

## PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE VIGAS DE CONCRETO COM ADIÇÕES DE RESÍDUOS DE OBRAS CIVIS\*

Ricardo de Freitas Cabral<sup>1</sup>  
Adriano Ricardo Borges da Costa<sup>2</sup>  
Jadér Cristian Fernandes<sup>3</sup>  
Rafael Camargo Cardoso<sup>4</sup>

### Resumo

A reciclagem de resíduos de obras civis, tais como, concreto, vigas, pilares, pisos, alvenaria, ferragens, vêm sendo feita na construção civil nos grandes centros e apenas por construtoras, pois ainda não foi adotada pela população em geral. Esta pesquisa tem como objetivo central, o reaproveitamento de rejeitos cerâmicos, oriundos de obras civis. O material utilizado foi selecionado de descartes de obra, moído e peneirado dentro da granulometria de britas 1 e 2, sendo depois adicionado como agregado graúdo em percentuais (5%, 10%, 15% e 20%) em substituição parcial da brita, em traços (dosagens) de concreto, conformando corpos de prova no produto final, atendendo às normas da ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR5738 e NM67). Posteriormente, conforme a NBR5739 (2003) os CPs (Corpos de Prova) foram levados a ensaios de compressão e tração e rompidos após 14, 21 e 28 dias, tendo sido registrados os percentuais tecnicamente viáveis de 5%, 10% e 15%, com suas resistências características médias de 29MPa, 27MPa e 27,5MPa respectivamente, pouquíssimo abaixo da faixa média de Engenharia (15 à 40MPa). Os resultados mostraram que o compósito é viável para peças não-estruturais, trazendo leveza, resistência e economia direta e indireta para obras civis. Para fins estruturais, serão necessários mais experimentos que aprovelem e garantam tecnicamente o uso do produto.

**Palavras-chave:** Reciclagem; Cerâmica; Concreto; Resistência à Compressão

### PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CONCRETE BEAMS WITH ADDITIONS OF WASTE FROM CIVIL WORKS

#### Abstract

The recycling of waste from civil works, such as concrete, beams, pillars, floors, masonry, hardware, have been made in civil construction in large centers and only by construction companies, since it has not yet been adopted by the general population. This research has as main objective, the reuse of ceramic tailings, coming from civil works. The material used was selected from work samples, ground and sifted into the grit size 1 and 2, and then added as a bulk aggregate in percentages (5%, 10%, 15% and 20%) to partially replace the gravel in traces (dosages) of concrete, conforming test specimens in the final product, complying with the standards of the ABNT Brazilian Association of Technical Standards (NBR5738 and NM67). Subsequently, according to NBR5739 (2003), the CPs were subjected to compression and traction tests and ruptured after 14, 21 and 28 days. Technically feasible percentages of 5%, 10% and 15% were recorded. with its average characteristic resistances of 29MPa, 27MPa and 27,5MPa respectively, just below the average Engineering range (15 to 40MPa). The results showed that the composite is feasible for non-structural parts, bringing lightness, strength and direct and indirect savings for civil works. For structural purposes, more experiments will be needed to technically approve and guarantee the use of the product.

**Keywords:** Recycling; Ceramics; Concrete; Compression Resistance

- <sup>1</sup> *Físico, Doutor em Ciência dos Materiais, Professor responsável Doutor do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA – Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 – Três Poços, Volta Redonda – RJ – CEP 27240-560, Brasil e do Centro Universitário Geraldo Di Biase – UGB - Rodovia Benjamin Lelpo, Km 11, Barra do Pirai – RJ – CEP 27101-090, Brasil.*
- <sup>2</sup> *TI e Engenheiro Civil, Mestre em Engenharia dos Materiais, Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA – Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 – Três Poços, Volta Redonda – RJ – CEP 27240-560, Brasil*
- <sup>3</sup> *Físico, Mestrando em Engenharia dos Materiais, do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA – Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 – Três Poços, Volta Redonda – RJ – CEP 27240-560, Brasil e Professor do Centro Universitário Geraldo Di Biase – UGB - Rodovia Benjamin Lelpo, Km 11, Barra do Pirai – RJ – CEP 27101-090, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Matemático e Engenheiro de Produção, Mestrando em Engenharia dos Materiais, Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA – Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325 – Três Poços, Volta Redonda – RJ – CEP 27240-560, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Grande volume de Rejeitos de Construção e Demolição (RCD) têm sido gerados há anos nas áreas metropolitanas, em quantidades impactantes e preocupantes. Segundo levantamentos em trabalhos efetuados [1; 2; 3] estimativas apontam para rejeitos da ordem de 372 mil t/mês (São Paulo) e 27 mil t/mês (Rio de Janeiro) entre outros centros urbanos de expressão [4]

A falta de uma destinação correta de rejeitos vem provocando impactos ambientais físicos e biológicos, através de contaminantes inclusos nestes, que podem provocar doenças, prejudicar o solo, rios, enfim, a natureza e a população. Um mínimo de 7% dos rejeitos de obras são de natureza cerâmica, isto deu ensejo à construção deste projeto.

Muitos tipos de reaproveitamento de RCDs (concreto, alvenaria, areia e argamassa, materiais plásticos) já vêm sendo feitos na construção civil, uma vez que já existem empresas especializadas nessas reciclagens. Isto deve ser elogiado pois é um ótimo início de sustentabilidade e serve de exemplo, faltando apenas para a população adotar este tipo de reciclagem.

Vários trabalhos na área de RCDs, inclusive com os cerâmicos, já foram e vêm sendo produzidos por outros profissionais nesta mesma linha, como os de, Cabral (2009) [2], Troian (2009) [5], Silva (2012) [6] e Oliveira (2012) [7] assim como diversos debates e congressos sobre reciclagem na construção, por exemplo, Porto (2008) [4], SENAI (2005) [8] e Naime (2015) [9]. Inclusive, já há algum tempo, foram criados mecanismos públicos, tal como, a Resolução CONAMA 307 (2014) [10] que regulamenta a reciclagem.

Objetivou-se neste trabalho, o desenvolvimento e caracterização de um compósito confeccionado de concreto com adições de agregados de cerâmica provenientes de rejeitos de obras civis (RCD), nas proporções de 5%, 10%, 15%, 20%, confiabilidade compatível com as do concreto sem adições.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 RCD de Revestimento Cerâmico

O material cerâmico usado como agregado aditivo graúdo foi obtido de rejeitos de cerâmica de pisos e revestimentos, de obra. O revestimento foi fabricado pela ARTEC Pisos e Revestimentos Ltda., tipo cerâmica monoporosa do modelo 53011-PEI4. Este material de origem comercial é conveniente e encontrado no mercado de lojas de material de construção. Devido à dificuldade de resposta das recicladoras industriais dos ramos de reciclagem, seu custo médio como RCD foi estimado em R\$20,00/m<sup>3</sup>. A granulometria do RCD é compatível com a da brita tamanho 1 Ø(0,5mm à 19mm).

#### 2.1.2 Cimento

Foi utilizado cimento tipo Portland padrão CPIII-40RS, indicado para obras civis padrão, marca “CSN Cimentos S.A.”. Seu custo médio atual no varejo é de R\$ 22,00 por saco de 50kg.

### 2.1.3 Brita

Foi utilizada “brita comum” tipo Natural, de composição básica de granito, extraída da Pedreira Volta Redonda e adquirida na Loja Capobiango Materiais de Construção Ltda. O custo da brita no mercado local é de  $\approx R\$121,00/m^3$ , tanto brita tamanho 1  $\emptyset(0,5mm \text{ à } 19mm)$  como a brita 2  $\emptyset(19mm \text{ a } 38mm)$ .

### 2.1.4 Areia

Foi utilizada areia média “comum de leito de rio”, adquirida na Loja local Capobiango Materiais de Construção Ltda. Seu custo atual no varejo é cerca de  $R\$98,00/m^3$ .

## 2.2 Métodos

Efetou-se a mistura e homogeneização do concreto na betoneira, para cada traço de adição cerâmica programada, fazendo-se periodicamente o teste de slump, até se obter a valor de abatimento programado. O concreto foi depois, envazado nos moldes obedecendo-se ao procedimento de compactação.

Os moldes usados foram cilíndricos de aço de superfícies lisas e antiaderentes, dentro do padrão da norma, base com  $\emptyset 10cm$  e altura de 20cm, inertes ao cimento, e de boa resistência mecânica aos processos repetitivos de moldagem e desmoldagem. Os moldes são equipados com dispositivo para fechamento lateral, capaz de vedar a saída do material e também permite serem abertos após 24h.

Os moldes dos CPs foram limpos e sua superfícies internas cobertas com pequenas camadas finas de óleo para facilitar sua desmoldagem, conforme procedimento da norma (NBR5738, 2003) [11].

Conforme o planejamento inicial foram preparados CPs para cada uma das adições de 5%, 10%, 15% e 20%, além do percentual de referência de 0% de substituição, do agregado graúdo padrão por cerâmica e obteve-se a estimativa.

Amostras de concreto das adições foram colhidas dos CPs durante os ensaios. O traço unitário adotado foi o volumétrico na proporção de 1:2:3 (1 de cimento para 2 de areia para 3 de agregado graúdo) sendo esta, uma relação mediana usual de custo benefício empregado na engenharia. O valor do abatimento foi arbitrado em 6+1cm controlando-se o valor do fator a/c aplicado para obter-se a fluidez sem comprometer a resistência de 25MPa nem a trabalhabilidade pretendidas[13].

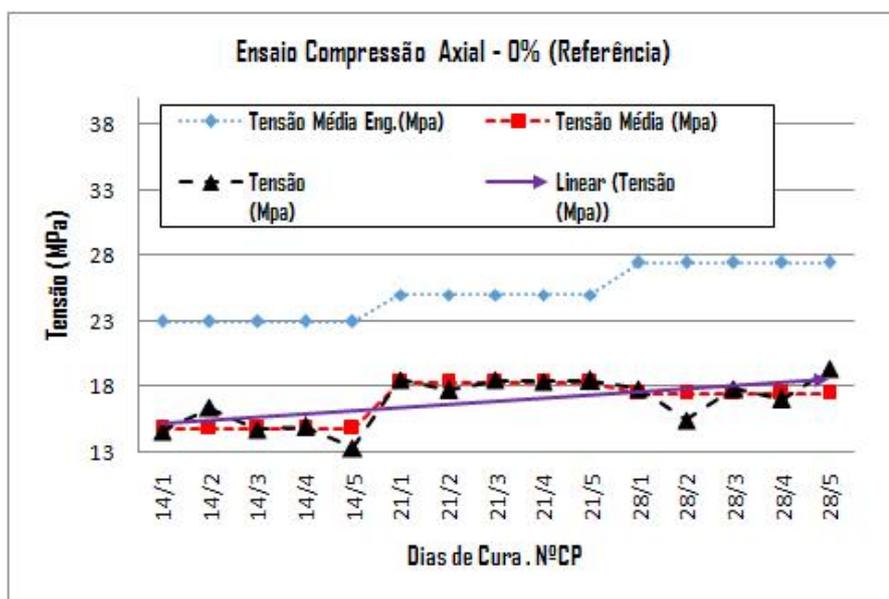
Logo em seguida procedeu-se a imersão dos CPs na câmara umidade, à temperatura de  $23^\circ C \pm 2^\circ C$  e umidade relativa de 100% (submersos em tanque de água parada) conforme item 8.2.2 da norma [11].

Foram realizados ensaios de resistência à compressão (axial) e à tração (diametral). Os CPs foram submetidos à compressão, via prensa hidráulica, até seu rompimento com o registro do resultado [12]. Para os ensaios de compressão e tração foi utilizada a prensa hidráulica marca EMIC, modelo T1000 com capacidade máxima para até 100MPa de tensão aplicada.

### 3 Resultados e Discussões

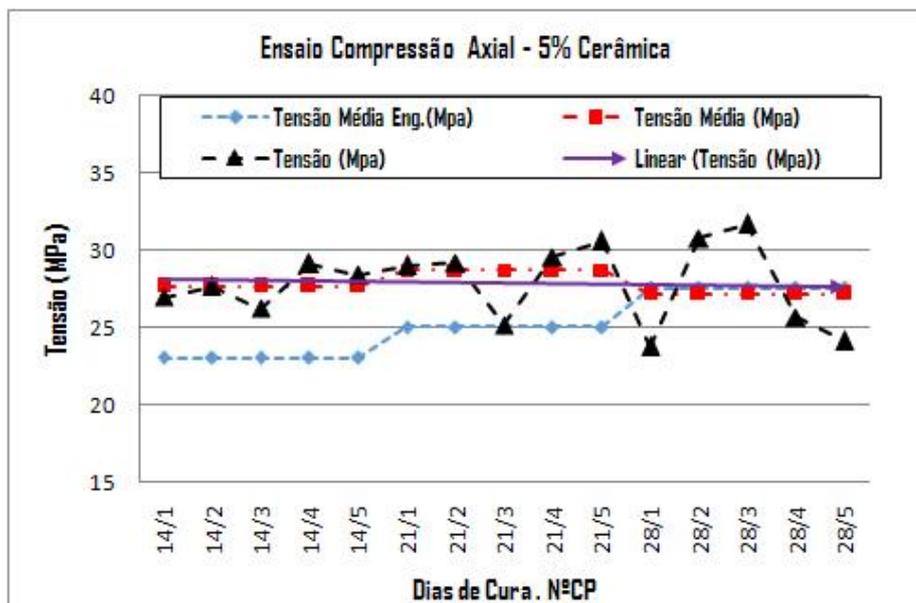
Na adição de 0% (1º Ref. de Fck) com 28dd, obteve-se Fc28 médio de 17,8MPa, com queda substancial de 29% abaixo dos 25MPa (3º Ref. - Botelho, 2012) que pode ser vista na Figura 1, a seguir. Neste ensaio, nota-se que houve algum problema na dosagem ou conformação que gerou este valor de Fck muito abaixo dos 30MPa (previstos e indicados pelo fabricante do cimento em ensaios exaustivos de fábrica).

Sendo assim, a referência de 0% de adição foi descartada, adotando-se então, como referências de Fc28, o valores de 27,5MPa (1º Ref.) e 25MPa (2º Ref.). Segundo Botelho (2012) [12] a variabilidade do Fck, em ensaios de resistência mecânica do concreto, é intrínseca ao preparo do concreto.



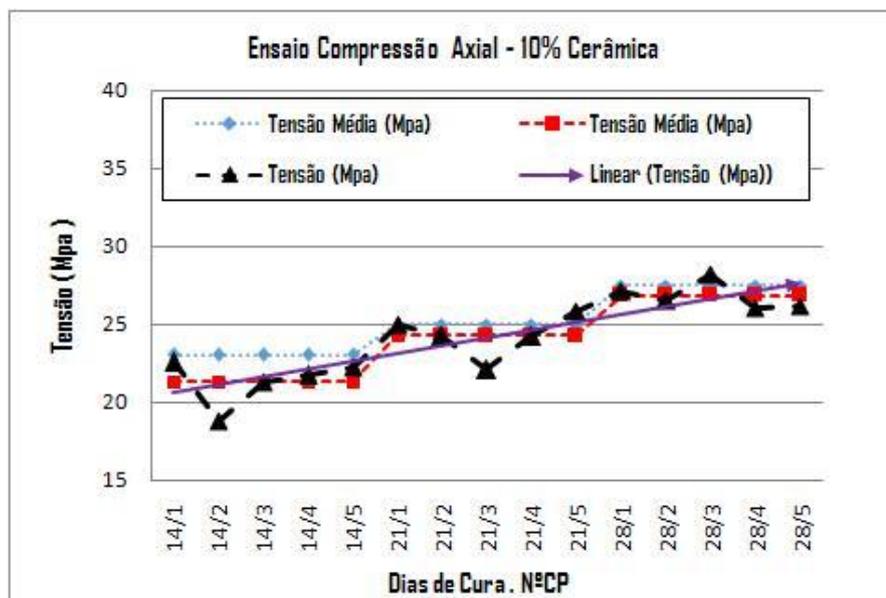
**Figura1.** Resistências à Compressão axial - 0% de Cerâmica

A Fc21 média foi de 28MPa bem próximo a 27,5MPa (1º Ref.) e > 25MPa (2º Ref.) [3; 12]. A previsão para o Fc28 à 5% deveria ter sido  $\geq 29$ MPa (Figura 2). Em projetos experimentais, desvios podem ocorrer [13]. A linha roxa (Figura 2) mostra a tendência de decréscimo não fossem os 3 CPs com Fck<25MPa. Ocorreu provável problema na conformação.



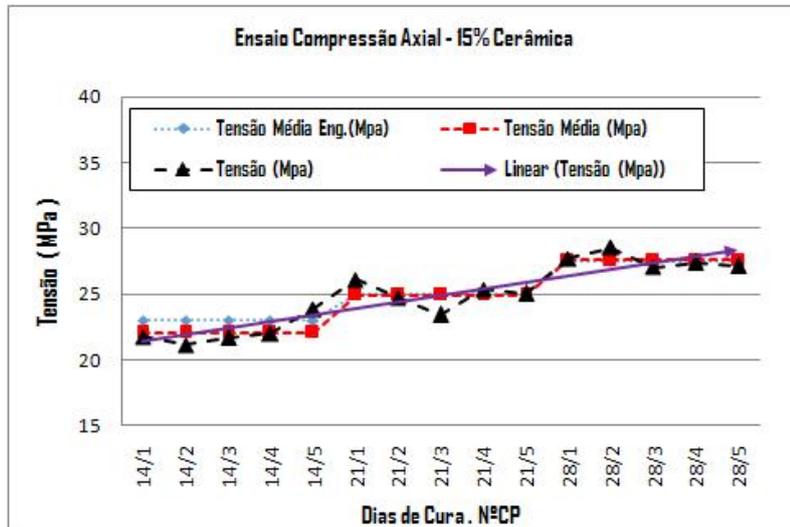
**Figura 2.** Resistências à Compressão axial - 5% de cerâmica

A Fc28 média desta adição foi de 27MPa pouquíssimo abaixo de 27,5MPa (2º Ref.) e acima de 25MPa (3º Ref.) [12]. A Figura 3 mostra a evolução da resistência.



**Figura 3.** Resistências à Compressão axial - 10% de cerâmica

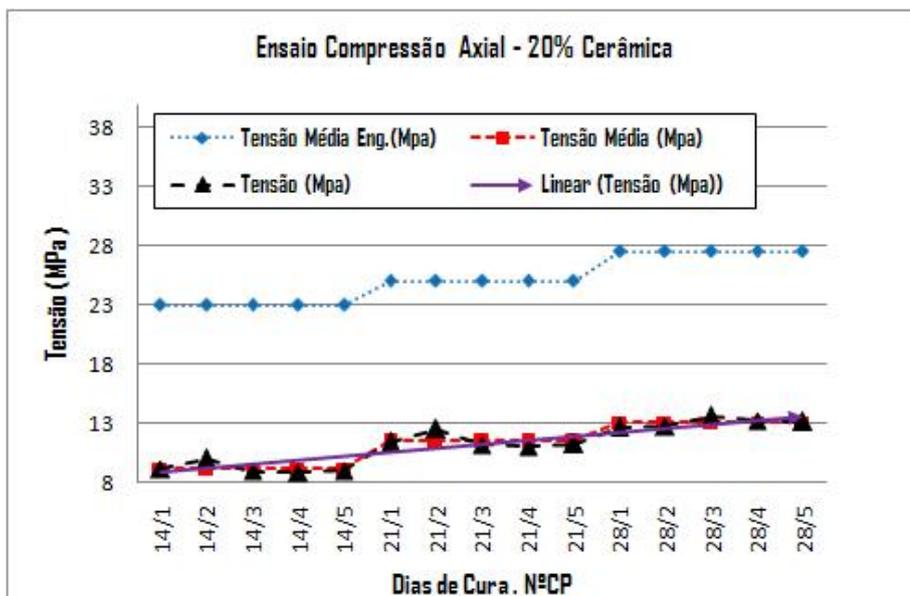
A Fc28 média à 15% de adição foi de 27,5MPa, igual a 27,5MPa (1ºRef.) e >25MPa [12]. A Figura 4 mostra a evolução da resistência.



**Figura 4.** Resistências à Compressão axial - 15% de cerâmica

A Fc28 média da adição de 20% (Figura 5) foi de 13MPa, abaixo dos 25MPa (2º Ref.) e longe de 27,5MPa (1º Ref.). O que indicou a hipótese de que a partir dos 20% de adição, os Fck sofrem expressiva redução, ou, pode ser possível que a pelletização ocorrida no início da conformação, seja a responsável pelo baixo Fck, induzindo-se à adoção do limiar viável de 20%.

Campos (2012) [3] também detectou que as adições a partir de 20% geram Fck abaixo dos 25MPa (Referência para cálculos Engenharia). O que convalida o arbítrio nesta dissertação, do limite dos 20% de adição conforme pré-ensaio [12]. No Figura 5, a linha roxa mostra a tendência de ganho de resistência à compressão (Fck) ao longo do tempo.



**Figura 5.** Resistências à Compressão axial - 20% de Cerâmica

A seguir foram resumidas as resistências à compressão axial (Figura 6) de

todas as adições (14, 21 e 28 dias de cura). Ficou evidente a diminuição da resistência quanto maior o aumento do percentual de agregado graúdo cerâmico. Isto possivelmente ocorreu, devido a granulometria do RCD que deveria ser menor, a fim de melhor adesão a matriz dos CPs.

O relevo significativo de avaliação da resistência obtidas (à 28 dias de cura) foi a zona verde (Figura 6) entre 25MPa à 30MPa (limiar azul claro).

Oliveira (2006) [14] mesmo não tendo usado cerâmica de revestimento, também verificou que a resistência do compósito cerâmico diminuiu quando os percentuais de adição cerâmica nos traços foram aumentados. Ele também obteve 27MPa no ensaio real da adição com 15% de agregado de RCD para conformação de concreto, tendo ainda utilizado aditivo. Isto confirma que os dados obtidos neste trabalho viabilizam o uso do compósito cerâmico em aplicações “não estruturais” conforme a norma [15].

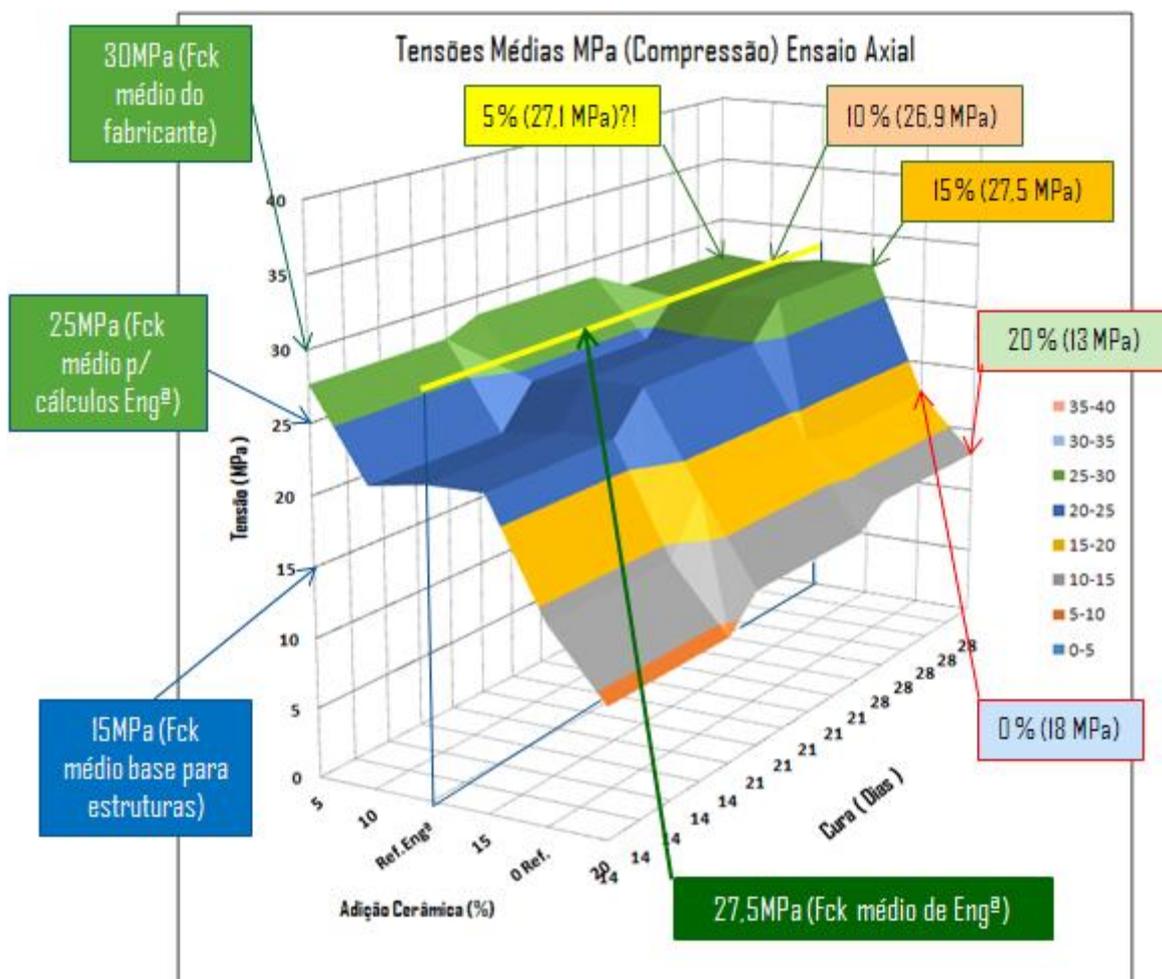


Figura 6. Resumo das Tensões Médias encontradas (compressão axial)

#### 4 CONCLUSÃO

As resistências à compressão, ficaram em torno dos 27,5MPa (média Eng.<sup>a</sup>), pouco acima dos 25MPa (base de cálculo usada em obras pequenas e médias). Estas resistências foram corroboradas pela boa aderência e massa compacta percebidas na morfologia estudada nas análises via MEV e da fase via DRX que apresentou (sílica, feldspato e portlandita) seus principais formadores.

A adição de 5% de cerâmica poderia ter tido a maior resistência à compressão, não fosse a deficiência do Fc28 ocorrida. A adição de 10% teve resistência igual a 27MPa e a de 15% foi a mistura de maior resistência à compressão obtida. Esta aparentou ser o limite superior viável de adição, neste trabalho.

Verificou-se que, com o aumento percentual e gradual de cerâmica, houve também, queda progressiva da resistência à compressão, sendo acentuada na adição de 20%, que se corroborou com outras pesquisas já realizadas. O Motivo dessa queda foi a superfície vítrea da cerâmica de revestimento, ponto crítico do compósito, tendo baixa aderência matriz x cerâmica, facilitando a formação de clivagens e cisalhamento dos CPs. Adições maiores poderão ter este efeito elevado geometricamente devido a maior superfície vítrea total.

Considerando a questão técnica, o compósito se mostrou viável para conformação de peças de concreto com função não-estrutural (pisos, blocos de parede, lajes pré-moldadas e muros) havendo hoje até mesmo, permissão deste uso pela norma NBR15655, sendo material barato, diminui diretamente, o custo com agregado. Sendo mais leve e resistente, pode diminuir a armadura, diminuindo indiretamente no custo à obra. É possível a viabilidade das adições de 5% à 15% para usos estruturais, caso novas técnicas de confecção (menor granulometria, uso de aditivos, menor fator a/c) aprovelem e garantam tecnicamente o produto.

## REFERÊNCIAS

- 1 SENAI; SEBRAE; GTZ; Projeto Competir APRESENTAÇÃO: Gestão de Resíduos de Construção Civil – Redução, Reutilização e Reciclagem, 2005.
- 2 CABRAL, A. E. B.; SCHALCH, V.; DAL MOLIN, D. C. C.; RIBEIRO, J. L. D., Ravindrarajah , R. S. . Desempenho de concretos com agregados reciclados de cerâmica vermelha. DEECC, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2009.
- 3 CAMPOS, C. F. S. ; MAZINI, G. B. ; NETO, G. A. S. . Análise das propriedades físicas e mecânicas do concreto produzido com resíduo sólido de cerâmica vermelha – *Colloquium exactarum*, Presidente Prudente, São Paulo, 2012.
- 4 PORTO, M. E. H. de C. e Silva, S. V. Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares. XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. ISECENSA. Rio de Janeiro, 2008.
- 5 TROIAN, A. Avaliação da durabilidade de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto frente à penetração de íons cloreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) SÃO LEOPOLDO, 2010.
- 6 SILVA, M. A. da. Obtenção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de papel de embalagens de cimento. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) CEFET-MG, Belo Horizonte, MG, 2012,111p.
- 7 OLIVEIRA, I B. C.; SILVESTRE, M. E. R.; MEDEIROS, J. L. G.. Confecção de concreto com agregados reciclados - VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas,Tocantins, 2012.
- 8 SENAI; SEBRAE; GTZ; Projeto Competir APRESENTAÇÃO: Gestão de Resíduos de Construção Civil – Redução, Reutilização e Reciclagem, 2005.
- 9 NAIME, R. Reciclar o entulho da construção civil. EcoDebate link: <http://www.ecodebate.com.br/2010/05/24/reciclar-o-entulho-da-construcao-civil-artigo-de-roberto-naime-2> . Acessado em 10/03/2015.
- 10 CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 307. Gestão de Resíduos da Construção Civil. Resolução Nº 448 - 2014.
- 11 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5738: Moldagem e Cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

- 12 BOTELHO, M.; Marchetti, O. Livro de Concreto: Concreto Eu Te Amo. 7ª ed., São Paulo: Editora Blucher Ltda., 2012, 726p.
- 13 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2003.
- 14 OLIVEIRA, I B. C.; SILVESTRE, M. E. R.; MEDEIROS, J. L. G.. Confecção de concreto com agregados reciclados - VII Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, Palmas, Tocantins, 2012.
- 15 ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparos de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.