



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDOS NA FASE FRESCA E ENDURECIDA DO CAD COM DIFERENTES PORCENTAGENS DE SUBSTITUIÇÃO DE AREIA POR RESÍDUOS DE BORRACHA

¹Thiago Pastre Pereira, thiago_pereiranh@hotmail.com

²Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque, sao@dec.feis.unesp.br

³Aparecido Carlos Gonçalves, cido@dem.feis.unesp.br

⁴Marcelo Santana, maarcelosantana92@gmail.com

¹Departamento de Engenharia Civil - UNESP – FEIS - Avenida Brasil, 550, Centro – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

²Departamento de Engenharia Civil - UNESP – FEIS - Avenida Brasil, 550, Centro – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

³Departamento de Engenharia Mecânica - UNESP - FEIS - Avenida Brasil, 56, Centro – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

⁴Departamento de Engenharia Civil - UNESP – FEIS – Avenida Brasil, 550, Centro – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

Resumo: A inserção de resíduos no concreto traz influências nas propriedades do mesmo, desde coesão e trabalhabilidade (durante fase fresca) até resistências (endurecido). Algumas delas podem ser melhoradas com a adição, como no caso de resíduos de borracha que tornam a fissuração mais lenta com o tempo, devido a melhor absorção dos impactos. Podem ainda servir de agregados com boa resistência, como no caso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Neste estudo, partiu-se de um traço de Concreto de Alto Desempenho (CAD), com utilização de finas partículas de cinza de casca de arroz e com baixa relação água/cimento, permitida pela utilização de aditivo superplastificante. Fixadas quantidades de materiais no concreto referência (sem borracha), foram realizadas diferentes porcentagens de substituições de areia por resíduos de borracha de pneus inservíveis de determinada granulometria. As observações mais relevantes referentes à trabalhabilidade foram expostas, e os valores comparados da resistência axial e diametral puderam ser analisados. Posterior à substituição de areia por borracha, houve diferenças mais explícitas quando se tratou de grande quantidade do resíduo, sendo que em pequenas proporções, a resistência axial não foi afetada. Para determinadas substituições do estudo, a inserção do resíduo melhorou a resistência axial, tendo valores maiores que a do concreto referência. O material se mostra uma boa opção para pavimentos rodoviários quando utilizada acompanhada de partículas finas, além de envolver aspectos ambientais, à medida que utiliza resíduos que seriam descartados.

Palavras-chave: concreto de alto desempenho, pavimento rodoviário de concreto, concreto ecológico, utilização de resíduos, materiais alternativos

1. INTRODUÇÃO

1.1. Concreto

O concreto é um material resultante, basicamente, da mistura de aglomerantes (cimento + água) e agregados (areia, brita, seixo rolado) em determinadas proporções.

É um dos materiais mais utilizados na construção civil por ter resistência a água (diferente da madeira e do aço comum); pela facilidade de produção de peças ou elementos estruturais de diferentes tamanhos e formas e; pelo baixo custo, dependendo da disponibilidade dos materiais que o compõem (Mehta e Monteiro, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), existem três tipos de concretos: os de baixa resistência (compressão até 20 MPa); concreto de resistência moderada (compressão de 20 MPa até 40 MPa) e; concretos de alta resistência (compressão superior a 40 MPa). Os mais comuns são os concretos de moderada resistência.

Concretos de Alto Desempenho (CAD) recebem este nome por terem elevada durabilidade e alta resistência. Além dos materiais convencionais, tem em sua constituição os chamados “aditivos”. No mercado existem diversos aditivos, para diversas finalidades, mas neste tipo de concreto (CAD), utiliza-se superplastificantes para redução da quantidade de água em sua constituição e, microssilica para preenchimento de vazios menores, que o torna menos poroso. Isso porque quanto mais poroso o concreto, maior é a tendência de sofrer com os ataques químicos e físicos, e portanto, menor será a durabilidade (Bauer, 1994).

Atualmente, existem pesquisas para inserção de materiais residuais no concreto que servem de agregado. Exemplos são: concreto com resíduos de construção e demolição; Concreto com resíduos de borracha de pneus.

1.2. Concreto com resíduo de borracha de pneus

Algumas consequências são observadas com a inserção de resíduos de borracha nos concretos. A trabalhabilidade – fator diretamente relacionado com a fluidez – é um dos fatores alterados na fase fresca do concreto. Geralmente, a fluidez é diminuída, por consequência da superfície áspera da borracha que causa maior fricção entre os constituintes do concreto. (RedaTaha *et al.*, 2008).

A capacidade de absorção de carga pelo concreto mostrou-se melhorada em estudos dos quais utilizaram borracha em substituição de parte de agregados miúdos. De acordo com RedaTaha *et al.* (2008), a baixa rigidez das partículas de borracha também deixa o concreto mais flexível e melhora consideravelmente a absorção da energia de impacto. Gupta *et al.* (2015) observou que essa característica era proporcional ao aumento do valor da substituição, ou seja, quanto mais borracha em sua constituição, mais golpes eram necessários para causar a primeira fissura no concreto, além de sua ruptura.

A desvantagem na utilização de resíduos de borracha no concreto é a diminuição do valor da resistência do material final. Isto ocorre porque partículas arredondadas de resíduos de borracha, quando comprimidas podem adquirir formas elípticas, iniciando fissuras por tensão nas paredes da pasta de cimento. A menor ligação entre as partículas de borracha com a pasta de cimento mostra uma sensibilidade, separando partículas à medida que existe aumento de carga (Balaha *et al.*, 2007).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Produção dos corpos-de-prova (CPs)

A fim de analisar o efeito de diferentes porcentagens de substituições de areia (em volume) por resíduos de borracha no concreto de alto desempenho (CAD), foram produzidos 4 traços: traço referência (sem borracha, chamado de T-0%), traço com 5% (T-5%), traço com 10% (T-10%) e traço com 15% (T-15%).

Os materiais utilizados foram: Cimento portland tipo II (CPII – Z); Areia; Brita 0; Resíduos de borracha de pneus; cinzas de casca de arroz; aditivo superplastificante, no caso, uma solução de policarboxilato modificado, com massa específica de 1,095 g/cm³ e; água potável a 0,32 a/c. Os resíduos de borracha são passantes na peneira 1,19mm e retidos na 0,6mm.

Os ensaios para os agregados seguiram as normas: ABNT NBR NM 52:2009; ABNT NBR NM 248:2003 e; ABNT NBR NM 53:2009. As figuras 1a) e 1b) mostram, respectivamente, as curvas granulométricas da areia e da brita utilizadas.

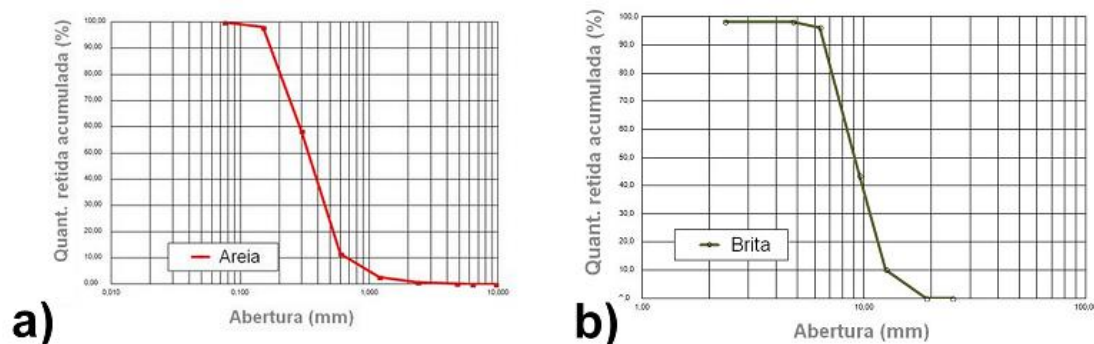


Figura 1. a) curva granulométrica da areia e; b) curva granulométrica da brita.

A proporção do material no traço, em massa, é mostrada na tabela 1.

Tabela 1. Proporções dos materiais utilizados nos traços de concreto.

Proporções	Cimento	Areia	Borracha	Brita 0	Cinzas	Plastificante	Água
Traço referência T-0%	1,000	1,150	0	3,150	0,080	5,475	0,320
Traço T-5%	1,000	1,093	0,023	3,150	0,080	5,475	0,320
Traço T-10%	1,000	1,035	0,047	3,150	0,080	5,475	0,320
Traço T-15%	1,000	0,978	0,070	3,150	0,080	5,475	0,320

De acordo com a norma ABNT NBR NM 67:1998, foram realizados testes de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*) em todos os traços, a fim de se analisar a trabalhabilidade e a coesão do concreto, a medida que aumentava a substituição de areia por resíduos de borracha.

Posterior à produção, os CPs ficaram nos moldes por 24 horas. Depois, foram desformados e permaneceram na câmara úmida do laboratório da FEIS/UNESP, em processo de cura até o momento dos testes. Aos 7 dias de cura, uma parte do lote de cada traço foi submetida aos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, a fim de obter os valores de resistência a compressão e tração. Aos 120 dias de cura, a outra parte dos lotes foi submetida ao mesmo processo, com a finalidade de comparar o acréscimo de resistência com o tempo.

Como processo de retificação da superfície (para ensaios de compressão axial), optou-se por utilizar placas de madeirite nas superfícies dos CPs, ao invés do convencional capeamento com enxofre ou polimento da superfície (escolha embasada em resultados de pesquisas dos autores). A figura 2a) mostra os CPs em processo de cura, a fig. 2b) mostra o detalhe do madeirite no ensaio axial e a fig. 2c) mostra o CP preparado para o ensaio diametral.

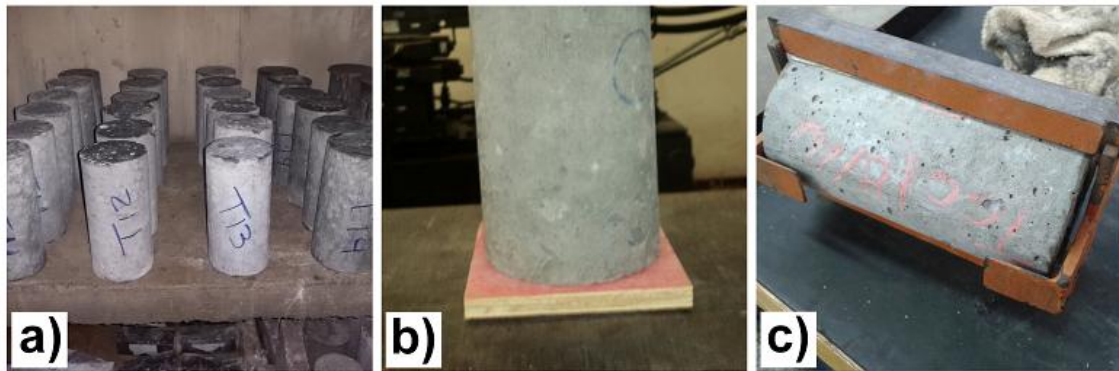


Figura 2. a) CPs na câmara úmida; b) CP com madeirite durante ensaio axial; c) CP no ensaio diametral.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Fase fresca do concreto

Apesar do concreto ter sido feito com baixa relação a/c (0,32), a adição de 0,5% de superplastificante (em relação à massa de cimento) possibilitou alta trabalhabilidade. Ainda assim, foi possível perceber que o material teve sensível perda de fluidez a medida que houve aumento da quantidade de resíduos em sua composição. O *Slump Test* gerou medidas menores, a cada aumento de substituição, como mostra o gráfico da fig.3, na qual se nota uma delicada uniformidade no decréscimo.

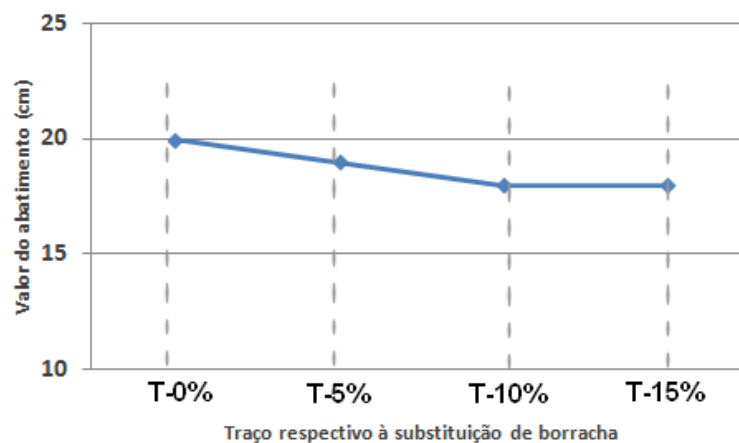


Figura 3. Gráfico de linha dos valores do abatimento do tronco de cone.

A provável causa deste comportamento está relacionada com o atrito superficial do material com as partículas de borracha, de acordo com RedaTaha *et al.* (2008).

3.2. Fase endurecida do concreto

3.2.1 Resistência axial

Com relação à resistência axial, as médias dos dados obtidos na ruptura aos 7 dias de cura mostram que o acréscimo de resíduos em até 10% não teve grande influência, sendo que no caso de 5% (T-5%), a resistência até foi 1,44MPa maior que em T-0%. Já para 15%, a queda foi muito evidente, quando comparado com o traço referência, ou seja, 11,64 MPa menor (levando em consideração a média).

A tabela 2 traz os resultados dos ensaios axiais, com o desvio padrão e o incremento de resistência aos 120 dias, com relação aos 7.

Tabela 2. Médias axiais aos 7 e 120 dias de cura, com desvio padrão e acréscimo de resistência para cada proporção.

Tipos de dados	T0%	T5%	T10%	T15%
Média aos 7 dias (MPa)	40,86	42,30	39,95	29,22
Desvio padrão (MPa)	3,79	4,17	0,46	1,08
Média aos 120 dias (MPa)	58,64	50,40	49,37	43,41
Desvio padrão (MPa)	5,64	8,57	0,39	4,39
Acréscimo de MPa	17,78	8,10	9,42	14,19
Acréscimo de resistência(%)	43,50	19,15	23,58	48,56

Nota-se que, após 120 dias, as resistências axiais se mostraram com maior discrepância nos traços. O comportamento é de decréscimo de resistência, com o acréscimo de resíduos. O gráfico de barras da fig4 mostra a comparação das resistências nas respectivas datas.

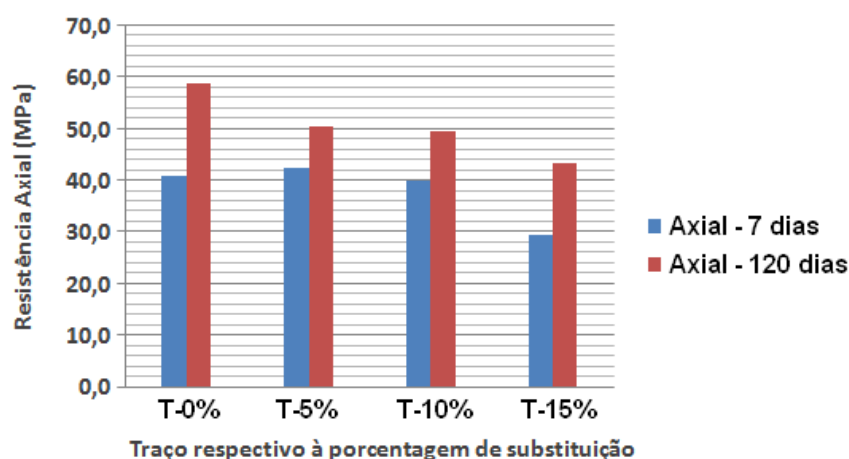


Figura 4. Gráfico das médias das resistências axiais aos 7 e 120 dias.

Tal comportamento de diminuição na resistência pode ser explicada pelo fato de a borracha não ser um material com boa resistência à compressão, fazendo com que tenha a mesma função de vazios no concreto ou ainda por criar tensões pela forma elíptica (quando comprimida), como sugere Balahaet AL (2008)

Aos 7 dias, a redução da resistência axial comparando T-15% e T-0% (traços extremos do estudo em questão) é de 28,5%, aproximadamente. Aos 120 dias cai para 26%, aproximadamente. Ou seja, a diferença é praticamente a mesma, ao passo que houve acréscimo dessa característica em ambos os traços, na mesma proporção.

Resistência à tração por compressão diametral

Para o caso diametral, o comportamento teve grande semelhança com do axial. Aos 7 dias não se nota um comportamento relacionado com o acréscimo de resíduos, sendo que o maior valor é do traço T-10% (5,05 MPa), como é mostrado na tab3.

Tabela 3. Médias diametraais aos 7 e 120 dias de cura, com desvio padrão e acréscimo de resistência para cada proporção

Tipos de dados	T0%	T5%	T10%	T15%
Média aos 7 dias (MPa)	4,51	4,38	5,05	3,68
Desvio padrão (MPa)	0,16	0,50	1,17	0,93
Média aos 120 dias (MPa)	7,22	6,42	5,98	4,73
Desvio padrão (MPa)	0,65	0,35	0,53	0,71
Acréscimo de MPa	2,70	2,03	0,94	1,05
Acréscimo de resistência(%)	59,96	46,35	18,52	28,53

Aos 120 dias é possível notar a tendência de decréscimo “uniforme” (considerando o intervalo de porcentagem do estudo) da resistência com o acréscimo de resíduos, embora a diferença seja sensível. O gráfico dos valores aos 7 e 120 dias é mostrado na fig5.

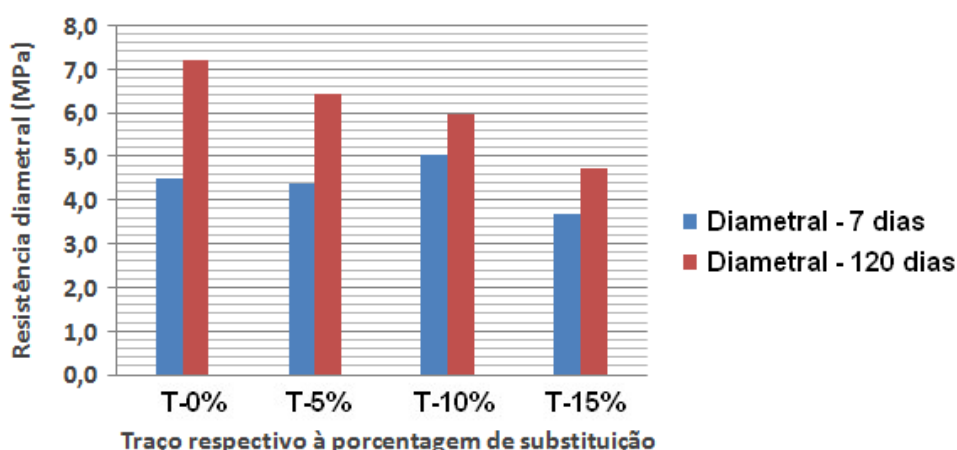


Figura 5. Gráfico das médias das resistências diametraais aos 7 e 120 dias.

Neste caso, a propriedade responsável pela queda na resistência pode ser o atrito reduzido, ou a falta de aderência entre as partículas de borracha com a do concreto, confirmando a ideia de Balahaet al (2007).

Aos 7 dias, a redução da resistência diametral comparando T-15% e T-0% é de 18%, aproximadamente. Aos 120 dias aumenta para 34%, aproximadamente. Tal fato é devido ao grande aumento no T-0% (2,70 MPa), diferente do aumento em T-15% (1,05 MPa), diferente da axial.

Em termos gerais, a resistência (tanto axial, quanto diametral) sofre influências no valor da resistência, de modo semelhante. No gráfico da fig.6, são mostradas as curvas geradas com o aumento de substituição de areia por resíduos de borracha.

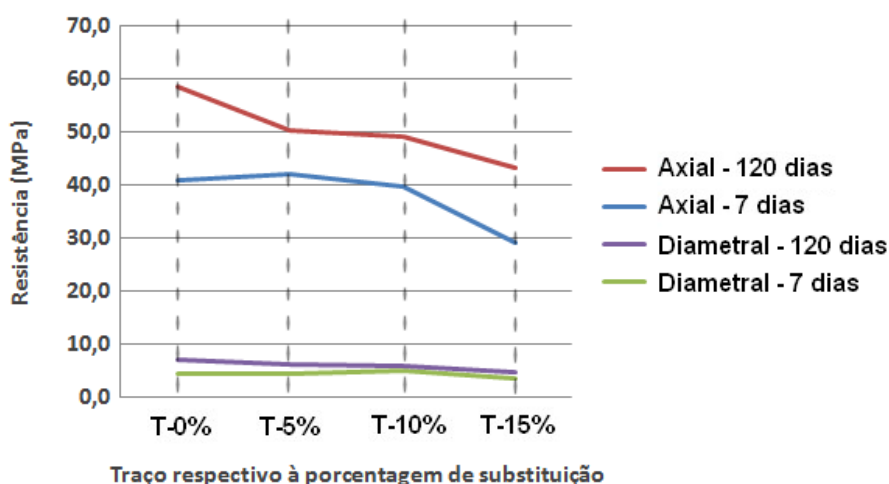


Figura 6. Gráfico para comparação do comportamento das curvas com as médias das resistências axiais e diametraais aos 7 e 120 dias.

Embora o comportamento seja semelhante, no caso da resistência axial, a queda é mais visível.

4. CONCLUSÕES

De acordo com os dados obtidos:

- A inserção de resíduos de borracha em substituição de areia, por volume, influencia diretamente na trabalhabilidade do concreto e em suas resistências: axial e diametral;
- Por ter valores maiores e devido ao comportamento do material, a queda na resistência é bastante evidenciada quando se trata do caso axial e muito sensível no caso diametral, a medida que aumenta-se as quantidades de resíduo;
- Com relação aos traços extremos (comparando T-15% com T-0%), embora a resistência axial se mostre bem decrescida, a proporção de crescimento com o passar do tempo é praticamente a mesma. De diferente modo, a resistência diametral para estes casos tem proporções diferentes de crescimento, sendo que sem borracha é quase duas vezes maior.
- Houve crescimento da média de resistências (axial e diametral) durante os 120 dias, em ambos os casos. O resíduo de borracha não afetou essa propriedade.

5. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. 2009. 6 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 53: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. 2009. 8 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998. 8 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. 2003. 6 p.
- Balaha, M., Badawy, A., Hashish, M., 2007. Effect of using ground waste tire rubber as fine aggregate on the behaviour of concrete mixes. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 14, p 427 a 435.
- Bauer, Luiz Alfredo Falcão (Comp.). *Materiais de construção* 1. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1994. 447 p.
- Gupta T., Sharma R.K., Chaudhary S. Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume. *International Journal of Impact Engineering*, 2015, p 76 a 87.
- Mehta, Povindar Kumar; MONTEIRO, Paulo José Melaragno. *Concreto: Estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 p.
- Redataha MM, El-Dieb AS, El-Wahab MA, Abdel-Hameed ME. Mechanical, fracture and micro structural investigations of rubber concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2008, p 640 a 649.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores Thiago Pastre Pereira, Maria da Consolação Fonseca de Albuquerque, Aparecido Carlos Gonçalves e Marcelo Santana são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDIES IN THE FRESH PHASE AND HARDENED PHASE OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE WITH DIFFERENT PERCENTAGES OF REPLACEMENT OF SAND BY RUBBER WASTES

¹Thiago Pastre Pereira, thiago_pereiranh@hotmail.com

²Maria Consolação Fonseca de Albuquerque, sao@dec.feis.unesp.br

³Aparecido Carlos Gonçalves, cido@dem.feis.unesp.br

⁴Marcelo Santana, maarcelosantana92@gmail.com

¹Civil Engineering Department - UNESP – FEIS - Bahia Avenue, 550, Center – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

²Civil Engineering Department - UNESP – FEIS - Bahia Avenue, 550, Center – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

³Mechanical Engineering Department - UNESP - FEIS - Brazil Avenue, 56, Center – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

⁴Civil Engineering Department - UNESP – FEIS - Bahia Avenue, 550, Center – Ilha Solteira, SP, CEP 15385-000.

Abstract: The insertion of waste in the concrete brings influences in their properties, since cohesion and workability (for fresh phase) to resistance (hardened). Some of them can be improved with the addition, as in the case of rubber waste that make slower crack with time due to better absorption of impacts. They can also serve as households with good resistance, as in the case of construction and demolition waste (CDW). In this study, was made a mix of High Performance Concrete (HPC), using fine particles of rice husk ash and low water / cement ratio, allowed by the use of superplasticizer. Fixed the quantities of materials in the reference concrete (without rubber), there were different percentages of sand replacements for waste tire rubber with a determined grain size. The most significant observations regarding the workability were exposed, and the values compared the axial and diametrical resistance could be analyzed. After the replacement of rubber by sand, there was more explicit differences when it came to large amounts of waste, and in small proportions, the axial resistance was not affected. For certain substitutions of the study, insertion of the residue improved axial strength having values greater than the reference concrete. The material shows a good option for road pavements when used together with fine particles, besides involving environmental aspects, the measure that uses waste that would be discarded.

Keywords: high performance concrete, concrete road surface, ecological concrete, use of waste materials, alternative materials