



CONTRIBUIÇÃO TÉCNICA PARA AVALIAR A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO SÓLIDO CASCA CERÂMICA DE MICROFUSÃO COMO AGREGADO GRAÚDO PARA CONCRETO¹

Gustavo Mercali²

Josiane Anderle Scotton³

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho⁴

Rejane Maria Candiota Tubino⁵

Resumo

Este trabalho tem por objetivo avaliar a potencialidade de utilização do resíduo sólido casca cerâmica, oriundo do processo de fundição pelo método de microfusão, através da substituição do agregado graúdo natural em concretos para aplicação na indústria da construção civil. Para atingir este objetivo foram realizados ensaios de laboratório com a confecção de corpos-de-prova cilíndricos em concreto e após 28 e 91 dias de cura, foram submetidos a ensaios de resistência à compressão, absorção e profundidade de carbonatação. O objetivo foi o de verificar a resistência e a durabilidade do concreto com o agregado resíduo sólido casca cerâmica quando comparado com o concreto convencional (testemunho). Foram estipulados cinco traços de substituição com o material cerâmico, em relação à brita, nos percentuais de: 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão apresentaram um acréscimo em resistência para todos os traços de substituição. Quanto à absorção, a substituição do agregado natural pelo resíduo sólido casca cerâmica não apresentou influência significativa no concreto, influenciado apenas pela relação água/cimento. O teste de profundidade de carbonatação não obteve resultados significativos pela pouca idade do concreto.

Palavras-chave: Fundição; Resíduo sólido casca cerâmica; Microfusão; Concreto.

TECHNICAL CONTRIBUTION TO EVALUATE THE USE OF THE INVESTMENT CASTING CERAMIC RESIDUE AS COARSE AGGREGATE FOR CONCRETE

Abstract

This work aims to evaluate the potentiality of use of the ceramic material rejected in the foundry process of investment casting, through natural aggregate substitution in concrete for the construction industry. To get this objective, laboratory tests were accomplished with cylindrical concrete test specimen and after 28 and 91 days of cure they were submitted to compressive strength, absorption and carbonation depth. The objective was to verify the resistance and the durability of the recycled aggregate when compared with the conventional concrete, called standard specimen. Five substitution mix were tested, in mass, with the ceramic material, in relation to natural aggregate, in the percentages of: 0%, 25%, 50%, 75% and 100%. The results of the compressive strength presented an increment in resistance for all substitution mix. In relation of absorption, the substitution of natural aggregate to the ceramic material did not show significant influence in concrete, which was influenced only by the water/cement ratio. The carbonation depth did not show satisfactory results due to the concrete is not old enough for this test.

Key words: Foundry; Ceramic residue; Investment casting; Concrete.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS.

³ Bolsista PIBIC, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS.

⁴ Professor do DECIV e PPGEC, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS.

⁵ Professora do DEMET e PPGEM, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, RS. rejane.tubino@ufrgs.br

1 INTRODUÇÃO

Historicamente o setor das indústrias de fundição gera uma grande quantidade de resíduos sólidos, muitos considerados por entidades reguladoras como perigosos, e saber dispor esses resíduos de forma racional é o grande desafio dessas empresas. Existe a preocupação com o meio ambiente, seja pela aplicação de regras e punições por órgãos ambientais, seja pela conscientização ou pela exigência do mercado consumidor, aliado ao fator econômico do resíduo, que gera custos com sua correta segregação em aterros controlados e que, muitas vezes, tem sua potencialidade de aproveitamento desperdiçada.

Uma boa e eficaz alternativa para esses entraves tem sido a adoção de planos de trabalhos diferenciados que diminuem esse impacto.

Conforme cita Geyer,⁽¹⁾ a Construção Civil é, dentre os setores industriais, um dos mais apropriados para o aproveitamento de resíduos. Isto se deve a uma série de fatores, tais como o elevado número de insumos consumidos e o déficit habitacional associado aos altos custos dos insumos básicos para o desenvolvimento de projetos habitacionais. Isto torna indispensável o desenvolvimento de materiais e/ou tecnologias alternativas.

Alguns autores⁽²⁻⁵⁾ já demonstraram o potencial de aproveitamento de resíduos oriundos de processos da indústria de fundição, quando aplicados em materiais de construção civil e em outros setores.

Este trabalho tem por objetivo demonstrar a viabilidade de utilização dos resíduos da casca cerâmica, provenientes do processo de fundição por microfusão, como agregado graúdo, em substituição ao agregado natural em concretos convencionais, para a indústria da construção civil, por meio de testes de compressão e absorção em corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Para avaliar a durabilidade destes concretos foi realizado ensaio de profundidade de carbonatação com solução de fenoftaleína.

1.1 O Processo de Microfusão

O processo de microfusão implica na produção de fundidos de engenharia usando um modelo consumível. Conforme descrevem Jones e Yuan,⁽⁶⁾ seus princípios podem ser reportados há 5000 aC quando o homem primitivo usava o método para produção de ferramentas rudimentares. Este método foi seguido por centenas de anos na produção de jóias e produtos de arte. Antes da 2ª Guerra Mundial foi utilizado no desenvolvimento de componentes de engenharia para indústria aeronáutica. Atualmente as peças microfundidas são utilizadas em praticamente todos os ramos da engenharia.

O processo também é chamado como o processo de cera perdida e fundição de precisão. Como cita Olefines⁽⁷⁾ o termo precisão se refere à alta precisão de dimensões e tolerâncias apuradas e também à máxima liberdade de desenhos e de detalhes em uma ampla variedade de metais e ligas, que nenhuma outra técnica de fundição possibilita. Microfusão também rende superfícies com alta integridade, mais lisas e seus produtos requerem pouco ou nenhum processo de transformação posterior, dependendo da aplicação.

De forma básica, este processo produtivo complexo pode ser dividido em seis etapas: injeção dos modelos em cera; montagem da árvore ou cacho em cera; fabricação do molde cerâmico tipo casca; deceragem e calcinação; fusão e vazamento; limpeza das peças.

Conforme descrito por Barcelos,⁽⁸⁾ molde é o nome dado à camada que envolve os modelos de cera no processo de microfusão. Esta camada é resultante da sobreposição de várias camadas de lama líquida e estuco, composta por um material refratário, que apresenta propriedades físicas bem definidas. A lama deve ter uma boa aderência na superfície dos modelos a fim de copiar todas as suas particularidades para depois reproduzi-las na peça final.

A composição típica de uma lama refratária é: materiais refratários, um ligante e agentes tensoativos. O estuco é o material granulado seco aplicado sobre a lama.

1.1.1 Refratários e Estucos

Os refratários mais comuns para moldes cerâmicos citados no Metals Handbook,⁽⁹⁾ são os silicatos, por exemplo, sílica pura, zirconita e vários alumino-silicatos compostos de mulita e (normalmente) sílica livre. As combinações destes três tipos são usadas na maioria das aplicações. Sílica, zirconita, alumino-silicatos e alumina têm sua aplicação para lamas refratárias e estucos.

1.1.2 Ligante

Os ligantes comumente usados também são silicatos e incluem sílica coloidal, silicato de etila hidrolisado e silicato de sódio. Ligantes híbridos vêm sendo desenvolvidos e ligantes de zircônia e alumina são usados em alguns processos, como descritos pelo Metals Handbook.⁽⁹⁾

1.1.3 Agentes Tensoativos

Os agentes tensoativos são usados para diminuir a tensão superficial entre a cera e a lama. São basicamente compostos de uma cadeia de hidrocarbonetos.

Segundo dados da Abifa,⁽¹⁰⁾ existem atualmente no Brasil 32 empresas que utilizam o processo de microfusão, com capacidade produtiva instalada de 2.085 t/mês. Com base na relação de 0,35 kg de casca gerada/kg de metal processado, em plena atividade produtiva, estima-se que uma quantidade de 10.000 t/ano de resíduos cerâmicos seja gerada.

Os resíduos gerados provem principalmente, da remoção do molde cerâmico, na etapa de limpeza das peças, e são de natureza sólida.

Conforme a NBR 10004,⁽¹¹⁾ esses resíduos são classificados como:

Resíduo não-inerte, classe II A, indicando potenciais riscos ao meio ambiente e a saúde pública, apontando que o resíduo deve ter manuseio e destinação rigorosamente controlada.

Apesar de ser potencialmente receptora de materiais como agregados diversos, não se encontrou estudos de reciclagem ou aproveitamento do resíduo sólido casca cerâmica de microfusão na indústria da construção civil. Estes são encaminhados em sua maioria para aterros adequados.



1.2 Reciclagem e Aproveitamento de Resíduos

Uma das mais urgentes questões ambientais é a reciclagem de resíduos provenientes das atividades industriais ou de sua transformação em um produto estabilizado, que seja seguramente disposto no meio ambiente.

Atualmente muitos casos de aproveitamento têm demonstrado bons resultados, do ponto de vista do meio ambiente, por proporcionar que resíduos perigosos sejam incorporados sem gerar danos, ou evitar que o problema apenas seja transferido de local, pelo lado econômico, que subprodutos corretamente processados podem ser alternativas de renda, e também o fator tecnológico, na qual subprodutos podem melhorar as características ou qualidades finais dos produtos.

Por ser um material largamente produzido, o concreto é sempre uma alternativa econômica e potencialmente viável para receber materiais, e proporcionar a reciclagem de resíduos de diversos setores. Além do que pesquisas apontam a incorporação segura de vários resíduos perigosos de maneira eficaz no concreto.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Com o objetivo de apontar a viabilidade técnica da utilização do resíduo, foram executados os seguintes ensaios de viabilização:

- determinação de resistência à compressão, este ensaio foi escolhido por ser um ensaio referência para o estudo de concreto dentro da construção civil;
- determinação de absorção, este ensaio avalia a relação da porosidade com a quantidade de água absorvida; e
- profundidade de carbonatação, este é um ensaio que indiretamente avalia a durabilidade em relação à porosidade capilar do concreto gerado.

2.1 Materiais Utilizados

2.1.1 Cimento

Para os ensaios foi utilizado o cimento comercial CP IV – 32 RS (Cimento Portland resistente a sulfatos).

Este cimento é usado para construção de grandes obras como barragens, portos, em construções sujeitas a atmosferas marinhas e quimicamente agressivas. De acordo com a NBR 5736,⁽¹²⁾ possui teor de pozolana de 15% a 50% em massa, sendo adequado ao uso com agregados reativos por proporcionar a estabilidade destes. Segundo a NBR 7215,⁽¹³⁾ possui resistência à compressão, com a idade de 28 dias em torno de 32 MPa.

2.1.2 Os agregados

- **agregado miúdo:** utilizado para as concretagens foi uma areia natural com módulo de finura igual a 2,69 e massa específica aparente de 2,657g/cm³. Na Figura 1 é apresentada a curva granulométrica da areia utilizada.

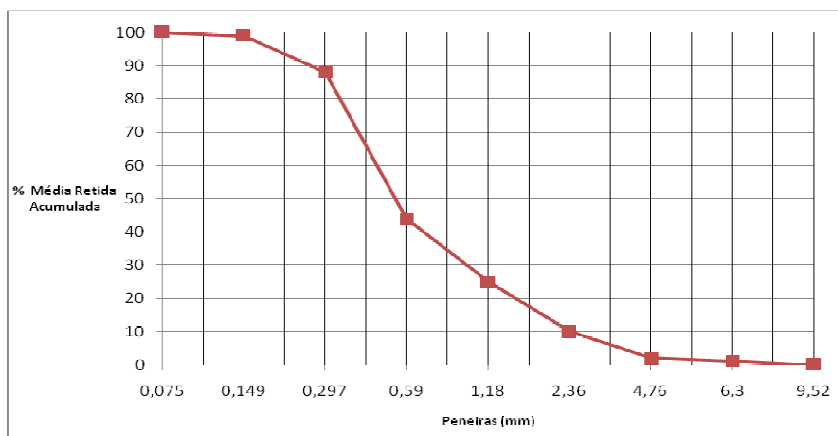


Figura 1. Curva granulométrica da areia natural utilizada no trabalho.

- agregado graúdo:** o utilizado foi a brita de origem basáltica, denominada brita 1, com dimensão máxima característica de 19mm, com módulo de finura de 6,84 e massa específica aparente de 2,955 g/cm³. A análise granulométrica da brita está demonstrada na Figura 2.

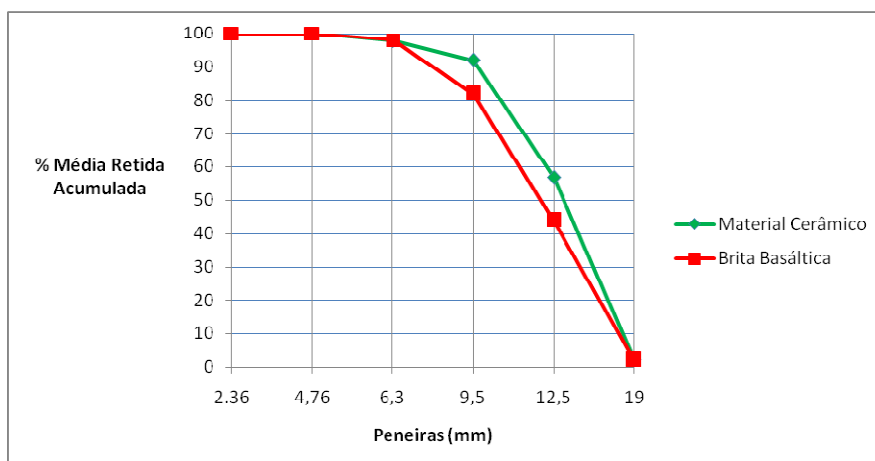


Figura 2 Curva granulométrica do material resíduo cerâmico e da brita utilizados no trabalho.

2.1.3 Resíduo sólido casca cerâmica

A matéria cerâmica utilizada nestes ensaios é proveniente de uma empresa de fundição por microfusão do Estado do Rio Grande do Sul, situada na região da serra.

Foram coletadas amostras de um mesmo lote, utilizadas durante o processo produtivo, no vazamento de aço inoxidável, e posteriormente foram adequadamente britadas.

Na Figura 2 é apresentada a curva granulométrica da casca cerâmica após britagem em comparação com a brita utilizada, ensaios realizados conforme norma NBR NM 248.⁽¹⁴⁾

O diâmetro máximo apresentado pelo material cerâmico foi de 19 mm, módulo de finura 6,94 e massa específica aparente de 2,34 g/cm³.

A casca cerâmica quando rejeitada do processo produtivo, apresenta um formato diversificado, sua característica após britagem e peneiramento pode ser comparada com a brita como visto na Figura 3.



Figura 3. Comparação entre o material cerâmico e a brita utilizada no trabalho.

2.1.4 Água

A água utilizada foi a do sistema de saneamento local da cidade de Porto Alegre.

2.1.5 Concreto

O concreto confeccionado com os materiais citados tem as seguintes características: Traço: 1:2:3 (cimento:areia:brita) - traço caracterizado com percentuais em massa. A adição de casca cerâmica é definida nas proporções descritas na Tabela 1.

Este traço foi escolhido por ser um concreto previamente dosado em laboratório para resistências convencionais (em torno de 32 MPa), com uma relação água/aglomerante usualmente aplicada em obra.

Inicialmente procurou-se moldar todos os traços com relação a/c de 0,5, como mostra a Tabela 1, mas devido ao resíduo sólido casca cerâmica absorver em média 8% a mais de água em relação ao agregado natural, alguns ajustes foram necessários. Por isso o critério de controle dos traços foi o *slump*, fixado em 100 ± 10 mm. Para se ter um comparativo direto entre o traço testemunho (com 100% de brita natural) e o com 100% de resíduo sólido casca cerâmica, foi também moldado um traço com relação a/c de 0,5 utilizando-se um aditivo plastificante.

Tabela 1 - Relação água/cimento utilizada nas concretagens

0% cerâmico (Testemunho)	25% cerâmico	50% cerâmico	75% cerâmico	100% cerâmico	100% cerâmico com aditivo *
a/c: 0,50	a/c: 0,54	a/c: 0,57	a/c: 0,63	a/c: 0,67	a/c: 0,50

*utilização de 0,8% de aditivo Tec Flow 7000.

2.2 Métodos de Ensaio

Um resumo da metodologia descrita para a realização dos ensaios encontra-se no esquema da Figura 4.

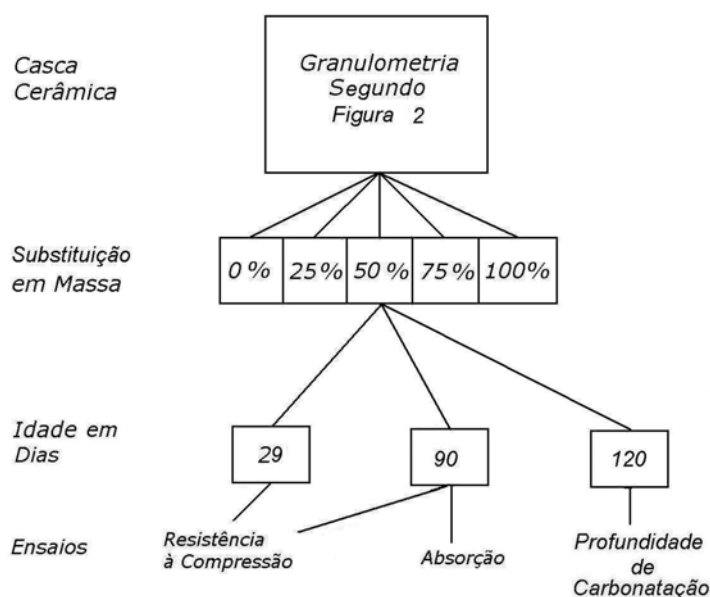


Figura 4. Esquema mostrando a relação dos ensaios realizados no trabalho.

2.2.1 Resistência à compressão

Este ensaio foi realizado segundo a norma NBR 7215.⁽¹³⁾

Foram confeccionados corpos-de-prova cilíndricos com dimensões 100x200 mm, em número de doze para cada adição e para cada idade. Cada corpo-de-prova foi submetido a uma prensa hidráulica de carga contínua até a ruptura do mesmo, nas idades de 29 dias e de 90 dias. O resultado final foi a média dos valores, em MPa.

2.2.2 Determinação de absorção

Este ensaio visa avaliar a relação entre porosidade e absorção de água relacionada com a durabilidade do concreto.

Ensaio realizado conforme a NBR 9778.⁽¹⁵⁾ Os corpos-de-prova foram colocados em forno para secagem à temperatura de 110°C até a constância de massa, após retirados, pesados e imersos em água pura e deixados por 24 horas. A seguir são removidos e o excesso de água enxugado, e realiza-se nova pesagem. O resultado será a média dos resultados da pesagem dos corpos-de-prova secos e encharcados.

2.2.3 Profundidade de carbonatação

Apesar de não ser padronizado no Brasil, este teste é largamente utilizado para auxiliar na avaliação de durabilidade do concreto.

A medida de profundidade de carbonatação dos corpos-de-prova foi realizada quando eles estavam com 120 dias de idade. O procedimento de execução deste ensaio seguiu as recomendações do RILEM CPC-18⁽¹⁶⁾ e consiste em borrifar solução de fenoltaleína na superfície do concreto previamente quebrado para este fim. É feita então a medição da profundidade de carbonatação a partir da superfície do concreto. A superfície encontra-se carbonatada na região onde o indicador químico não atuou (permaneceu incolor).

3 RESULTADOS

3.1 Resistência à Compressão

Os ensaios de compressão foram realizados com 29 dias e com 90 dias de idade no Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em prensa hidráulica de carregamento contínuo. Na Figura 5 é apresentada a característica de fratura do corpo-de-prova cilíndrico.



Figura 5. Resultados do ensaio de ruptura.

Em nível macroscópico o concreto pode ser considerado como um material bifásico, formado por partículas de agregado dispersas em uma matriz de cimento. O agregado gráudo brita basáltica apresenta maior resistência física quando comparada à matriz cimentícia de concretos produzidos com cimento CP IV. Na Figura 6 pode-se observar a macroestrutura do corpo-de-prova rompido, com 50% de substituição de brita pelo resíduo sólido casca cerâmica, onde a ruptura acontece no contorno da brita, e no corpo do agregado cerâmico, demonstrando que este possui menor resistência comparada à brita e que a matriz cimentícia envolve completamente o agregado.

Na Figura 7 se observa a macroestrutura do concreto com 100% de substituição, após a ruptura, uma característica notável é a completa interação do resíduo sólido casca cerâmica de microfusão com a matriz cimentícia do concreto, fato este que se deve à porosidade do material cerâmico e sua rugosidade superficial. A ruptura notadamente ocorre no próprio material cerâmico, fato que indica a completa ligação do cimento em seus poros.



Figura 6. Macroestrutura do concreto rompido aos 29 dias. Traço de substituição de 50% de resíduo sólido casca cerâmica.



Figura 7. Macroestrutura do concreto rompido aos 29 dias. Traço de substituição de 100% de resíduo sólido casca cerâmica.

A Figura 8 apresenta os valores obtidos na ruptura dos corpos-de-prova aos 29 dias e aos 90 dias de idade. Todos os percentuais de substituição de resíduo sólido casca cerâmica apresentaram um acréscimo em resistência à compressão com relação ao testemunho (0%) nas idades ensaiadas. O traço testemunho apresentou uma resistência à compressão média de 30,6 MPa aos 29 dias e de 41,62 MPa aos 90 dias.

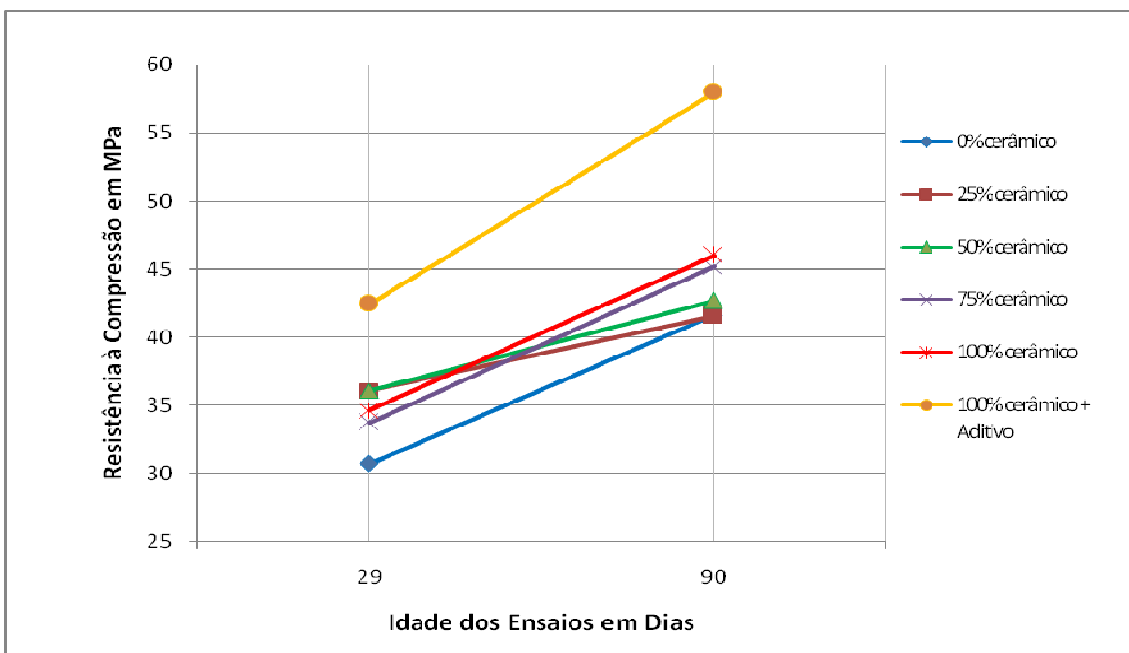


Figura 8. Relação de resistência à compressão com os respectivos traços de adição.

Além disso, confirmando os resultados de absorção e profundidade de carbonatação, a maior influência na resistência foi devido à relação a/c do que a percentagem de substituição.

Em se mantendo a mesma relação a/c de 0,5 (0% e 100%A), numa comparação direta do agregado convencional e o 100% resíduo sólido casca cerâmica (com aditivo plastificante) proporcionou a este concreto um incremento na sua resistência de, em média 38%, tanto aos 29 quanto aos 90 dias. Mesmo assim, sem o aditivo, com uma relação a/c de 0,67, 100% de resíduo sólido casca cerâmica proporcionou um aumento da resistência à compressão na ordem de 11% dos 29 aos 90 dias de idade.

3.2 Determinação de Absorção

O resultado do ensaio de absorção é apresentado na Figura 9. Indica que o aumento da relação a/c é acompanhado de um aumento no teor de absorção de água, tanto para o ensaio realizado à temperatura de 23°C, quanto à temperatura de 100°C. Fato que se comprovou na comparação direta da utilização de 100% de brita (0) e com 100% de agregado reciclado (100A), uma vez que ambos têm a mesma relação a/c. Assim, a substituição do agregado natural pelo resíduo sólido casca cerâmica não apresentou influência significativa, influenciado principalmente pela quantidade de água adicionada ao concreto.

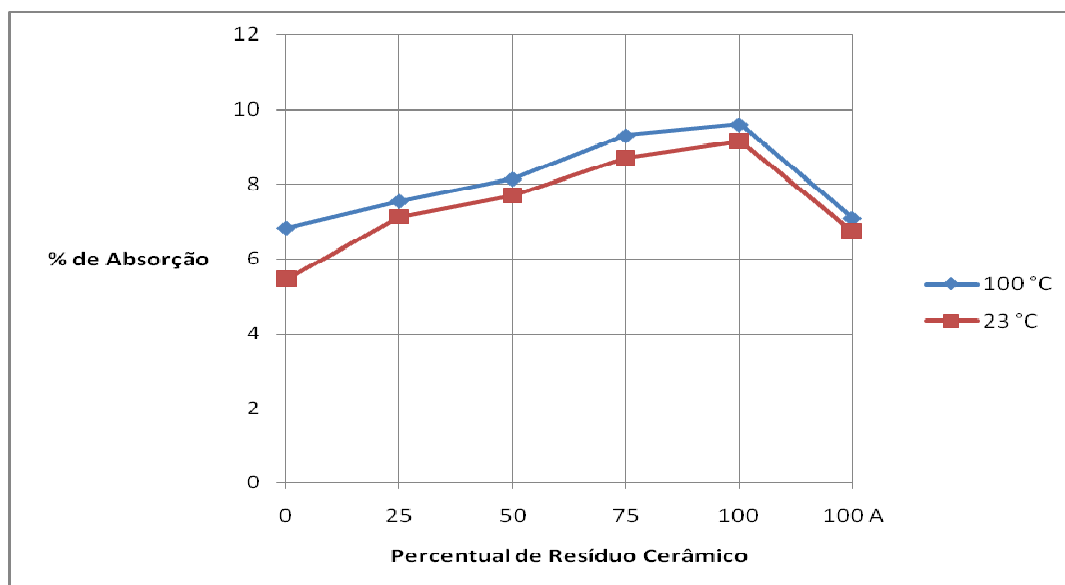


Figura 9. Valores do teste de absorção de água.

3.3 Profundidade de Carbonatação

O resultado deste ensaio não apresentou diferenças significativas devido ao pouco tempo decorrido desde a produção dos corpos-de-prova (120 dias). Este ensaio tem valor quando avaliado em concretos com idades relativamente longas.

Observando-se o aumento da relação a/c, à medida que se aumentou a porcentagem de substituição do agregado natural pelo resíduo sólido casca cerâmica, nota-se um pequeno aumento da carbonatação à medida que se aumenta a quantidade de poros no concreto. Mesmo assim, não ultrapassando a profundidade de 2mm para todos os casos. Numa comparação direta, para a mesma relação a/c de 0,50, o concreto com 100% de agregado de resíduo sólido casca cerâmica mostrou-se mais eficiente que o com a brita natural, não esquecendo que o com agregado de resíduo sólido casca cerâmica necessitou de um aditivo plastificante para se ter trabalhabilidade no momento da moldagem. De qualquer forma, mais estudos, com maior tempo de exposição, devem ser realizados para que estes resultados sejam comprovados.

4 CONCLUSÃO

Os ensaios de resistência demonstram a viabilidade de utilização deste resíduo sólido casca cerâmica como agregado para concreto. Este ensaio é tomado como referência pela sua relativa facilidade de realização quando comparado com outros



ensaios. A comparação com o testemunho aponta aumento de resistência à compressão do concreto em todos os níveis de substituição do agregado graúdo brita basáltica pelo resíduo sólido casca cerâmica.

Seu potencial é confirmado principalmente quando analisado o concreto testemunho com aquele de 100% de substituição com aditivo plastificante, onde é mantida a mesma relação a/c, e neste caso a resistência do concreto aumenta significativamente (cerca de 38%) a favor do traço de 100% de substituição.

Quanto à absorção, a substituição do agregado natural pelo resíduo sólido casca cerâmica não apresentou influência significativa no concreto, influenciado apenas pela relação a/c.

O teste de profundidade de carbonatação não obteve resultados satisfatórios pela pouca idade do concreto. De qualquer forma, observou-se a tendência de que o agregado de resíduo apresentou uma menor profundidade de carbonatação quando comparado ao agregado natural, apontando a viabilidade de uso deste.

Mesmo demonstrada a possibilidade de utilização na indústria da construção civil, os ensaios são preliminares e a aplicação do resíduo sólido casca cerâmica de processo de fundição por microfusão em escala industrial deve ser avaliada com mais profundidade e realizados novos ensaios para que se possa determinar o traço ideal, bem como a granulometria mais favorável à utilização deste resíduo. A viabilidade econômica ainda deve ser considerada posteriormente, a fim de agregar valor ao resíduo.

Portanto, a proposta inicial do trabalho, contribuição técnica para avaliar a utilização do resíduo sólido casca cerâmica de microfusão como agregado graúdo em concretos, é bem sucedida e passível de aplicação prática, sendo o material de características nobres e atraentes.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Estudos Ambientais para Metalurgia (LEA_{MET}) e ao Laboratório de Ensaio e Modelos Estruturais (LEME) da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo apoio, ajuda teórica e prática na realização dos ensaios.

A empresa Sulmaq Industrial e Comercial S.A pelo fornecimento do material cerâmico para o estudo.

REFERÊNCIAS

- 1 TUBINO GEYER, REJANE MARIA. **Estudo sobre a Potencialidade de Uso das Escórias de Aciaria como Adição ao Concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia) PPGEM: UFRGS, 2001.
- 2 BILOLO, SIMONE MARÍNDIA. **Reúso do resíduo de fundição areia verde na produção de blocos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) PPGEM: UFRGS, 2005.
- 3 MOURA, WASHINGTON ALMEIDA. **Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia) PPGEM: UFRGS, 2000.
- 4 CECCATTO, DIANA MARIA. **Avaliação da utilização de escória granulada de fundição (EGF) como substituição de parte do cimento em concreto – Propriedades mecânicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) PPGEM: UFRGS, 2003.

- 5 DA SILVA, MIRIAM COPPER. **Reciclagem de pós de aciaria elétrica como matéria-prima na fabricação de materiais cerâmicos argilosos: controle das emissões atmosféricas de zinco.** Tese (Doutorado em Engenharia) PPGEM: UFRGS, 2006.
- 6 JONES, S., YUAN, C. **Advances in Shell Moulding for Investment Casting.** Journal of Materials Processing Technology, v. 135, p. 258–265. 2002.
- 7 OLEFINES, B. **Review of Investment Casting Wax.** Foundry Trade Journal 2004: p. 82-86.
- 8 BARCELOS, JORGE LUIZ SOUZA. **Estudo da Influência de Agentes Tensoativos na Lama Refratária Sobre o Acabamento Superficial de Peças Microfundidas.** Dissertação. PPGEM: UFRGS, 1990.
- 9 METALS HANDBOOK. **Casting**, vol. 15, American Society for Metals, 9th edn., 1988.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **Guia ABIFA de fundição, Anuário 2009.** São Paulo, 2009.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT NBR 10004). **Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT NBR 5736). **Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro, 1991.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT NBR 7215). **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996. Versão Corrigida: 1997.
- 14 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT NBR NM 248:2003). **Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.
- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT NBR 9778). **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005. Versão Corrigida 2: 2009.
- 16 RILEM – Recommendations CPC -18. **Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth.** Matériaux et constructions, RILEM, vol. 21, nov/dec. 1998.