



CONCRETO COM RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU: ADIÇÃO DE SUPERPLASTIFICANTE PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO

João V. Fazzan (1); Rogério C. A. Souza (2); Jorge Luís Akasaki (3); José Luiz P. Melges (4); Jorge J. P. Bernabeu (5); Maria Victoria B. Rosado (6)

- (1) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: jvfazzan@hotmail.com
- (2) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: rogeriosou@aluno.feis.unesp.br
- (3) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: akasaki@dec.feis.unesp.br
- (4) Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil – e-mail: jlmelges@dec.feis.unesp.br
- (5) Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) – Universidad Politécnica de Valencia, UPV, Espanha – e-mail: jjpaya@cst.upv.es
- (6) Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH) – Universidad Politécnica de Valencia, UPV, Espanha – e-mail: vborrachero@cst.upv.es

RESUMO

Resíduos sólidos são objetos que ocupam grande volume e que precisam ser armazenados em condições apropriadas para que riscos ao meio ambiente possam ser evitados. Estudos com resíduos de borracha de pneu têm sido realizados, com o intuito de reduzir a poluição ambiental e obter melhorias nas propriedades do concreto fresco e endurecido. No entanto, as pesquisas têm demonstrado que o concreto com adição de resíduo de borracha de pneu possui resistência mecânica à compressão inferior à do concreto convencional. Sendo assim, para manter o mesmo nível de resistência, é necessário aumentar o consumo de cimento, ou seja, reduzir o fator água/cimento. Deste modo, uma alternativa a essa redução pode ser a utilização de aditivos superplastificantes. Métodos de dosagem desenvolvidos por Helene & Terzian (1993) e por O'Reilly Díaz (1998) foram utilizados. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostram que as resistências à compressão, aos 28 dias, dos corpos de prova feitos com o concreto convencional são equivalentes às dos que possuem resíduos, além de também ter sido observada uma redução do aumento de consumo de cimento causado pela inclusão do resíduo de borracha de pneu.

Palavras-chave: concreto, dosagem, resíduo de borracha, superplastificante.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Resíduo de Borracha de Pneu

Um dos vários problemas que a humanidade vem enfrentando no início do século XXI é a dificuldade da destinação correta dos resíduos. Dentre esses resíduos, encontram-se os pneus inservíveis, objetos que ocupam grande volume e que precisam ser armazenados em condições apropriadas para evitar riscos de incêndio e proliferação de insetos e roedores. Além disso, os pneus são combustíveis e queimam em altas temperaturas, produzindo grandes quantidades de fumaça negra e óleo que penetram e contaminam solos e lençóis d'água.

O descarte de pneus velhos chega a atingir 800 milhões, anualmente. Nos países da União Europeia, são descartados 180 milhões por ano, e outros 150 milhões somente nos Estados Unidos, onde se estima que 3 bilhões de pneus acumulados estariam sob risco de incêndios que liberariam gases tóxicos na atmosfera (RECICLOTECA, 2006). No Brasil, segundo Anip (2007), em 2006, foram 54,5 milhões de unidades de pneus produzidos e, apesar da proibição da importação, entraram no País 7,2 milhões de pneus usados.

Por outro lado, Bazani (2009) salientou que o Brasil ocupa o segundo lugar no ranking mundial de recauchutagem de pneus, o que lhe confere uma posição vantajosa junto a vários países na luta pela conservação ambiental.

Considerando que os materiais empregados nas construções ainda são os principais responsáveis pelo custo das obras, alguns materiais alternativos, como a borracha reciclada de pneu inservível proveniente do processo de recauchutagem, pode apresentar propriedades técnicas que se tornam interessantes para seu uso em aplicação como agregado ao concreto.

Como relataram Lima e Rocha (2000) apud Fioriti (2002), a principal propriedade da borracha é sua elasticidade, embora possua outras propriedades também consideradas importantes, como a impermeabilidade, flexibilidade, resistência à abrasão e à corrosão.

A adição de borracha ao concreto aumenta sua capacidade de deformação sem o surgimento de fissuras. As fibras de borracha, por serem um material altamente elástico, têm a tendência de contribuir para melhor adequação da elasticidade e com isso atuam como obstáculos para a propagação de fissuras. Trata-se de uma propriedade importante, pois a ruptura de corpos de prova se dá mediante o surgimento de fissuras, que comprometem a sua capacidade de suportar esforços.

Entretanto, a maioria das pesquisas têm demonstrado que o concreto com adição de borracha possui resistência mecânica inferior ao concreto convencional, além da queda na trabalhabilidade das misturas causada pela inclusão da borracha.

Batayneh, Marie e Asi (2008) avaliaram as principais influências nas propriedades dos concretos frescos e concretos endurecidos utilizando de partículas de pneus inservíveis para substituições de 20%, 40%, 60%, 80% e 100% em volume de areia, sendo que o tamanho das partículas variou de 4,75mm a 0,15mm. As análises mostraram que, para um aumento das partículas de borracha até um limite de 40%, houve-se uma perda de cerca de 50% da resistência à compressão, enquanto que, para o índice de borracha acima de 40%, a força continuou a reduzir até 90%. Também foi observada uma redução nas resistências à tração, de forma que, ao contrário de outros estudos, a taxa de perda de força de compressão seguiu a mesma tendência da taxa de perda de forças à tração.

Para analisar o comportamento da resistência à compressão dos concretos com resíduo de borracha, Giacobbe (2008) verificou a compatibilidade dos resultados à curva de Abrams, adicionando o volume de borracha na relação água/cimento. O autor concluiu que, quanto maior a relação água/cimento e o teor de borracha, menor será sua resistência à compressão, atendendo assim a teoria de Abrams.

Segundo Uygunoglu e Topcu (2010), as superfícies rugosas das partículas de borracha causam uma redução da trabalhabilidade das argamassas. Os autores verificaram que alterações no teor de borracha e na relação água/cimento influenciaram diretamente a trabalhabilidade das misturas.

Além disso, Freitas (2007) constatou que, para adições de 10% de resíduo de borracha em substituição à massa de areia, o abatimento obtido foi tão baixo que impossibilitou a dosagem dos concretos com adição de 15 e 20% de resíduo.

França (2004) estudou a viabilidade de concretos com adição de resíduos de borracha para fins estruturais, utilizando 10% dos resíduos em substituição parcial (volume) do agregado miúdo. O autor verificou que, mantendo a relação água/cimento e o abatimento, fez-se necessário um aumento no consumo de cimento de 9,3% (295,57 Kg/m³ para o concreto referência e 325,80 Kg/m³ para o concreto com adição de resíduo), a fim de garantir as mesmas propriedades no estado fresco. No entanto, houve uma redução das características mecânicas (tensões de compressão e tração).

Um estudo de dosagem de concretos com adição de resíduos para substituições de 12% em volume de agregado miúdo foi realizado por Trigo (2008). Os resultados indicaram que, para que os traços sem e com resíduo tivessem uma resistência à compressão próxima entre si, a adição de resíduos de borracha de pneu nos concretos provocou um aumento no consumo de cimento da ordem de 18%.

Analizando os efeitos causados pela inclusão do resíduo de borracha ao concreto, fica explícito que, para que seja mantida a resistência mecânica de concretos com e sem adição de resíduo, o fator água/cimento das misturas com resíduo de borracha deve ser reduzido. Entretanto, tal medida vem a causar uma queda da trabalhabilidade das misturas, o que torna-se necessário o emprego de aditivos químicos para que tais efeitos possam ser minimizados.

1.2 Aditivos Superplasticificantes

Os aditivos são substâncias que, adicionadas ao concreto (proporções não maior que 5%), têm a capacidade de melhorar certas características do concreto no estado fresco e/ou no estado endurecido.

Um dos maiores avanços na tecnologia do concreto tem sido o desenvolvimento de aditivos superplasticificantes, pois têm permitido, entre outros, a produção de concretos duráveis, de alta resistência e de concretos fluidos (HARTMANN; HELENE, 2003). Além disso, os aditivos superplasticificantes têm a finalidade de reduzir o consumo de cimento da mistura, mantendo a consistência e a resistência à compressão, o que garante uma redução nos custos, na retração, fluência e tensões térmicas.

O efeito dispersante do superplasticificante provoca uma melhor distribuição das partículas de cimento e, portanto, uma melhor hidratação do mesmo. Segundo Mehta e Monteiro (2008), o superplasticificante pode aumentar a resistência inicial do concreto. O aumento de resistências à compressão a um, três e sete dias é especialmente importante na indústria de concreto pré-moldado, onde altas resistências iniciais são necessárias para a reutilização rápida das fôrmas.

Um fator importante a ser observado em relação ao uso de aditivos superplasticificantes é a dosagem a ser empregada, de forma a não gerar incompatibilidade com o cimento, o que pode levar a efeitos adversos no concreto. Segundo Melo *et al.* (2009), a verificação da ocorrência de problemas de incompatibilidade exige uma avaliação de cada combinação entre cimento e aditivo disponível.

Lopes *et al.* (2006), ao realizar um estudo de dosagem de concretos com resíduo de borracha utilizando aditivo superplasticificante, verificaram que os resultados de abatimento mantiveram-se bem próximos, comprovando a eficiência do aditivo empregado. Além disso, o autor concluiu que a adição de aditivo é proporcional ao aumento da relação água/cimento, de forma que essa cresce com o aumento da relação A/C. Isso prova que grandes quantidades de água dificultam a ação do aditivo.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a aplicação de aditivos superplasticificantes em concretos com adição de resíduo de borracha de pneu, visando obter, para os concretos com e sem resíduo de borracha, resistências à compressão próximas, sem um aumento significativo do consumo de cimento decorrente da inclusão da borracha.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento

Os cimentos utilizados foram o CP V-ARI Plus Holcim (para peças pré-moldadas) e o CP II Z 32 Itaú (comercialmente vendido na região noroeste do Estado de São Paulo). Estes foram caracterizados tanto física quanto quimicamente, atendendo os requisitos especificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados de massa específica absoluta e aparente dos cimentos encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Massa Específica Absoluta e Aparente dos cimentos utilizados nas misturas de concreto

	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Massa Específica Absoluta (g/cm ³)
Cimento CP V-ARI Plus	1,05	3,03
Cimento CP II Z 32	1,09	3,11

3.1.2 Agregados

Na fabricação dos concretos convencionais e com resíduo de borracha, utilizou-se como agregado miúdo a areia natural, classificada como areia média. Como agregado graúdo, foi utilizada uma brita de origem basáltica. Os resultados de caracterização dos agregados encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização dos Agregados Miúdo e Graúdo

	Ø máx (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica S.S.S (g/cm ³)	Massa Específica Aparente (g/cm ³)	Absorção (%)	Pulverulento (%)	Matéria Orgânica
Miúdo	2,36	2,03	2,600	1,492	0,34	0,48	+ clara
Graúdo	19,0	6,91	2,929	1,595	1,22	0,36	---

3.1.3 Resíduo de Borracha de Pneu

Os resíduos de borracha de pneu foram fornecidos pela empresa recauchutadora REGIGANT – Recuperadora de Pneus Gigantes Ltda, situada na cidade de Ilha Solteira – SP. Após o recebimento do material, impurezas como fios de nylon e fios de aço foram retirados.

Para a confecção dos concretos, foi selecionada uma faixa granulométrica do resíduo a ser utilizado através de um processo de peneiramento classificatório. Assim, determinou-se um jogo de peneiras de modo a separar os resíduos de borracha de pneus em faixas granulométricas bem definidas, apresentando inclusive fácil distinção visual, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: 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 da ABNT	Abertura (mm)	% Retida	Denominação do Trabalho	Observação
1/4"	6,3	1,7	B. Muito Grossa	Não utilizada
N.º 8	2,38	27,8	Borracha Grossa	Utilizada
N.º 16	1,19	32,8	Borracha Média	Utilizada
Fundo	0,075	37,7	Borracha Fina	Utilizada

A Figura 1 ilustra os resíduos de borracha de pneu utilizados na pesquisa.

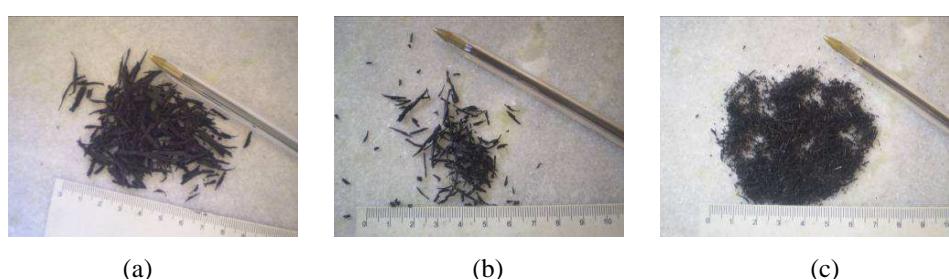


Figura 1 – (a) Borracha grossa (b) Borracha média (c) Borracha fina

Os resultados de caracterização do resíduo de borracha encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização do Resíduo de Borracha

Ø máx (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica Absoluta (g/cm ³)	Massa Específica Aparente (g/cm ³)
4,75	3,81	1,09	0,348

3.1.4 Aditivo Químico

Na pesquisa, foram empregados três tipos de superplastificantes do tipo policarboxilato, denominados A, B e C. Segundo dados fornecidos pelos fabricantes, os superplastificantes possuem massa específica de 1,10 g/cm³, 1,08 g/cm³ e 1,10 g/cm³, respectivamente.

3.1.5 Água

Utilizou-se água potável proveniente da rede de tratamento público da cidade de Ilha Solteira – SP.

3.2 Métodos Experimentais

3.2.1 Método de Dosagem de Concreto IPT/EPUSP Helene & Terzian

O início do estudo experimental partiu da avaliação preliminar, com mistura em betoneira do traço 1:5 (cimento: agregados secos totais, em massa). Baseados nas informações obtidas desta mistura, confeccionam-se mais duas, com traços definidos em 1:3,5 (traço rico) e 1:6,5 (traço pobre), para possibilitar a montagem do diagrama de dosagem, que correlaciona resistência à compressão, relação água /cimento, traço e consumo de cimento. A partir dos dados referentes, conduziu-se à obtenção do traço definitivo.

3.2.2 Método de Dosagem de Concreto de Elevado Desempenho – Vitervo O'Reilly Díaz

O'Reilly Díaz (1998) propõe o método de dosagem de Concreto de Elevado Desempenho, baseando-se na determinação correta das características dos agregados.

Primeiramente, determina-se, pelo método experimental, a relação ótima entre agregado miúdo e graúdo através do ensaio da Massa Compactada Unitária (MUC_m). De acordo com a Massa Específica das misturas e o Índice de Vazios, é encontrada a proporção de materiais que possui a maior massa compactada e a menor porosidade.

Molda-se, então, um concreto convencional, com a quantidade de água necessária para obter a consistência requerida da mistura. A partir de algumas formulações e tabelas elaboradas pelo autor, determina-se o consumo de cimento reduzido para o novo traço de concreto, considerando a resistência de projeto requerida, e que permite obter o traço solução.

3.3 Estudo das composições dos concretos

Definiram-se para os concretos convencionais e com adição de borracha de pneu os seguintes parâmetros: resistência à compressão, aos 28 dias de idade, acima de 25MPa; fixação do abatimento em 7 + 1 cm e teor de ar incorporado de 15 l/m³. Os traços finais de concreto foram atribuídos como:

TC – Z 32: Traço de concreto sem resíduo de borracha confeccionado com cimento CP II Z 32.

TR – Z 32: Traço de concreto com resíduo de borracha confeccionado com cimento CP II Z 32.

TC – ARI: Traço de concreto sem resíduo de borracha confeccionado com cimento CPV-ARI Plus.

TR – ARI: Traço de concreto com resíduo de borracha confeccionado com cimento CPV-ARI Plus.

3.3.1 Concreto sem Adição de Resíduo de Borracha (Referência)

Verificou-se que, para o concreto elaborado com cimento CPV-ARI Plus (TC – ARI), o método proposto por O'Reilly Díaz (1998) se mostrou eficiente, conduzindo a uma redução significativa do consumo de cimento, se comparado com outras pesquisas.

Porém, para o concreto referência com cimento CP II Z 32, não houve uma redução significativa do consumo de cimento, se comparado com o concreto que serve como base para a aplicação das formulações de O'Reilly Díaz (1998). Portanto, para o traço TC – Z 32, foi utilizado o Método IPT/EPUSP Helene & Terzian, considerando o desvio padrão do método (5,5 MPa).

Definem-se as composições finais dos traços referência na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição final dos traços referência

Materiais	Traço TC - ARI	Traço TC - Z 32
	Consumo (Kg/m ³)	
Água	185,0	198,0
Cimento	280,0	335,0
Areia	800,0	877,0
Brita	1172,0	1000,0
Relações	Índices	
Relação (1:m)	7,66	6,28
Teor de Argamassa (%)	50,0	55,0
Volume de Argamassa (%)	60,0	65,8
Água/Cimento (A/C)	0,661	0,591

3.3.2 Concreto com Adição de Resíduo de Borracha

A substituição de agregados pela borracha de pneu foi feita em 10% em volume do agregado miúdo.

Para o alcance da resistência mínima dos concretos com resíduos, foi observado, de acordo com a aplicação dos dois métodos de dosagem, um aumento excessivo no consumo de cimento, mostrando sua inviabilidade de acordo com o propósito da pesquisa.

Dessa forma, os métodos de dosagem acima citados foram empregados na determinação do teor de argamassa das misturas. Para os maiores teores de argamassa observados (57%), aplicou-se o Método IPT/EPUSP Helene & Terzian, enquanto que, para os teores de 52,2%, empregou-se o método da Massa Compactada Unitária (MUC_m) para a mistura de brita+areia+borracha.

Além disso, para a redução do fator água/cimento, foram utilizados aditivos superplasticificantes, com o intuito de obter misturas mais trabalháveis e sem a presença de segregação e exsudação.

Foi estudada a possibilidade da permanência ou o aumento do consumo de cimento em relação ao consumo do concreto referência. As composições dos concretos com adição de resíduos estão definidas na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição final dos traços com adição de Resíduo de Borracha de Pneu

Traço/Superplasticificante	TR ARI Sup. A	TR Z 32 Sup. A	TR ARI Sup. B	TR Z 32 Sup. B	TR ARI Sup. C	TR Z 32 Sup. C	TR Z 32 * Sup. C
Materiais	Consumo (Kg/m ³)						
Água	135,0	140,0	135,0	140,0	125,0	130,0	133,0
Cimento	280,0	335,0	280,0	335,0	310,0	360,0	350,0
Areia	897,1	854,8	897,1	854,8	811,0	772,6	776,5
Brita	1070,5	1064,3	1070,5	1064,3	1204,1	1197,1	1192,9
Resíduo de Borracha	51,3	48,9	51,3	48,9	37,8	36,0	36,2
Relações	Índices						
Relação (1:m)	8,20	6,82	8,20	6,82	7,41	6,36	6,55
Teor de Argamassa (%)	57,0	57,0	57,0	57,0	52,2	52,2	52,2
Volume de Argamassa (%)	63,5	63,7	63,5	63,7	58,9	59,1	59,3
Superpl. (% peso cimento)	0,95	1,05	0,61	0,60	0,65	0,54	0,48
Água/Cimento (A/C)	0,482	0,418	0,482	0,418	0,403	0,361	0,380

*Traço com resíduo de borracha, considerando um aumento no consumo de cimento de 350 Kg/m³ para 360 Kg/m³ em relação ao traço TR Z 32 Sup. C.

3.4 Procedimentos Aplicados às Composições dos Concretos

3.4.1 Mistura

Os materiais foram introduzidos na betoneira na seguinte ordem:

Primeiramente, com a betoneira desligada, foram inseridos os agregados miúdo (juntamente a borracha, para os traços com resíduos), graúdo e aproximadamente 50% da água de amassamento. Em seguida, esta foi ligada por um minuto para a mistura dos materiais citados.

Posteriormente, adicionou-se o cimento e o restante da água de amassamento, ligando a betoneira por mais três minutos, que foram seguidos de três minutos de descanso. Como etapa final, adicionou-se o aditivo superplasticante (para os traços com resíduos), sendo definidos os tempos para mistura:

- Concreto referência: ligou-se a betoneira por mais três minutos (sem aditivo superplasticante).
- Concreto com resíduo e superplasticante A: ligou-se a betoneira por mais dez minutos.
- Concreto com resíduo e superplasticante B: ligou-se a betoneira por mais quatro minutos, que foram seguidos de três minutos de descanso. Por fim ligou-se a betoneira por mais um minuto.
- Concreto com resíduo e superplasticante C: ligou-se a betoneira por mais cinco minutos.

3.4.2 Índice de Consistência, Adensamento, Cura e Ensaio de Resistência à Compressão

Após a retirada do concreto da betoneira, realizaram-se os ensaios de Abatimento do Tronco de Cone. A moldagem dos corpos de prova foi realizada em fôrmas cilíndricas de dimensões 10cmx20cm e o adensamento em mesa vibratória. Após a desforma, os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida até as idades de ruptura, sendo utilizadas três amostras para cada idade.

Após o capeamento dos corpos de prova com uma mistura de enxofre (60%) e pozolana (40%), foi realizado o ensaio de resistência à compressão aos 7 e 28 dias, segundo a NBR 5739 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2007).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Concreto sem Adição de Resíduo (Referência)

De acordo com os resultados obtidos, os métodos de dosagem empregados se mostraram eficientes para a obtenção da resistência requerida.

Para o concreto com cimento CPV-ARI Plus, foi utilizado o método proposto por O'Reilly Diaz (1998), sendo encontrada uma redução no consumo de cimento de 350 Kg/m³ (no traço que serve como base de aplicação de suas formulações) para 280 Kg/m³ (traço final).

O método proposto por Helene & Terzian (1993) foi aplicado nas composições dos traços com cimento CP II Z 32, para um consumo de cimento de 335Kg/m³ e teor de argamassa ideal de 55%.

De maneira geral, a trabalhabilidade dos concretos se mostrou adequada para tais fins de aplicação. A evolução da resistência à compressão para os concretos referência pode ser visualizada no Gráfico 1.

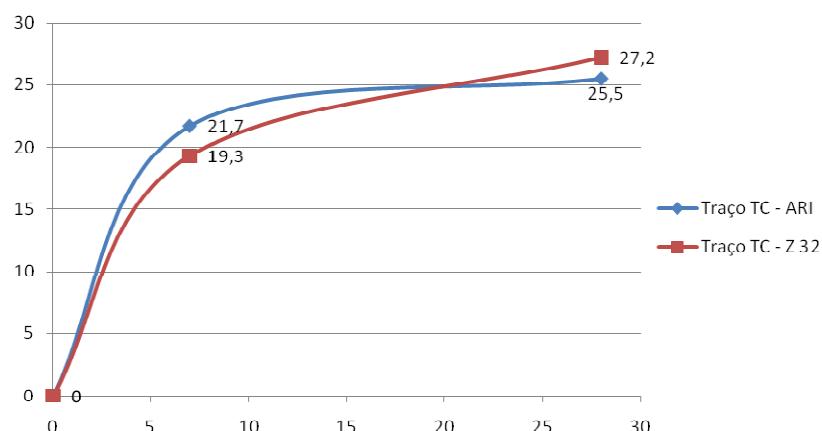


Gráfico 1: Evolução da resistência à compressão dos concretos referência

4.2 Concreto com Adição de Resíduo de Borracha

Inicialmente, para o uso dos aditivos superplasticantes A e B, foi utilizado um teor de argamassa de 57%, obtido pelo método de Helene & Terzian (1993), uma vez que parte da borracha seria responsável por reduzir o consumo de areia; dessa forma, tornou-se necessário aumentar o teor de argamassa em relação aos traços referência.

Os concretos elaborados com aditivo superplasticante A apresentaram boa trabalhabilidade, com perda de consistência pouco expressiva e ausência de segregação e exsudação. Porém, o tempo de mistura dos materiais se aproximou dos 20 minutos, muito além do tempo requerido para mistura dos concretos convencionais estudados na construção civil.

Para os traços com adição de superplasticificante B, quando adicionados numa única vez, uma perda de abatimento e exsudação excessivas foram observadas. Dessa forma, um novo processo de mistura foi elaborado, porém não demonstrou ser um método viável para tal aplicação, além do que, na moldagem dos corpos de prova, verificou-se uma perda de consistência excessiva.

A trabalhabilidade do concreto com adição de superplasticificante C se mostrou adequada, sem perda de consistência durante o ensaio de Abatimento do Tronco de Cone e moldagem dos corpos de prova, além da ausência de segregação e exsudação.

De acordo com a Tabela 7, observa-se que, em comparação com as resistências aos 7 dias para o concreto referência, o traço com resíduo de borracha que mais se aproxima do comportamento no ganho de resistência para alcançar 25 MPa aos 28 dias é o traço com adição do superplasticificante C, se mostrando o mais eficiente na combinação com os cimentos estudados. Em geral, verificou-se que os abatimentos mantiveram-se bem próximos para todos os aditivos superplasticificantes empregados.

Portanto, optou-se por conduzir os ensaios de resistência à compressão aos 28 dias somente para as amostras elaboradas com o superplasticificante C. O Gráfico 2 mostra a evolução da resistência à compressão para os concretos elaborados com o superplasticificante C.

Tabela 7: Resistência à compressão dos concretos com resíduo

Traço/ Superplasticificante	TR-ARI Sup. A	TR-Z 32 Sup. A	TR-ARI Sup. B	TR-Z 32 Sup. B	TR-ARI Sup. C	TR-Z 32 Sup. C	TR-Z32* Sup. C
Tensão de Compressão Média (MPa) aos 7 dias	15,2	14,8	14,6	14,4	21,8	22,9	18,0
Abatimento (cm)	6,9	6,4	6,7	7,9	7,1	7,5	6,8

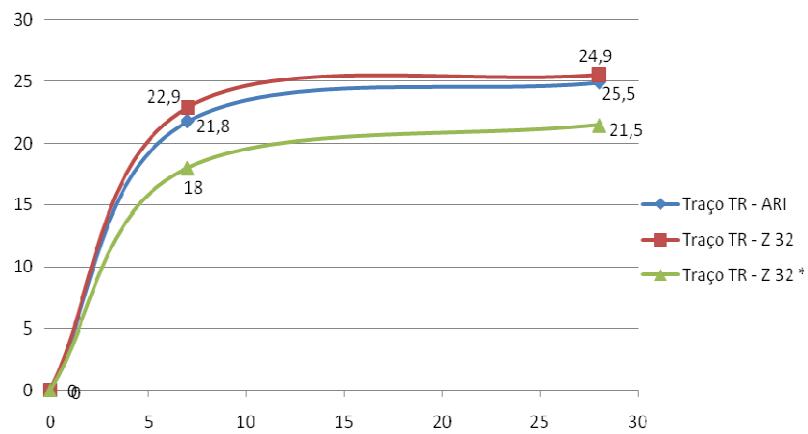


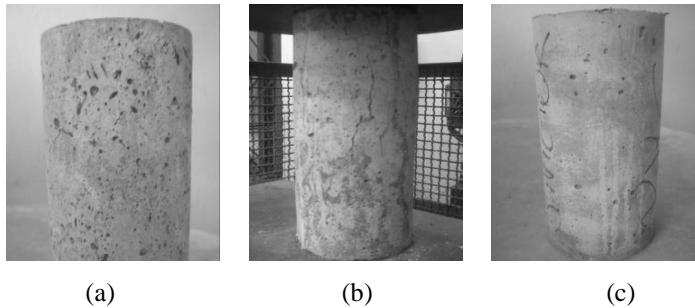
Gráfico 2: Evolução da resistência à compressão dos concretos com adição de Resíduo e Superplasticificante C

Observa-se que as amostras de concreto para os traços TR – ARI, TR – Z 32 e TR – Z 32*, elaboradas com aditivo superplasticificante C, atingiram resistências finais próximas às dos concretos referência.

Embora tenha se verificado um aumento no consumo de cimento entre 6,9% (traço TR – Z 32) e 9,6% (traço TR – ARI) para os concretos com resíduo em relação aos traços referência, os resultados mostraram que tal consumo foi reduzido, se comparado com os consumos analisados na literatura.

Dessa forma, constatou-se a eficiência do aditivo superplasticificante C no ganho de resistência dos concretos com resíduos de borracha.

Na seqüência, realizou-se uma análise visual dos corpos de prova de concreto com adição de borracha, após serem submetidos ao ensaio de resistência à compressão (Figuras 2 e 3).



(a)

(b)

(c)

Figura 2: Porosidade excessiva e superfície irregular de corpos de prova com adição de Resíduo de Borracha para (a) superplastificante A (b) superplastificante B e (c) efeitos minimizados para superplastificante C

Os corpos de prova de concreto sem resíduo (referência) praticamente explodiram, fragmentando-se em vários pedaços, ao passo que o corpo de prova de concreto com adição de borracha preservou em parte sua integridade, como se estivesse sob efeito de confinamento. Este comportamento indica uma maior capacidade de absorção de energia por parte do concreto com borracha, comprovando os efeitos de tenacidade.



(a)

(b)

Figura 3: Comportamento na ruptura dos corpos de prova de prova de elaborados (a) sem adição de Resíduo de Borracha e (b) com adição de Resíduo de Borracha

5 CONCLUSÕES

Inicialmente, foram elaborados os traços sem adição de resíduo de borracha, o que permitiu concluir que os métodos de dosagem empregados conduziram com excelência à obtenção da resistência requerida. O abatimento do tronco de cone apresentou valores consistentes com as exigências de projeto, sem perda de consistência e ausência de segregação e exsudação.

Para os traços com adição de resíduo de borracha, foram utilizados três tipos de superplastificantes, nas quais o aditivo superplastificante C se mostrou o mais eficiente na combinação com os cimentos estudados. Além de garantir trabalhabilidade adequada e ausência de segregação e exsudação, os corpos de prova elaborados com resíduo e superplastificante C atingiram a resistência requerida, equiparando-se à resistência dos concretos sem resíduo.

Mesmo com o uso de superplastificante, foi necessário um aumento no consumo de cimento para os concretos elaborados com resíduo de borracha de pneu, em relação aos traços referência. Entretanto, os resultados mostraram que tal consumo foi reduzido, se comparado com os consumos analisados na literatura.

Os corpos de prova com resíduos de borracha submetidos ao ensaio de compressão apresentaram um comportamento diferenciado quanto à forma de ruptura. A inclusão da borracha proporcionou uma menor fragmentação das amostras, comprovando os efeitos da capacidade de absorção de energia em concretos com adição de resíduo de borracha de pneu.

6 REFERÊNCIAS

ANIP: Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. **Reciclanip**. Londrina, 2007. 2º Seminário Regional Sul de Resíduos Sólidos. Disponível em:<<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 6 Out. 2009

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**: concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos concreto. Rio de Janeiro, 2007. 9p.

BATAYNEH, M. K.; MARIE, I.; ASI, I. Promoting the use of crumb rubber concrete in developing countries. **Waste Management**, v. 28, p. 2171-2176, 2008.

BAZANI, A. **Descarte de pneus inutilizados: um problema com soluções óbvias e baratas, mas que ainda é um grande desafio para muitas empresas de transporte.** 2009. Disponível em: <<http://onibusbrasil.com/blog/2009/12/12/descarte-de-pneus-inutilizados-um-problema-com-solucoes-obvias-e-baratas-mas-que-ainda-e-um-grande-desafio-para-muitas-empresas-de-transporte>>. Acesso em 12 Jan. 2010.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria:** 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

FRANÇA, V. H. **Aderência aço concreto: uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha.** 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2004.

FREITAS, C. **Estudo do desempenho mecânico de concreto com adição de partículas de borracha para aplicação como material de reparo em superfícies hidráulicas.** 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GIACOBBE, S. **Estudo do comportamento físico-mecânico do concreto de cimento Portland com adição de borracha de pneus.** 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

HARTMANN, C. T.; HELENE, P. R. L. **Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2003. 22p.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** 1ºed. São Paulo: PINI, 1993. 349p.

LOPES, R. E.; VITA, M. O.; AKASAKI, J. L.; BARBOSA, M. B.; ALCÂNTARA, M. A. M. e FREITAS, I. R. M. **Estudo de Dosagens de Concretos com Resíduos de Borracha de Pneus Utilizando Aditivos Superplastificantes.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48, 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2006. 1 CD ROM.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. 3.ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674p.

MELO, C. A.; MARTINS, V. C.; REPETTE, W. L. Estudo de compatibilidade entre cimento e aditivo redutor de água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 45-56, Jan./Mar. 2009.

O'REILLY DÍAZ, VITERVO. **Método de dosagem de concreto de elevado desempenho.** São Paulo: Pini; Brasília, 1998. 122p.

RECICLOTECA. **A borracha e o pneu.** Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/3.htm>> Acesso em: 23 Jan. 2010.

TRIGO, A. P. M. **Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu.** 2008. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

UYGUNOGLU, T.; TOPÇU, I. B. The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars. **Construction and Building Materials**, 2010.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPESP, ao CNPq, ao LCEC – Laboratório CESP de Engenharia Civil, a empresa REGIGANT – Recuperadora de Pneus Gigantes Ltda, a Holcim Brasil, a Sika do Brasil, ao Porto de Areia Nossa Senhora Aparecida e a Pedreira Três Fronteiras.