

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE BORRACHA PNEUMÁTICA EM CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO.

INFLUENCE OF THE ADDITION OF PNEUMATIC RUBBER RESIDUE IN CONCRETE OF HIGH PERFORMANCE

Marcos Onofre de Vita (1); Jorge Luís Akasaki (2)

(1) Aluno do Curso de Engenharia Civil da UNESP-Campus de Ilha Solteira - Bolsista FAPESP.
e-mail: movita@aluno.feis.unesp.br

(2) Prof. Adjunto do Departamento de Engenharia Civil.
UNESP-Campus de Ilha Solteira.
e-mail: akasaki@dec.feis.unesp.br

Alameda Bahia, 550 – CEP: 15385-000. Ilha Solteira – S.P. Tel.: (18) 3743-1213
fax: (18) 3743-1160

RESUMO

O Concreto de Alto Desempenho (CAD) após vários anos de pesquisa tornou-se um material promissor em termos de garantia de vida útil ampliada, de superioridade de suas propriedades mecânicas, de altos índices de durabilidade em face dos ataques de agentes agressivos do ambiente, sendo cada vez crescente sua utilização em diversificados projetos. Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento de descarte de rejeitos sólidos, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias-primas naturais, e isto, vêm impulsionando estudos sobre o aproveitamento de resíduos industriais e o desenvolvimento de materiais alternativos, onde, atualmente, o enfoque é à busca do desenvolvimento sustentável. A indústria da construção civil depara-se com grande potencial na inserção dos resíduos como materiais de construção, tornando-os como subprodutos, reduzindo problemas relacionados aos aspectos ambientais e sociais, através da utilização de sistemas de reciclagem e da busca da sustentabilidade dos processos de produção. A incorporação de resíduos industriais ao concreto, tais como borracha proveniente de pneus inservíveis, é uma das soluções para o aproveitamento de subprodutos poluentes. Este trabalho tem a intenção de estudar a utilização de fibra de borracha de pneu de três granulometrias diferentes (fina, média e grossa), cada qual incorporada ao CAD, relatando qual granulometria e teor de incorporação oferece um melhor desempenho ao CAD. Os resultados encontrados mostraram que a adição de borracha média a 3% da composição obteve melhor comportamento mecânico no CAD, sendo que com sua inserção houve mudanças no comportamento mecânico para todas as percentagens CAD.

Palavra- chave: Concreto de alto desempenho, Borracha de pneu, Resíduos

ABSTRACT

The High Performance Concrete (HPC) after several years of research became a promising stuff in we will have of guarantee of helpful life extended, of superiority of his mechanical estates, of high indices of durability in face of the attacks of aggressive agents of the environment, being each time

growing its utilization in diversified projects. In the last years, have verified an increase of discards of rejeitos solid, as well like the resulting problems of the exaustão of natural matters-cousins, and this, you come stimulating studies about the utilization of industrial residues and the development of alternative stuff, where, at present, the approach is to the search of the sustainable development. To industrial of the civil construction has an encounter-itself with big potential in the insertion of the residues as stuff of construction, becoming them like by products, reducing problems related to the social and environmental aspects, across of the utilization of systems of reciclagem and of the search of the sustainability of the trials of output. The incorporation of industrial residues to the concrete, such as rubber originating from tire inservíveis, is one of the solutions for the utilization of byproducts pollutants. This work has the intention to study the rubber fiber use of tire of three different granulometrias (fine, average and thick), each one incorporating the HPC, telling to which granulometria and text of incorporation it offers one better performance the HPC. The results found showed that the addition of rubber addition the 3% better mechanical behavior in the HPC, being that with its insertion it had changes in the mechanical behavior for all percentages HPC.

Keywords: High performance concrete, Tire rubber, Residues

INTRUDUÇÃO

A indústria da construção civil vem estudando a possibilidade da utilização de resíduos industriais como novos materiais, a fim de minimizar os problemas ambientais, tendo em vista que os mesmos são gerados em grandes quantidades e na sua maioria, sem destinação específica.

A utilização destes resíduos na construção civil, além de lhes agregar valor, tornando-os subprodutos, reduz problemas relacionados aos aspectos ambientais e sociais, através da utilização de sistemas de reciclagem e da busca da sustentabilidade dos processos de produção.

Um desses resíduos é proveniente do descarte de pneus inservíveis que constituem imensos potenciais para a procriação de mosquitos vetores de doenças e também são de difícil controle de incêndio, além do infortúnio que estes podem levar, como a contaminação do ar, solo e lençol freático.

Uma das primeiras formas de reutilização de pneus foi a geração de energia pela queima e a recauchutagem. Com o avanço tecnológico, surgiram novas aplicações, como a mistura com o asfalto considerada nos Estados Unidos como uma das melhores soluções para o problema do descarte de milhões de pneus por ano.

O descarte de pneus inteiros é utilizado em alguns casos para aplicações diversas, como, por exemplo, em obras de contenção, nas margens de rios para evitar desmoronamentos, nas construções de quebra mares, na construção de parques infantis, no controle de erosões, na

drenagem de gases em aterros sanitários, etc. No Brasil, as carcaças são utilizadas nos recifes artificiais, para aumentar a produção pesqueira.

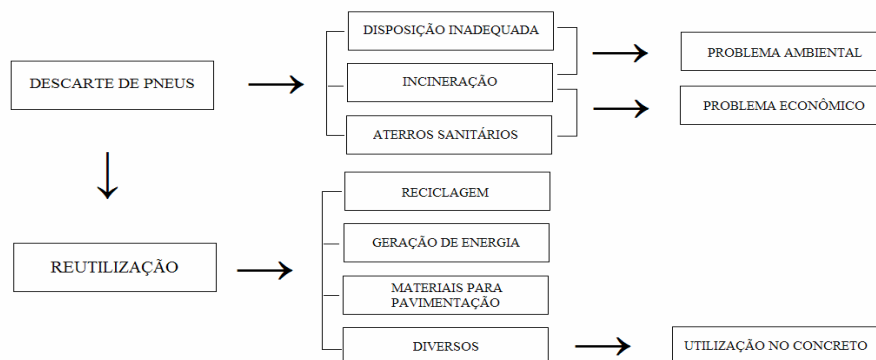


Figura 1. Destino final de pneus descartados.

O uso de resíduos de borracha de pneu na produção de materiais a base de cimento é definido por Turatsinze, Bonnet e Granju (2004, p.6) como uma grande oportunidade de contribuir para a preservação do meio ambiente, à medida que se amplie a reciclagem dos pneus inservíveis descartados em todo o mundo.

Recentemente, dentro do tema da adição de resíduos de borracha de pneu em materiais cimentícios, iniciando outra linha de pesquisa, diferenciada da já promissora adição destes resíduos a concretos convencionais, Olivares e Barluenga (2004, p.111) estudaram a adição de resíduos de borracha de pneu no comportamento de concretos de alta resistência. Tendo inovado quanto aos níveis de resistência à compressão alcançada, uma vez que até então os concretos com resíduos de borracha de pneu caracterizam-se pelo desenvolvimento de modestos patamares de resistência à compressão. Além desta característica a borracha de pneu pode ser empregada na construção civil como isolante estrutural, impedindo a propagação de tensões, pois apresenta uma capacidade de absorver energia 8.000 vezes maior que os metais (SEGRE, 1999), fato interessante sendo que o CAD por ser um material mais homogêneo e uniforme, apresenta uma menor porosidade e permeabilidade a agentes agressivos resultando então numa maior durabilidade. Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (1999), o CAD chega a ter um coeficiente de permeabilidade 10.000 vezes menor que os concretos convencionais, possuindo assim reduzida carbonatação e difusão de cloretos. No entanto sua fissuração inicia-se de forma tardia, isto é, em patamares muito próximos ao seu limite de resistência, apresentando assim uma característica de ruptura frágil e de reduzida tenacidade.

Assim, devido às melhorias ocorridas tanto na pasta quanto na zona de transição, a microestrutura do concreto de alto desempenho tem comportamento diferenciado em relação ao concreto convencional, isto é, existe no CAD uma maior transferência de tensões entre a pasta de cimento e os agregados graúdos.

Devido a este aumento de transferência de tensões, no CAD existe também uma grande preocupação com o agregado graúdo, pois quando solicitado por esforços externos, sua ruptura é geralmente do tipo transgranular, ou seja, o agregado torna-se o elo menos resistente.

Segundo Akçaoglu, Tokyay e Çelik (2002, p.828), a fase do agregado exerce influência nas propriedades do concreto, principalmente nas suas características físicas, tais como volume, tamanho, porosidade, forma e textura.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados foram caracterizados quimicamente e fisicamente, para melhor adoção do método de dosagem. O cimento utilizado para a execução dos concretos é o CP II F – 32 que foi caracterizado de acordo com a NBR 11578 – ABNT (1991), e o superplastificante à base de policarboxilato empregado é o “Viscocrete 20 HE”, produzido pela SIKA do Brasil, que possui massa específica de 1,08 g/cm³, teor de sólidos de 35% e dosagem máxima de 2% em relação ao peso de cimento.

A sílica ativa foi empregada em todos os traços como parte do material aglomerante, sendo escolhida com a ambição de obter-se uma melhoria da zona de transição entre a matriz de cimento e o resíduo de borracha de pneus e adicionada na porcentagem de 8% da massa total do material aglomerante. Suas características químicas e físicas analisadas estão de acordo com a NBR 13956 – ABNT (1997).

Na análise dos agregados, a borracha de pneu foi submetida ao ensaio de determinação de massa específica, tendo-se como base a NBR NM 23 – ABNT (2001), podendo constatar o valor de 1,15g/cm³, e cuja massa unitária solta foi determinada segundo a NBR 7251 (ABNT, 1982), resultando no valor de 0,32g/cm³.

A caracterização granulométrica da borracha de pneu é de difícil obtenção, uma vez que suas partículas não são na totalidade do tipo granular, entretanto utilizou-se a análise tradicional, segundo a NBR 7217 – ABNT (1993a), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classificação Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu.

Classificação Granulométrica do Resíduo de Borracha de Pneu				
Peneiras Normais e Auxiliares		Resíduo de Borracha de Pneu		
Denominação	Abertura	%	Denominação	Obs.:
1/4"	6,3	1,9	B. Muito	Não
Nº 8	2,38	45,9	Borracha	-
Nº 16	1,19	27,2	Borracha	-
Fundo	0,075	25,0	Borracha	-

Com relação à granulometria da areia utilizada, proveniente do rio Paraná, sua análise foi feita segundo a NBR 7217 – ABNT (1993a). O agregado graúdo escolhido foi uma brita de origem

basáltica denominada comercialmente brita 1 e sua análise granulométrica foi realizada segundo a NBR 7217 – ABNT (1993a).

Este trabalho baseia-se no método desenvolvido pelo pesquisador canadense AÏTCIN (2000), denominado “Método Aïtcin”. Este método é baseado no critério do valor absoluto, sendo o fluxograma mostrado na Figura 2.

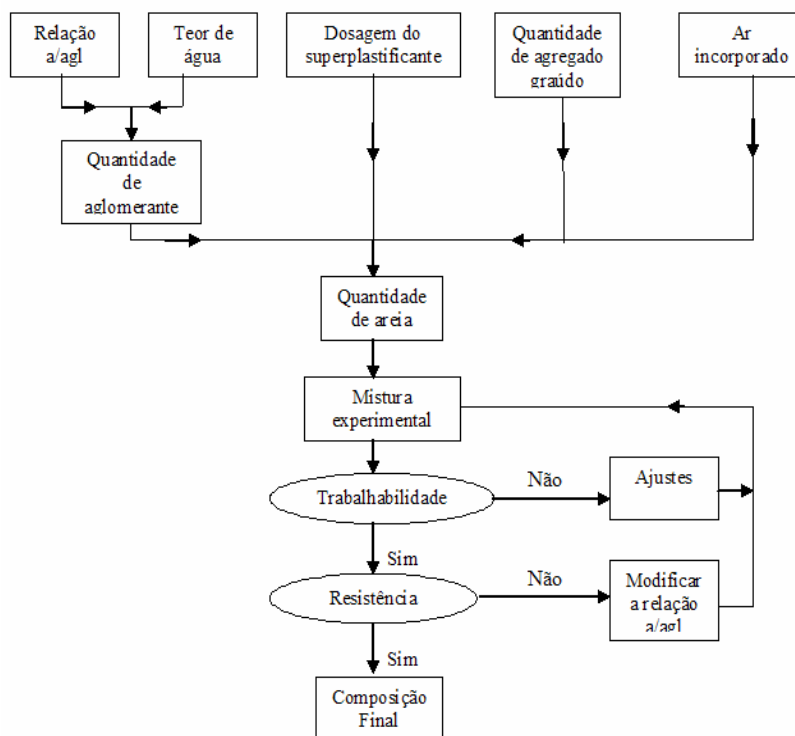


Figura 2. Fluxograma do Método Aïtcin de dosagem.

Fonte: AÏTCIN (2000, p.266)

Desta forma, foram realizadas dosagens variando a porcentagem de borracha em 0%, 3% e 5%, com diferentes granulometrias (fina, média e grossa), cujo concreto de controle é o de 0%. As dosagens de borracha foram de 3 % e 5% do volume de um m³ de concreto, em substituição de parte do agregado miúdo. A relação água/cimento (a/c) foi fixada em 0,25 em todos os casos.

O superplastificante é adotado como sendo 1,20% em relação ao peso do cimento para todos os traços, sendo estipulado o montante de substituição da sílica ativa, com relação à massa do aglomerante, em 8% para todos os traços.

Com base nestes procedimentos viabilizou-se a execução dos seguintes traços com a borracha:

- Traço composição PADRÃO;
- Traço composição MODIFICADA 3 % borracha FINA;
- Traço composição MODIFICADA 3 % borracha MÉDIA;
- Traço composição MODIFICADA 3 % borracha GROSSA;

- Traço composição MODIFICADA 5 % borracha FINA;
- Traço composição MODIFICADA 5 % borracha MÉDIA;
- Traço composição MODIFICADA 5 % borracha GROSSA.

De acordo com a NBR 12821 – ABNT (1993b) foram produzidos os concretos em betoneiras de eixo inclinado com capacidade para 120 e 360 litros onde a moldagem e a cura dos corpos-de-prova foram feitas segundo a NBR 5738 – ABNT (2003a), contando todos com mesa vibratória. Os corpos-de-prova cilíndricos utilizados possuem dimensões de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, sendo depois da desmoldagem dos corpos-de-prova, colocados em câmara úmida com umidade e temperatura controlada, ficando até a data da realização do respectivo ensaio.

Foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido. Os ensaios no estado fresco são: o abatimento do tronco do cone, aonde avaliou-se a consistência do concreto, de acordo com a NBR NM 67 – ABNT (1998); a averiguação dos teores de ar incorporado a partir de um medidor de pressão, em acordo com a NBR NM 47 –ABNT (2002); a massa específica, conforme a NBR 9833 – ABNT (1987b) e a temperatura, sendo controlada após a retirada da betoneira Os ensaios no estado endurecido corresponde a resistência à compressão, segundo a NBR 5739 – ABNT (1994a) sendo utilizados três corpos-de-prova, nas idades de 3, 7 e 28 dias, observando que anteriormente ao ensaio da resistência à compressão os corpos-de-prova foram capeados com composto de enxofre de alta resistência, a fim de tornar suas faces planas e paralelas, isentando-os de possível excentricidade quando da aplicação do carregamento.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos com o abatimento do tronco de cone, determinou-se o comportamento apresentado no gráfico da Figura 3.

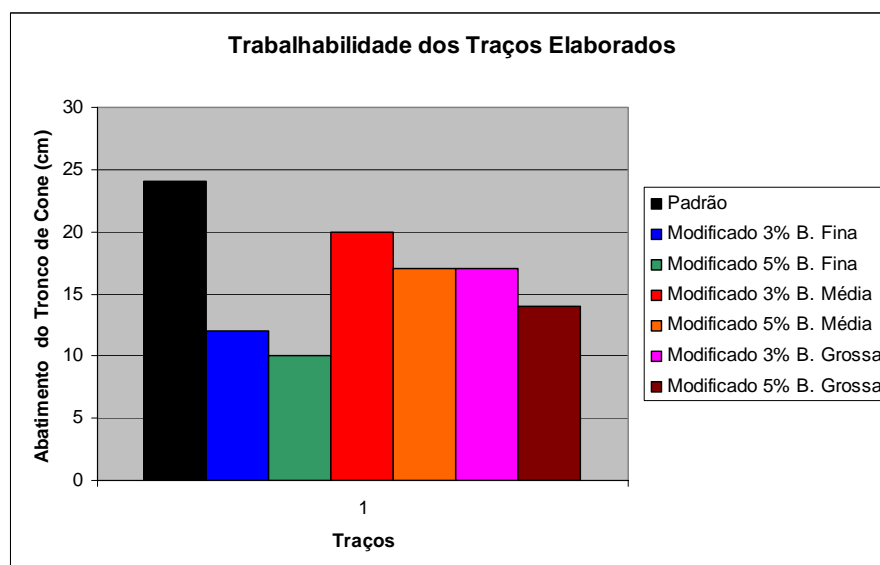


Figura 3. Trabalhabilidade de diversos traços elaborados.

Sendo assim possível a análise da trabalhabilidade do CAD sem adição de borracha cujos resultados apresentaram índices satisfatórios. O CAD com adição de borracha, pode-se observar que houve influência significativa da granulometria da borracha, notando uma perda considerável na trabalhabilidade, principalmente na granulometria fina, porem nota-se que o traço com borracha média apresenta resultados interessantes, com uma diminuição é menos pronunciada; o traço modificado com 3% de borracha média é o que apresenta melhor trabalhabilidade com relação aos demais.

Verifica-se ainda que o CAD com granulometria grossa, além de apresentar uma trabalhabilidade razoável, conduz a dificuldades para o acabamento da superfície dos corpos-de-prova.

O teor de ar incorporado ao CAD sem e com a presença de borracha são iguais a 1,5%, entretanto, com relação a massa especifica no seu estado fresco os valores obtidos foram respectivamente de 2547Kg/m³ e 2498Kg/m³, determinando uma redução de apenas 2% da massa especifica do CAD com borracha em relação ao CAD referência. A temperatura foi controlada após o amassamento, resultando em 28,2°C no caso do CAD sem borracha e 27,8°C para o CAD com borracha. Essas leituras foram realizadas através de um termômetro digital.

Na avaliação dos concretos de alto desempenho quanto à resistência a compressão utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade de 100 toneladas. A Figura 4 aborda a evolução da resistência à compressão para os respectivos traços da Figura 3, sendo que cada valor apontado é resultado da média de três corpos-de-prova sob a resistência nas idades 3, 7 e 28 dias.

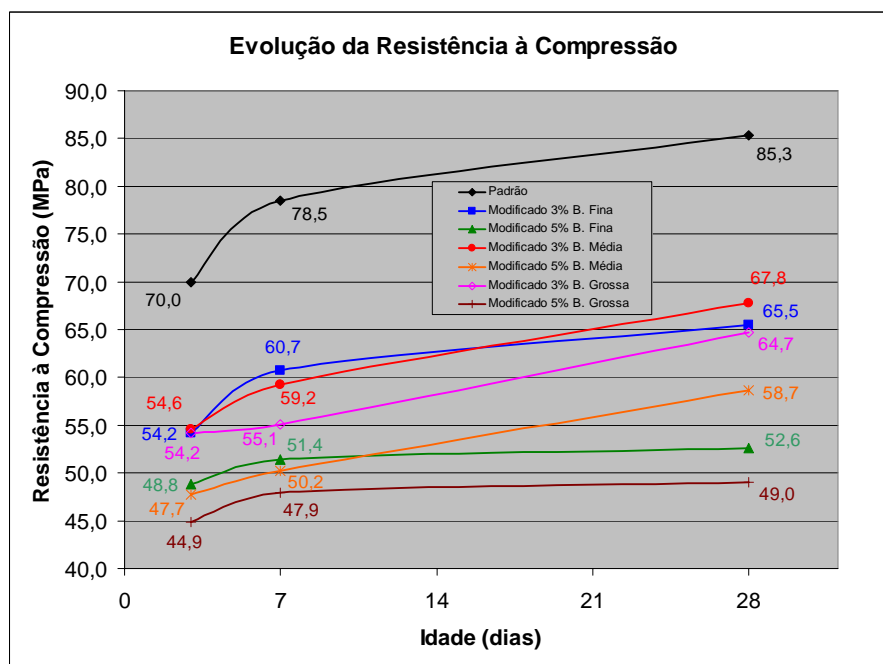


Figura 4. Evolução da resistência à compressão de diversos traços.

Analisando a Figura 4, pode-se destacar:

- O traço padrão atendeu a expectativa de dosagem quanto a elaboração de um CAD que extrapolasse os 80 MPa de resistência à compressão aos 28 dias;
- Como era previsto pela revisão bibliográfica ocorreu a diminuição da resistência à compressão com a inserção da borracha, haja visto que os traços com adição de 5% de borracha apresentaram menores valores de resistência à compressão em comparação aos valores obtidos para os traços com 3% de adição, os quais por sua vez foram inferiores aqueles do traço padrão;
- De modo geral, a porcentagem de redução de resistência à compressão observada nos traços com adição de 3% de borracha em relação ao traço padrão, está em torno de 20% a 25%. Entretanto os valores indicativos da resistência à compressão para tais traços são sem dúvidas pertencentes ao grupo de concretos de alto desempenho;
- Em contrapartida a esta redução de resistência à compressão, logo em primeiro plano, foi possível observar, em relação ao traço padrão, a redução da fragilidade no comportamento de ruptura em todos os traços do grupo modificado, ou seja, com adição de borracha.
- Para todos os traços elaborados as rupturas foram do tipo transgranular, ou seja, a ruptura atravessou os agregados graúdos;
- Quanto aos concretos de alto desempenho pertencentes aos traços denominados de modificado 5%, os respectivos valores de resistência à compressão demonstraram uma maior tendência de distinção devido à granulometria de borracha empregada;
- Evidenciando dentre os traços com adição de 5% de borracha aquele proveniente de borracha média, o qual apresentou o aumento mais significante da resistência à compressão;

CONCLUSÕES

A inserção de resíduos de borracha de pneu resulta na diminuição da resistência à compressão do CAD. Entretanto, os valores de resistência à compressão para concretos de alto desempenho adicionados sob baixas porcentagens destes resíduos mantêm-se em significativos patamares dentre os concretos de alto desempenho.

Tendo como base os valores de resistência à compressão, obtidos para os concretos de alto desempenho com 3% e 5% de adição de resíduos de borracha de pneu, a inserção máxima destes resíduos na produção de CAD estaria por volta de 8% do volume de um metro cúbico.

De modo geral, a porcentagem de redução de resistência à compressão observada na nos traços de CAD com adição de 3% de borracha, está em torno de 20%. No entanto, o comportamento de ruptura do CAD com adição de resíduos de borracha de pneu é diferenciado, no que diz respeito à fragilidade apresentada pelos concretos de alto desempenho.

Com a elevação da porcentagem de resíduos de borracha de pneu no CAD, nota-se uma tendência de influência da granulometria do resíduo empregado, nos valores de resistência à compressão.

A trabalhabilidade dos concretos moldados foi visivelmente alterada com a adição de borracha de pneu, e não só existe uma alteração do CAD com borracha para o sem, como existe também, diferenças de trabalhabilidade entre as variadas granulometrias e porcentagens de borracha no CAD.

De modo geral, analisando o comportamento de ruptura dos corpos-de-prova de CAD com adição de resíduos, em relação ao CAD sem resíduos, quando submetidos à compressão, sofrem significativas alterações que demonstram a efetiva participação física dos resíduos de borracha de pneu na contensão da falha global dos corpos-de-prova. Contudo, com os ensaios disponíveis e realizados no programa experimental desta pesquisa, não foi possível quantificar tal contribuição, mas se faz notório o aumento na capacidade de absorção de energia (tenacidade).

Com os resultados obtidos, verifica-se que existe a possibilidade de que este resíduo aplicado seja não só um paliativo da preservação do meio ambiente, como também um contribuinte em potencial para o desenvolvimento das novas tecnologias do concreto.

AGRADECIMENTOS

- FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo;
- Laboratório CESP de Engenharia Civil;
- Votorantim Cimentos, Camargo Corrêa/CAUÊ;
- Sika do Brasil;
- Porto de Areia São Judas, Mineração Noroeste Paulista;
- REGIGANT - Recuperadora de Pneus;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AÏTCIN, P. C. *Concreto de alto desempenho*. 1ªed. São Paulo: PINI, 2000. 667p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5738*: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 5739*: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7217*: agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1993a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7251*: agregado em estado solto – Determinação da Massa Unitária. Rio de Janeiro: ABNT, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 9833*: concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 1987b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 11578*: cimento Portland composto. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 12821*: preparação de concreto em laboratório; especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1993b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 13956*: sílica ativa para uso em cimento Portland, concretos, argamassas e pasta de cimento Portland; Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR NM 23*: cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR NM 47*: determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico; procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR NM 67*: concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone; procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

OLIVARES, F.H.; BARLUENGA, G. Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*. v. 34, p. 109-117, 2004.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J. L. Mechanical characterisation of cement based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. *Building and environment*, p.1-6, 2004.

SEGRE, N.; JOEKES, I. Use of tire rubber particles as addition cement paste. *Cement Concrete and Research*, v.30, p.1421-1425, 2000.