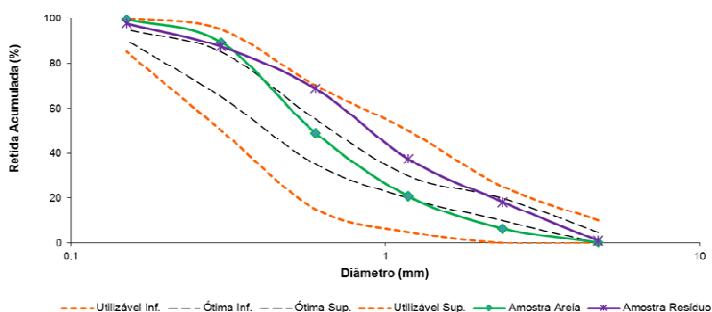
3. Resultados

3.1 Estudo granulométrico dos agregados

3.1.1 Agregado miúdo - Casca cerâmica e areia

As características físicas e a distribuição granulométrica da areia e da casca cerâmica – NM 248 (ABNT, 2003) e NBR 7211 (ABNT, 2009), para a massa específica aparente foi de $2,58 \text{ g/cm}^3$ para ao agregado natural e $2,68 \text{ g/cm}^3$ para o resíduo, já a absorção de água, na mesma ordem, foi de 0,4% e 2,64%, ainda, o módulo de finura teve como resultado 2,68 para a areia e 3,10 para a casca cerâmica. A massa específica do agregado miúdo natural é cerca de 3,7 % menor que a do agregado miúdo reciclado. A distribuição granulométrica está apresentada na Figura 2.

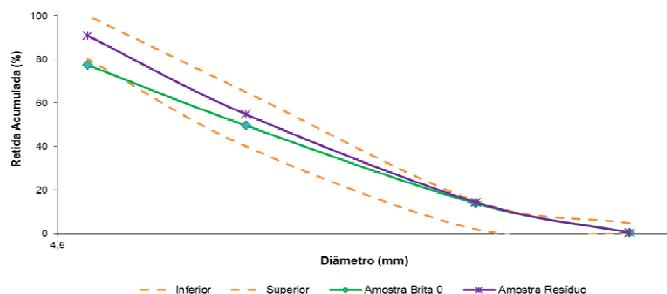
Figura 2 – Distribuição granulométrica comparativa dos agregados miúdos – Areia e Casca cerâmica (Fonte: Autor).



3.1.2 Agregado graúdo - Casca cerâmica e areia

As características físicas e a distribuição granulométrica da Brita e da casca cerâmica – NM 248 (ABNT, 2003) e NBR 7211 (ABNT, 2009) para a massa específica aparente foi de $2,63 \text{ g/cm}^3$ para ao agregado natural e $2,29 \text{ g/cm}^3$ para o resíduo, a massa unitária $1,33 \text{ kg/m}^3$ e $1,26 \text{ kg/m}^3$, já a absorção de água, na mesma ordem, foi de 0,18% e 4,68%, ambos tendo a dimensão máxima característica de 12,5 mm. A massa específica do agregado miúdo natural é cerca de 3,7 % menor que a do agregado miúdo reciclado. A massa específica do agregado miúdo natural é cerca de 12,9% menor que a do agregado miúdo reciclado. A distribuição granulométrica está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição granulométrica comparativa dos agregados graúdos – Brita e Casca cerâmica (Fonte: Autor).





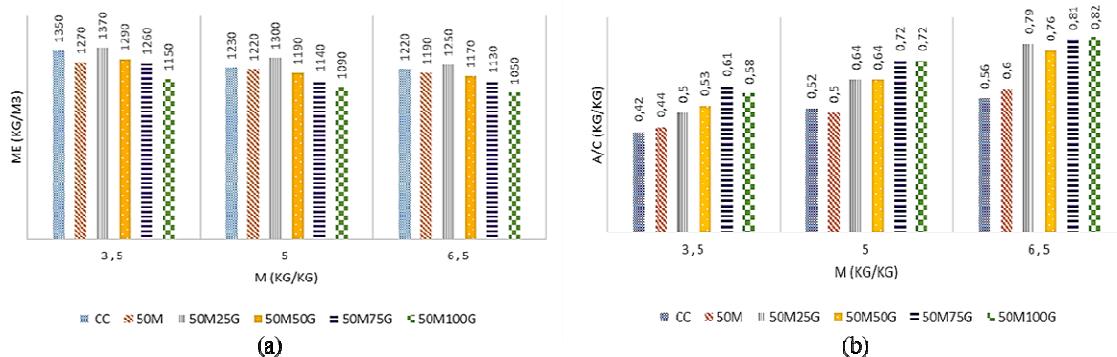
3.2 Concreto produzido pelo método IPT EPUSP de dosagem

O teor de argamassa (α) foi ajustado ao realizar a dosagem do traço 1:5 de cada substituição, conforme descrito no capítulo anterior.

3.2.1 Concreto em estado fresco – Massa específica aparente, relação a/c e consumo de cimento

Ao terminar a dosagem, obtendo o abatimento de tronco de cone desejado (60 ± 10 mm), obtiveram-se os valores para a massa específica (ME) de cada traço (M) de cada dosagem realizada (Figura 4(a)). O CC apresentou a segunda maior massa específica, sendo menor apenas do concreto 50M25G. Outro aspecto importante a ser analisado é a relação água/cimento (a/c) dos concretos produzidos (Figura 4(b)).

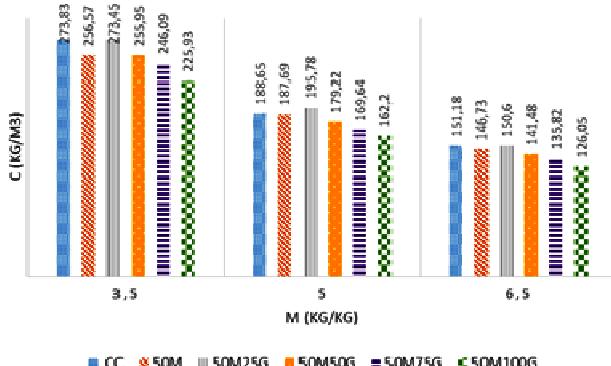
Figura 4 – (a) Massa específica para o concreto em estado fresco e (b) Relação a/c para os diferentes concretos dosados (Fonte: Autor).



Como pode ser observado, o comportamento da relação a/c com a adição do resíduo é maior com o aumento da incorporação da casca cerâmica no concreto.

Com os dados da massa específica e a relação a/c é obtido o consumo de cimento (C) pela Lei de Molinari, para cada um dos casos estudados (Figura 5). O que pode ser verificado é que o consumo de cimento é maior para o traço rico, seguido pelo traço intermediário e depois o traço pobre.

Figura 5 – Consumo de cimento para os diferentes concretos dosados (Fonte: Autor).



O consumo de cimento é reduzido com a incorporação de uma forma geral. Detalhadamente, quando comparada à dosagem CC e a 50M25G, nota-se uma redução de até 17,69 kg/m³ (para um concreto de 25MPA aos 28 dias), o que representa uma minimização de

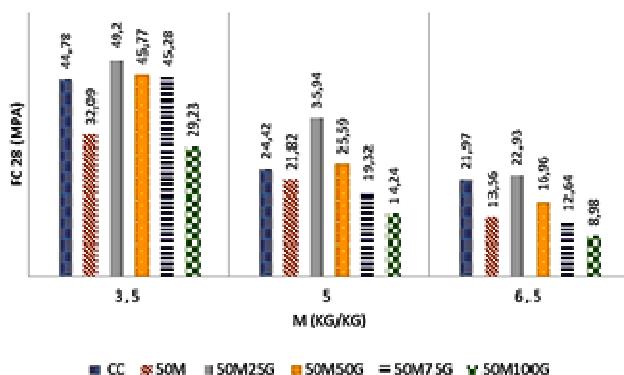


custos e preservação de recursos naturais com a incorporação do resíduo de casca cerâmica no concreto.

3.2.2 Resistência à compressão

Após 7, 14 e 28 dias em processo de cura por imersão, os corpos de prova passaram por testes de compressão axial. Os resultados obtidos para a resistência à compressão aos 28 dias (FC 28) estão demonstrados na Figura 6.

Figura 6 – Resistência à compressão axial aos 28 dias para as dosagens com relação a “m” (Fonte: Autor).



Pode-se notar que a utilização do resíduo somente como agregado miúdo deixou o concreto com menor resistência à compressão. Ainda, para o traço rico, pode-se notar que as adições 50M25G, 50M50G e 50M75G apresentaram maior resistência, inclusive em relação ao traço referência, sem resíduo. Para o traço intermediário, o resíduo continuou demonstrando vantagens quanto a este quesito para as incorporações 50M25G e 50M50G. Finalmente, para o traço pobre em cimento, apenas a dosagem 50M25G apresentou vantagem em seu uso com relação a resistência à compressão. Outra questão importante de salientar é a de que dependendo do produto que se deseja produzir, pode ser feita a escolha pela dosagem que melhor se adequa as características desejadas e estipuladas em norma específica.

3.2.3 Concreto em estado endurecido – Absorção de água, índice de vazios e massa específica real e massa específica da amostra seca

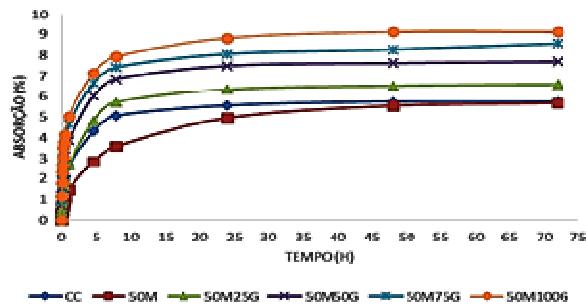
A Figura 7 demonstra os dados da absorção ao longo do tempo para o traço intermediário de cada dosagem. Quanto maior a incorporação de material cerâmico, maior a absorção de água ao concreto, excetuando-se apenas a dosagem 50M que apresentou menor absorção de água ao longo de tempo, estando coerente frente a absorção de água dos resíduos como agregado miúdo (2,64%) e graúdo (4,68%).



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

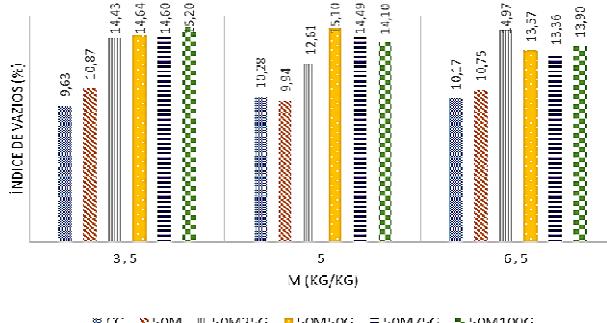
Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Figura 7 – Absorção de água ao longo do tempo para o traço intermediário (1:5) de cada dosagem (Fonte: Autor).



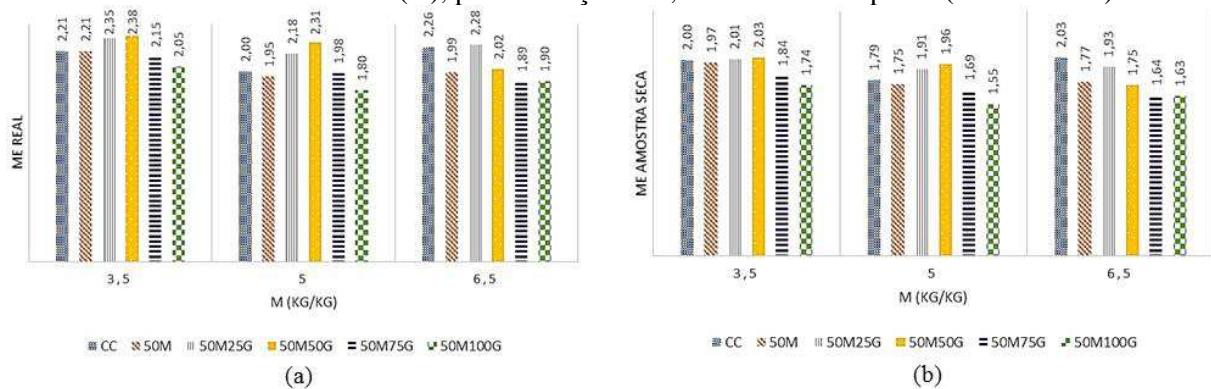
Os agregados reciclados possuem uma absorção de água maior do que um agregado natural (GONÇALVES, 2001). A observação descrita pode ser observada na Figura 8, tendo uma pequena variação no índice de vazios para o traço 1:5 da dosagem 50M, que pode ter sido interferido pelo teor de argamassa ou o melhor empacotamento deste, que foi a única dosagem com α de 43%, sendo de 45% para todos os outros ensaios.

Figura 8 – Índice de vazios comparado à relação agregados secos/cimento em massa (m), para os traços rico, intermediário e pobre (Fonte: Autor).



A massa específica real (ME real) e a massa específica da amostra seca (ME amostra seca) podem ser visualizadas na Figura 9. Através dela pode ser observada a variação entre as dosagens referente aos poros permeáveis e impermeáveis, já que a pr não leva em consideração os poros, ao contrário da ps, sendo que esta sempre será menor.

Figura 9 – Massa específica real e massa específica da amostra seca versus relação agregados secos/cimento em massa (m), para os traços rico, intermediário e pobre (Fonte: Autor).



3.2.4 Concreto em estado endurecido – Carbonatação



6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 10 a 12 de Abril de 2018

Foi realizado o ensaio de carbonatação aos 60 e aos 90 dias de idade para efeito comparativo. Na Tabela 1 estão demonstrados os dados obtidos.

Tabela 1 – Carbonatação dos traços 1:5 aos 60 e 90 dias de idade (Fonte: Autor).

Dosagem	Espessura (mm) aos 60 dias	Espessura (mm) aos 90 dias
CC	1,13	1,20
50M	0,76	0,90
50M25G	1,13	1,15
50M50G	0,77	0,90
50M75G	1,16	1,25
50M100G	1,50	1,70

A espessura carbonatada de todos os corpos de prova analisados aumentou com a idade. Ainda, as dosagens 50M, 50M25G e 50M50G apresentaram valores menores do que o concreto convencional, o que demonstra uma maior camada passivante ao aço nestas substituições, ou seja, maior proteção contra a corrosão.

4. Conclusão

Frente a todos os parâmetros analisados, deve ser avaliado cada caso de substituição em função do produto a ser gerado com o concreto reciclado, verificando os ensaios e resultados específicos individualmente, conforme sua norma de referência, pois para cada produto pode ser utilizado uma substituição diferente. Cabe salientar que quanto maior a adição do resíduo, maior a reciclagem, menor o impacto ambiental provocado pela indústria geradora da casca cerâmica e pela indústria fabricante do concreto (com a extração de recursos naturais não renováveis), maior a vida útil de aterros industriais (já que o resíduo não terá esse fim), menor o custo para ambas as empresas, e tudo isso ainda, corrobora com a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

5. Referências

- BIANCHINI, G. et al. Waste Management. 2005.
- BRUM, F.J.B. Deceragem por Microondas no Processo de Fundição de Precisão (Microfusão). Dissertação pelo PPGE3M, UFRGS, Brasil, 2007.
- HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: PINI; Brasília, DF: SENAI, 1992.
- HORTON, A. H. Investment casting. In Annual Handbook: casting. Metal Park, 1998.
- MACHADO, I. M. L. Avaliação microestrutural de cascas cerâmicas utilizadas na produção de moldes para o processo de fundição por cera perdida. Dissertação apresentada ao PPGE3M da UFMG, 2005.
- MACHADO, C. F. Reutilização da Casca cerâmica do Processo de Fundição por Cera Perdida, como Adição em Matrizes Cimentícias. Dissertação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- RILEM CPC 18. Measurement of hardened concrete carbonation depth. Materials and Structures, v. 21, n. 126, p. 453-455, 1988.