

Adição de Borracha de Pneu ao Concreto Convencional e Compactado com Rolo

A.C. Albuquerque⁽¹⁾; W.P. Andrade⁽²⁾; N.P. Hasparyk⁽¹⁾; M.A.S. Andrade⁽¹⁾; R.M. Bittencourt⁽¹⁾

Resumo- A incorporação da borracha de pneu granulada ao concreto vem sendo estudada por muitos pesquisadores como uma alternativa para a destinação desse rejeito. Tem-se observado que a utilização da borracha de pneu prejudica o desempenho mecânico do concreto e esse fato é atribuído à fraca aderência entre as partículas de borracha e a pasta de cimento. Neste trabalho utilizaram-se aditivos poliméricos de base acrílica, vinílica e estireno-butadieno com o objetivo de criar pontes de ligação entre a borracha e a matriz de cimento. Foram testadas amostras de concreto convencional (CCV) e compactado com rolo (CCR) com adição de borracha de pneu de três diferentes granulometrias, em teores de 5% a 25%, submetidas ou não ao tratamento superficial com os aditivos, totalizando 62 diferentes condições estudadas. Observou-se que as amostras de concreto contendo partículas de borracha tratadas apresentaram melhor desempenho mecânico do que aquelas nas quais utilizou-se borracha sem tratamento. As partículas de borracha utilizadas na dimensão de 1,5 mm e 4,8 mm proporcionaram menor queda das propriedades estudadas, quando comparadas com a amostra de referência, do que as partículas utilizadas nas dimensões de 0,42 mm. As amostras foram também analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) a fim de correlacionar a microestrutura observada com os resultados obtidos.

Palavras-chave - Concreto; Borracha; Pneu; ; CCR.

I. INTRODUÇÃO

A disposição inadequada dos pneus usados traz sérias consequências para o meio ambiente e para a saúde humana. Geralmente são encontrados em aterros sanitários, lixões, estoques a céu aberto, beiras de estradas e rios. Diversas pesquisas tem sido realizadas com o objetivo de identificar formas viáveis de reutilização dos pneus inservíveis.

O uso da borracha de pneu moída na construção civil vem sendo estudada há alguns anos a fim de verificar sua viabilidade em aplicações tais como:

- isolamento térmico e acústico: utilização em paredes e coberturas, telhas de concreto, blocos de alvenaria e painéis (LIMA et al. (2000))^[1];

- concretos de baixa exigência estrutural: envelopamento de dutos em valas, confecção de passeio público e revestimentos (BAUER et al. (2001))^[2];

- locais onde são exigidas maior resistência ao impacto e alta absorção de energia, como paredes de eclusas (walls of canal locks), barreiras de proteção, quebra mar, recifes, postes e elementos de sinalização de trânsito (BAUER et al., 2001^[2]; ELDIN e SENOUCI, 1993^[3]; TOPÇU, 1995^[4]);

- estruturas de concreto massa que requer maior capacidade de deformação, como em barragens, uma vez que as alterações volumétricas causadas pela variação de temperatura devido às reações exotérmicas do cimento podem levar à fissuração do concreto (ALBUQUERQUE et al., 2002^[5]).

A aderência entre as partículas de borracha e a pasta de cimento é um fator determinante para a resistência do concreto. Essa característica tem sido alvo de vários estudos com o objetivo de otimizar a interface borracha/pasta de cimento e, conseqüentemente, minimizar a queda de resistência (ROSTAMI et al (1993) ^[6], LI et al (1998) ^[7], SEGRE e JOEKES (2000) ^[8], (ALBUQUERQUE et al., 2004) ^[9]).

II. ESTUDOS COM CONCRETO CONVENCIONAL

Os estudos foram conduzidos a partir de uma dosagem de referência, sem adição de borracha. As partículas de borracha de pneu moída foram incorporadas ao concreto em substituição parcial ao volume de areia, nos teores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25%.

O abatimento das dosagens foi mantido na faixa de 50mm \pm 10mm e a relação água/cimento igual a 0,492. Nessas condições, os teores de ar incorporado obtidos ficaram na faixa de 5% \pm 1%.

As partículas de borracha foram utilizadas na condição “sem tratamento superficial” e “tratadas superficialmente” com aditivos de base polimérica, a saber, estireno-butadieno, acrílica e vinílica. O tratamento superficial consistiu em umedecer as partículas de borracha com o aditivo de base polimérica imediatamente antes de sua incorporação ao traço de concreto.

Na Figura 1 está ilustrado o fluxograma do programa experimental realizado.

Agradecimentos a ANEEL e ao CNPq pelo apoio financeiro despendido para este trabalho e à equipe de técnicos e engenheiros do Laboratório de FURNAS Centrais Elétricas S.A., que colaboraram para o desenvolvimento da pesquisa.

(1) Engenheiros - FURNAS Centrais Elétricas.

(2) Engenheiro - Engeconsol Engenharia Ltda .

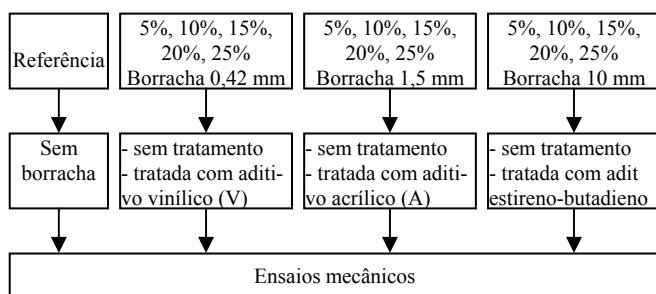


Figura 1 – Fluxograma do programa experimental executado.

Nas figuras 2 a 6 estão apresentados os resultados de resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral e massa específica realizados na idade de 28 dias. Apresenta-se um comparativo entre os resultados obtidos para a dosagem de referência (sem borracha) e para as dosagens contendo diferentes teores de borracha, com e sem tratamento superficial.

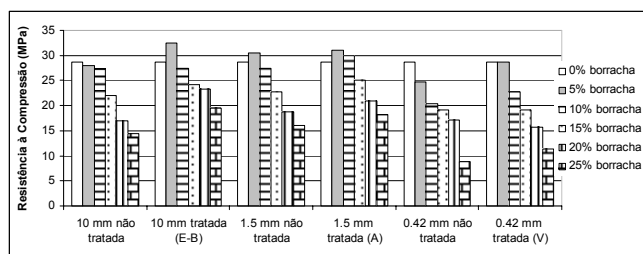


Figura 2 – Resistência à Compressão aos 28 dias x Teor de Borracha x Tamanho das partículas de Borracha x Tratamento Superficial da Borracha.

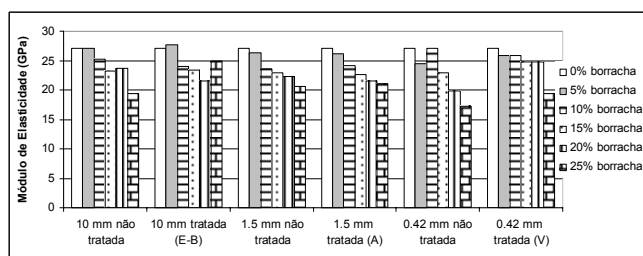


Figura 4 – Módulo de Elasticidade aos 28 dias x Teor de Borracha x Tamanho das partículas de Borracha x Tratamento Superficial da Borracha.

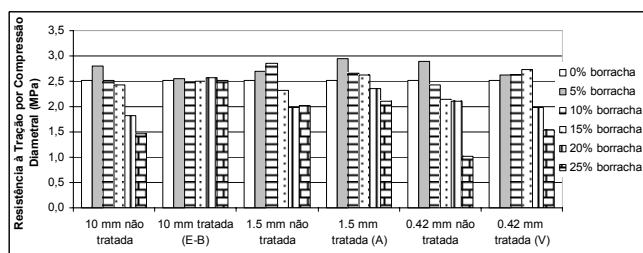


Figura 5 – Resistência à Tração por Compressão Diametral aos 28 dias x Teor de Borracha x Tamanho das partículas de Borracha x Tratamento Superficial da Borracha.

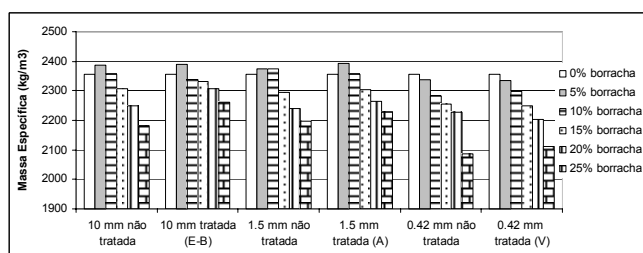


Figura 6 – Massa Específica aos 28 dias x Teor de Borracha x Tamanho das partículas de Borracha x Tratamento Superficial da Borracha.

Efeito da granulometria e do teor de borracha nas propriedades do concreto

Com o aumento do teor de borracha observou-se um aumento gradual do teor de ar incorporado, principalmente no caso das partículas de menor dimensão. Entretanto, o aumento no teor de borracha reduziu a trabalhabilidade do concreto, causando uma demanda crescente de aditivo superplastificante, a fim de se manter a trabalhabilidade sem se alterar a relação água/cimento.

Observando os resultados dos concretos com borracha sem tratamento, verifica-se que as dosagens contendo partículas de 1.5mm e 10mm apresentaram valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade e tração por compressão diametral satisfatórios, comparáveis aos da referência, quando utilizadas em teores de até 10% (figuras 2 a 5).

No caso da resistência à tração por compressão diametral, o teor ótimo de borracha parece ser 5% (para todas as granulometrias) em substituição à areia, quando se observa desempenho superior à referência, sem borracha (Figura 5).

As massas específicas de algumas dosagens com borracha apresentaram-se levemente superiores a da referência. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato dessas dosagens terem incorporado menor teor de ar do que a referência.

Efeito do tratamento superficial da borracha nas propriedades do concreto

Os tratamentos superficiais realizados mostraram-se eficazes, resultando em concretos com melhor desempenho quando comparados àqueles com borracha sem tratamento (figuras 2 a 5). Esse comportamento é evidenciado de forma mais expressiva nos resultados de resistência à tração por compressão diametral (Figura 5).

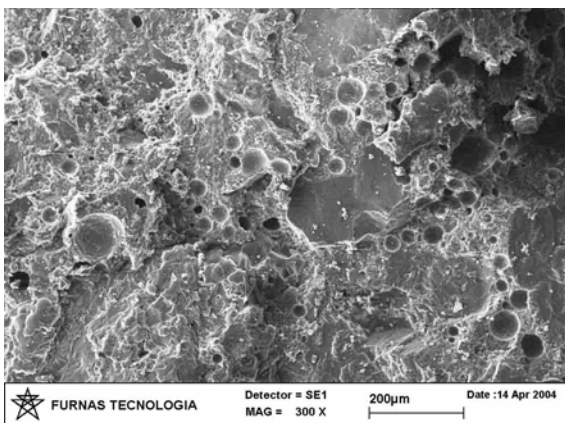
Observa-se ainda que, para teores de borracha superiores a 10%, a resistência à compressão é mais sensível à quantidade de borracha utilizada do que a resistência à tração, principalmente quanto mais finas forem as partículas de borracha.

Análise Microestrutural

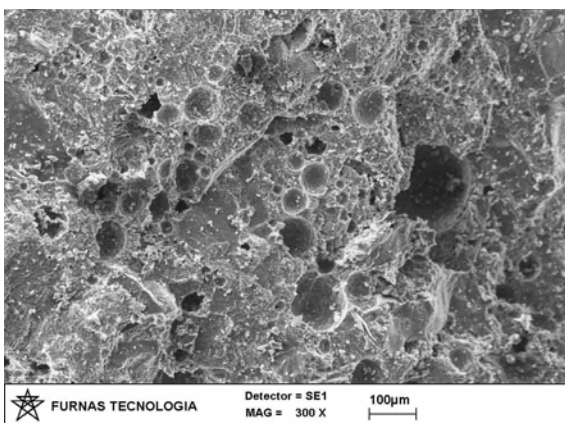
A análise por microscopia eletrônica de varredura foi realizada em amostras extraídas a partir de superfícies de fratura dos corpos de prova, provenientes do ensaio de tração por compressão diametral, e teve como objetivo avaliar a aderência entre a matriz de cimento e a borracha. A análise foi realizada nas seguintes amostras:

- concreto com 10% de fibras de borracha sem tratamento superficial;
- concreto com 10% de fibras de borracha tratadas com aditivo polimérico de base estireno-butadieno (EB);
- concreto com 10% de grânulos de borracha (diâmetro 1.5 mm) sem tratamento superficial;
- concreto com 10% de grânulos de borracha (diâmetro 1.5 mm) tratados com aditivo polimérico de base acrílica (A);
- concreto com 10% de grânulos de borracha (diâmetro 0.42 mm) sem tratamento superficial;
- concreto com 10% de grânulos de borracha (diâmetro 0.42 mm) tratados com aditivo polimérico de base vinílica (V).

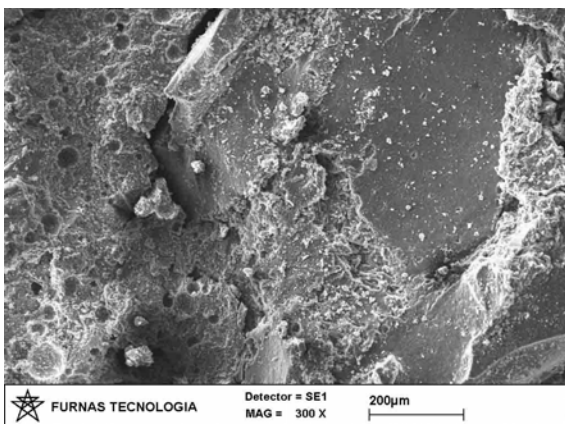
As características das amostras analisadas estão apresentadas nas microfotografias 1 a 6.



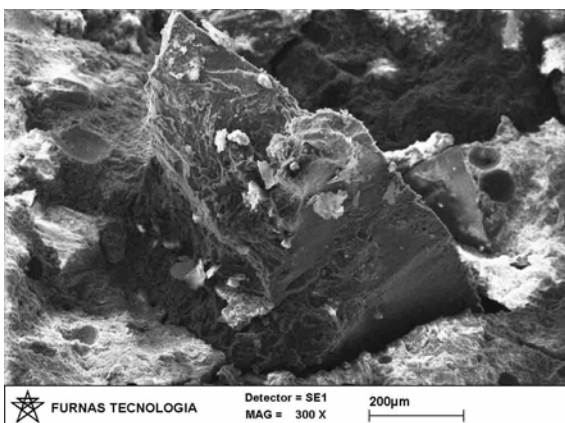
Micrografia 1 – Concreto com 10% de borracha de 0.42 mm sem tratamento superficial. Grande incidência de bolhas de ar.



Micrografia 2 – Concreto com 10% de borracha de 0.42 mm com tratamento superficial. Grande incidência de bolhas de ar.

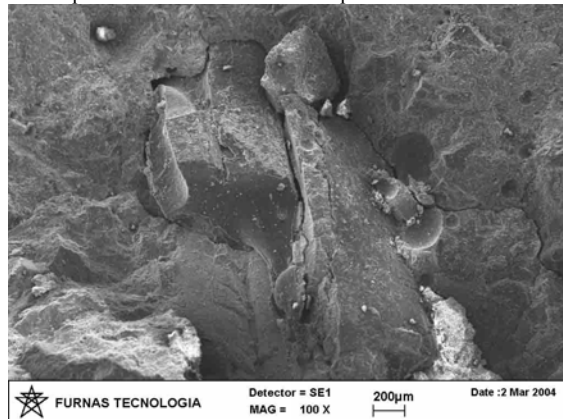


Micrografia 3 – Concreto com 10% de borracha de 1.5 mm sem tratamento superficial. Partícula de borracha bem aderida à matriz

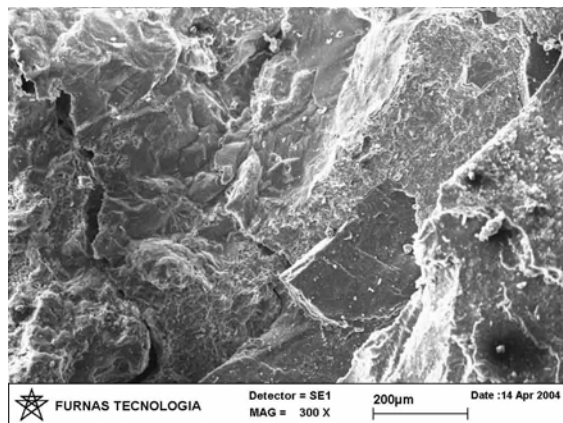


Micrografia 4 – Concreto com 10% de borracha de 1.5 mm com trata-

mento superficial. Partícula de borracha parcialmente aderida à matriz



Micrografia 5 – Concreto com 10% de borracha de 10 mm sem tratamento superficial.



Micrografia 6 – Concreto com 10% de borracha de 10 mm com tratamento superficial.

III. ESTUDOS COM CONCRETO COMPACTADO COM ROLO

Os estudos foram conduzidos a partir de uma dosagem de referência com consumo de cimento de 100 kg/m^3 e relação água/cimento igual a 1,4, sendo as dosagens ajustadas com auxílio de aditivo polifuncional a fim de obter cannon time de 13 a 18 segundos.

A borracha de pneu foi utilizada em teores de 5%, 10%, 15%, 20% e 25% em substituição parcial do volume areia.

A borracha foi utilizada na condição “sem tratamento superficial” e “tratada superficialmente” com aditivos de base polimérica, a saber, estireno-butadieno, acrílica e vinílica.

O tratamento superficial consistiu em umedecer as partículas de borracha com o aditivo de base polimérica imediatamente antes de sua incorporação ao traço de concreto.

O programa experimental realizado é semelhante ao apresentado na Figura 1.

A consistência do concreto foi medida através do ensaio de Vebê adaptado conhecido como Cannon Time. Este ensaio consiste na determinação do tempo levado para que uma película de argamassa do concreto envolva toda a lateral do recipiente, denominado consistômetro de Vebê, e aflore na sua superfície. Na Figura 1 é apresentado o concreto durante o ensaio (Equipe de FURNAS, 1997)^[10].

A densidade do concreto pôde ser obtida pelo consistômetro Vebê (γ_c), cálculo gravimétrico dos materiais (γ_t) e DMA (Determinação da Massa de Água).

O ensaio de DMA, consiste na determinação do volume de água deslocado quando se introduz uma amostra de concreto fresco com peso conhecido em um recipiente cilíndrico contendo um sífo. Neste recipiente é colocado um volume de água conhecido. Dessa forma, a densidade do concreto pode ser determinada, pois o volume de água deslocado corresponde ao volume de concreto. (Equipe de FURNAS, 1997)^[10]

Durante a realização das dosagens observou-se a necessidade de uma crescente quantidade de aditivo plastificante à medida que aumentava-se o teor de borracha e diminuía-se o tamanho das partículas, a fim de manter o cannon time na faixa especificada.

Observou-se ainda uma redução do grau de compactação (γ_c / γ_t) com o aumento do teor de borracha. Esse fenômeno pode ser atribuído ao fato das partículas de borracha reterem grande quantidade de ar na sua superfície e tenderem a sobrenadar durante a vibração do concreto. Essas observações estão ilustradas nas figuras 7 e 8.



Figura 7 – Corpos-de-prova após desmoldagem ilustrando segregação das partículas de borracha (a caneta indica a região de segregação no topo do corpo-de-prova)

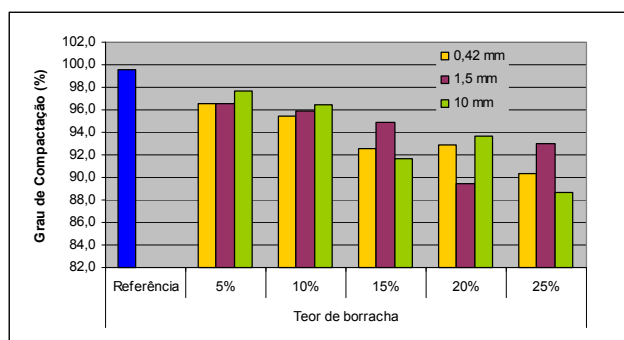


Figura 8 – Grau de compactação x Teor de borracha x Granulometria das partículas

Efeito da granulometria e do teor de borracha nas propriedades do CCR

Nas figuras 9 a 12 estão apresentados os resultados de resistência à compressão, módulo de elasticidade, resistência à tração por compressão diametral e massa específica realizados na idade de 91 dias. As figuras apresentam um comparativo entre os resultados obtidos na dosagem de referência e

nas dosagens contendo diferentes teores de borracha sem tratamento superficial.

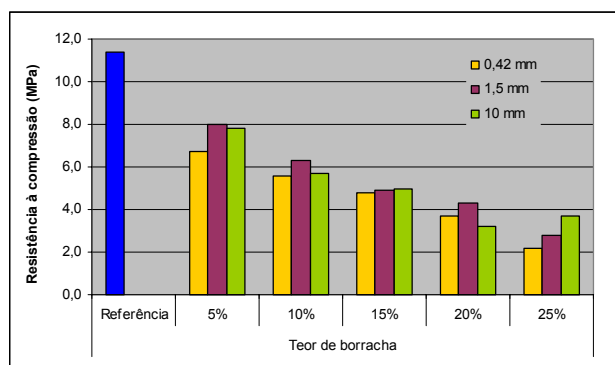


Figura 9 – Resistência à compressão x Teor de borracha x Granulometria das partículas

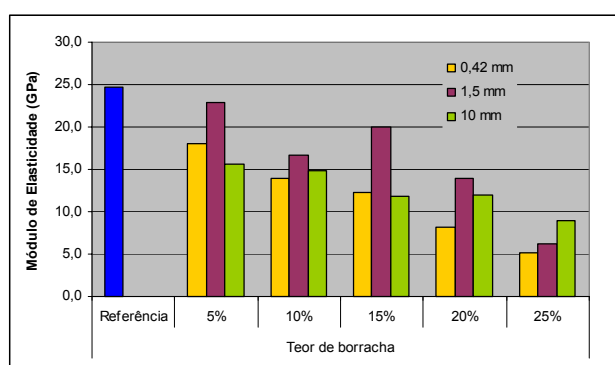


Figura 10 – Módulo de elasticidade x Teor de borracha x Granulometria das partículas

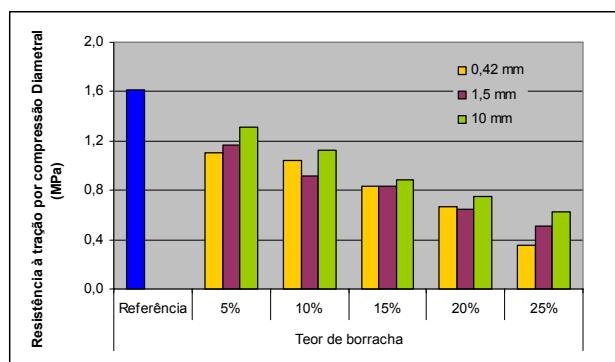


Figura 11 – Resistência à tração por compressão diametral x Teor de borracha x Granulometria das partículas

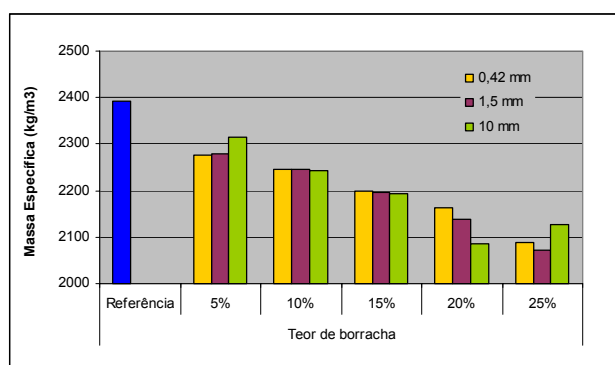


Figura 12 – Massa específica x Teor de borracha x Granulometria das partículas

Observa-se que, de uma maneira geral, que as propriedades estudadas sofrem uma redução à medida que aumenta-se o teor de borracha no concreto. Entretanto, essa queda é menor quando usa-se partículas de borracha de maiores dimensões. Esse fato pode ser atribuído à dificuldade do adensamento dos concretos contendo partículas de borracha mais finas, as quais encontram maior facilidade de deslocamento dentro da massa e, conseqüentemente, maior facilidade de segregação.

Segundo Wadel (1996) *apud* Hernández-Olivares (2002)^[11], o módulo de elasticidade da borracha a 100% de deformação é de 1,97 MPa. Dessa forma, pode-se concluir que o comportamento do módulo de elasticidade do concreto, além de ser um reflexo dos resultados da resistência à compressão, é também influenciado pela presença da borracha.

Efeito do tratamento superficial da borracha nas propriedades do CCR

Nas figuras 13 a 18 estão apresentados os resultados de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral na idade de 91 dias. As figuras apresentam um comparativo entre os resultados obtidos nas dosagens contendo partículas de borracha sem tratamento e tratadas superficialmente com diferentes aditivos de base polimérica.

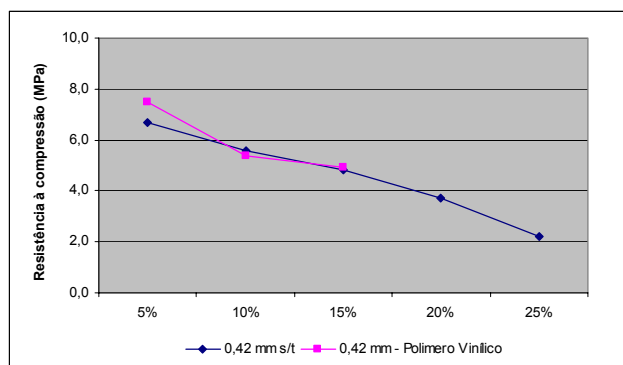


Figura 13 – Resistência à compressão x Teor de borracha x Tratamento com polímero de base vinílica

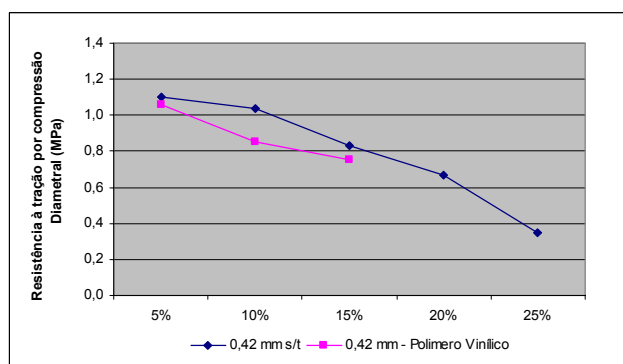


Figura 14 – Resistência à tração por compressão diametral x Teor de borracha x Tratamento com polímero de base vinílica

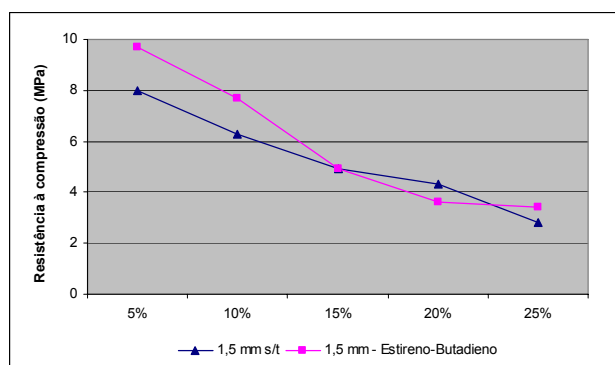


Figura 15 – Resistência à compressão x Teor de borracha x Tratamento com polímero de base estireno-butadieno

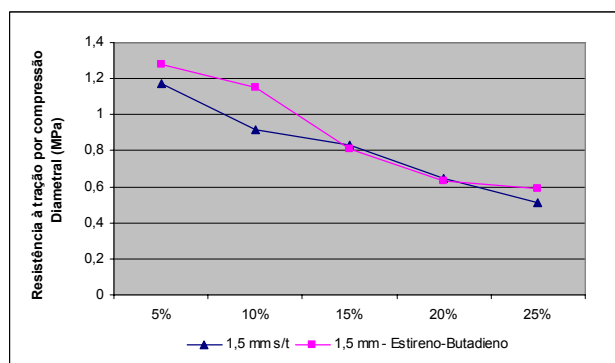


Figura 16 – Resistência à tração por compressão diametral x Teor de borracha x Tratamento com polímero de base estireno-butadieno

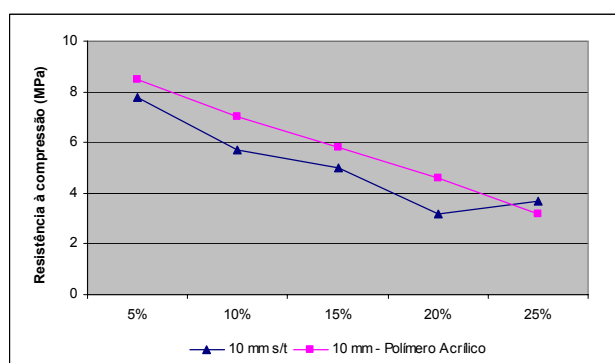


Figura 17 - Resistência à compressão x Teor de borracha x Tratamento com polímero de base acrílica

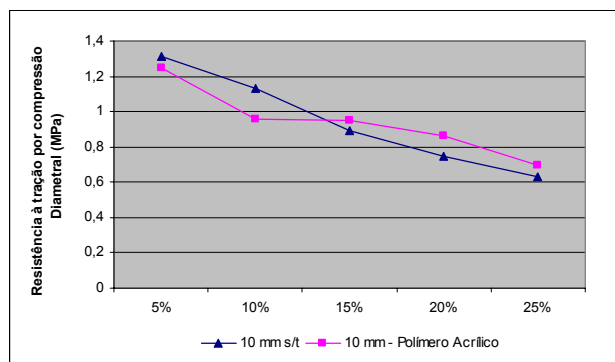


Figura 18 – Resistência à tração por compressão diametral x Teor de borracha x Tratamento com polímero de base acrílica

Observa-se que os tratamentos realizados com aditivos poliméricos de base acrílica e estireno-butadieno foram eficientes em minimizar a queda da resistência à compressão

do concreto com teores de borracha de até 20% e 10%, respectivamente. No caso da resistência à tração por compressão diametral o aditivo de base estireno-butadieno apresentou melhor desempenho.

IV. CONCLUSÕES

Conclusões - Concreto Convencional

Foram testadas diversas composições de concreto com borracha de pneu moída, com ou sem tratamento superficial, a fim de avaliar seu efeito nas propriedades do concreto convencional, quando comparadas com uma dosagem de referência (sem borracha). Podem se destacar as seguintes conclusões:

- as fibras de borracha com até 10 mm de comprimento e os grânulos com 1.5 mm e 0.42 mm de diâmetro quando incorporados ao concreto em teores de até 10% em substituição ao volume de areia, não causaram prejuízo na resistência à compressão;

- as fibras de borracha com até 10 mm de comprimento e os grânulos com 1.5 mm e 0.42 mm de diâmetro quando incorporados ao concreto no teor de 5% em substituição ao volume de areia, proporcionaram melhoria da resistência à tração por compressão diametral;

- os tratamentos realizados na superfície das partículas de borracha com aditivos de base polimérica proporcionaram melhor desempenho dos concretos, quando comparados àqueles contendo borracha sem tratamento superficial;

- as partículas de borracha menores incorporam maior quantidade de ar ao concreto, entretanto ocorre um refinamento na estrutura dos poros.

Conclusões – Concreto Compactado com Rolo

Foram estudadas dosagens de concreto compactado com rolo contendo borracha de pneu moída de diferentes granulometrias e em diversos teores, submetidas ou não a tratamentos superficiais com aditivos de base polimérica. As amostras foram submetidas a ensaios para determinação das propriedades mecânicas e os resultados foram analisados na idade de 91 dias. A seguir apresentam-se as principais conclusões.

- a trabalhabilidade do CCR diminui com o aumento do teor de borracha e com a redução do tamanho das partículas de borracha;

- teores de borracha a partir de 15% evidenciam a segregação das partículas que tendem a sobrenadar durante o adensamento e se concentram no topo dos corpos-de-prova;

- a resistência à compressão diminui com o aumento do teor de borracha, sendo essa queda de aproximadamente 30% em relação à referência para 5% de borracha;

- a resistência à tração por compressão diametral diminui com o aumento do teor de borracha sendo essa redução menos significativa quando utiliza-se partículas de borracha na forma de raspas;

- a queda da resistência mecânica do CCR com borracha pôde ser minimizada pelo tratamento das partículas de borracha com aditivo polimérico à base de estireno-butadieno.

V. BIBLIOGRAFIA

- [1] LIMA, I. S.; ROCHA, F. S.; FERREIRA, J. B. Um estudo de argamassa de cimento com adição de fibras de borracha vulcanizada para a construção civil. 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, 2000.
- [2] BAUER, R. J. F.; TOKUDOME, S.; GADRET, A.D. Estudo de concreto com pneu moído. 43º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz do Iguaçu, 2001.
- [3] ELDIN, N. N.; SENOUCI, A. B. Observations on rubberized concrete behaviour. *Cement, Concrete and Aggregates*. v. 15, n. 1, p.74-84, 1993.
- [4] TOPÇU, I. B. The properties of rubberized concretes. *Cement and Concrete Research*, v. 25, n. 2, p.304-310, 1995.
- [5] ALBUQUERQUE, A. C., ANDRADE, M. A. S., NETO, M. M. S., CORREA, M. I. F., CARDOSO, C. G., MACEDO, D. C. B., CALMON, J. L. Concreto com Borracha de Pneu: Uma Revisão Bibliográfica. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte. 2002.
- [6] ROSTAMI, H.; LEPORÉ, J.; SILVESTIM, T.; ZANDI, I. Use of recycled rubber tyres in concrete. *Concrete 2000: Economic and Durable Construction Through Excellence. Proceedings of International Conference, University of Dundee, Scotland, UK*, v. 2, p. 391-398, 1993.
- [7] LI, Z.; LI, F.; and LI, J. S. L. Properties of concrete incorporating rubber tyre particles. *Magazine of Concrete Research*, n. 4, p.297-304, 1998.
- [8] SEGRE, N.; JOEKES; I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*, v. 30, p.1421-1425, 2000.
- [9] ALBUQUERQUE, A. C., HASPARYK, N. P., ANDRADE, M. A. S., NETO, M. M. S., CORREA, M. I. F., CARDOSO, C. G., MACEDO, D. C. B., Investigation of Different Treatments in Tire Rubber with a View to Concrete Application . *Conference on Use of the Recycled Materials in Building and Structures - Rilem 2004. Barcelona. 2004.*
- [10] FURNAS, Equipe de. *Concretos Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo – Ensaios e Propriedades*. São Paulo – SP, Editora PINI, 1997.
- [11] HERNANDÉZ-OLIVARES, F., BARLUENGA, G., BOLLATI, M., WITOSZEK, B., Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete. *Cement and Concrete Research* 32, pp.1587-1596, 2002.