

Desenvolvimento de um betão com elevada resistência ao ataque por ácido sulfúrico contendo resíduos de borracha de pneus

F.Azevedo¹, F.Pacheco Torgal², C.Jesus³, J.L. Barroso de Aguiar⁴, A.F. Camões⁵

¹Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, az.francisco@gmail.com

²Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, torgal@civil.uminho.pt

³Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, cjesus@civil.uminho.pt

⁴Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, aguiar@civil.uminho.pt

⁵Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, aires@civil.uminho.pt

RESUMO

Os resíduos de pneus representam um problema ambiental de gravidade crescente, actualmente 1.000 milhões de pneus atingem o fim da sua vida útil a cada ano que passa e prevê-se que a partir do ano 2030 seja necessário reciclar 5000 milhões de pneus anualmente. O presente artigo apresenta resultados sobre a resistência à compressão e a resistência ao ataque por ácido sulfúrico de betões com razão A/L=0,35, com substituição de areia por resíduos de borracha de pneus e de cimento por cinzas volantes e metacaulino. Os resultados mostram que a incorporação de resíduos de borracha se traduz em relevantes reduções da resistência à compressão, as quais são no entanto minimizadas pelo efeito sinérgico entre as cinzas volantes e o metacaulino. Os resultados mostram também que as misturas com 45% de cinzas volantes e 15% de metacaulino apresentam uma elevada resistência ao ataque por ácido sulfúrico independentemente da percentagem de borracha utilizada, pelo menos até 15%, revelando uma elevada aptidão para serem utilizadas em meios de elevada agressividade química, como sejam as manilhas utilizadas na drenagem de águas residuais.

Palavras-chave: Betão, resíduos de borracha de pneu, resistência ao ataque por ácido sulfúrico

INTRODUÇÃO

Os resíduos de pneus representam um problema ambiental de gravidade crescente. Actualmente 1.000 milhões de pneus atingem o fim da sua vida útil a cada ano que passa. Elevadas quantidades de resíduos de pneus são simplesmente amontoadas em depósitos clandestinos (pneus inteiros) ou depositadas em aterro (pneus triturados), representando 3.000 milhões de pneus na União Europeia e 1.000 milhões nos Estados Unidos. No ano 2030 espera-se que o número de veículos com motor atinja 1.200 milhões o que implicará a necessidade de reciclar 5.000 milhões/ano [1].

A implementação da Directiva sobre Aterros 1999/31/EC e a Directiva sobre o fim de vida dos pneus 2000/53/EC vieram proibir a deposição em aterro dos resíduos de pneus forçando a procura de soluções alternativas. Uma solução possível para o seu reaproveitamento passa pela sua utilização em betões em substituição de agregados.

Os agregados de borracha reciclada podem ser obtidos usando duas tecnologias distintas: trituração mecânica à temperatura ambiente ou trituração criogénica a uma temperatura inferior à temperatura de transição vítrea, temperatura para a qual a borracha adquire um comportamento frágil [2].

Investigações já realizadas envolvendo a substituição parcial de agregados por resíduos de borracha apontam para uma redução da trabalhabilidade [3] e da resistência à compressão [4]. A redução na resistência à compressão em betões contendo resíduos de borracha de pneus é muito mais acentuada quando se utilizam resíduos grossos e fica a dever-se à baixa aderência entre estes e a pasta de cimento, contudo vários autores [5-7], sugerem diversos tratamentos para aumentar essa mesma aderência.

O estado da arte relativo aos betões compósitos contendo resíduos de betão revela que estes apresentam uma elevada tenacidade [8], o que lhes confere uma aptidão para serem utilizados em estruturas localizadas em zonas de elevado risco sísmico ou em aplicações submetidas a cargas dinâmicas como as travessas utilizadas em ferrovias.

As investigações sobre as propriedades físicas e mecânicas destes compósitos são relativamente abundantes o mesmo não sucedendo com o estudo da sua durabilidade, o que justifica o presente artigo.

TRABALHO EXPERIMENTAL

Materiais, composição e fabrico dos betões

Neste trabalho utilizou-se uma areia 0/4 e uma brita 4/8 ambos fornecidos pela empresa Britaminho e cujas características são apresentadas no Quadro1.

Os resíduos de pneus foram fornecidos pela Recipneu Lda, empresa localizada no parque industrial de Sines e apresentam dimensões no intervalo 1 a 2,4mm, tendo sido produzidos pelo método criogénico.

Foram utilizadas cinzas volantes fornecidas pela Endesa Generation SA pertencendo à classe B e com módulo de finura da classe N.

Quadro 1: Características dos agregados

| | D _{máx} (mm) | Módulo de finura | Teor de finos | Massa volúmica (kg/m ³) | Absorção de água (%) | Desgaste de Los Angeles (%) |
|-----------|--------------------------|---------------------|------------------|---|----------------------------|--------------------------------------|
| Areia 0/4 | 5.6 | 3.3 | ≤3 | 2660 | 0.2 | - |
| Brita 4/8 | 8 | 5.9 | ≤1.5 | 2620 | 0.6 | ≤40 |

Na execução dos betões foi utilizado um cimento da classe 42,5R e o superplastificante de segunda geração Glenium Sky 526, à base de polímeros de éter policarboxílico.

As composições dos betões que se apresentam no Quadro 2 foram feitas de acordo com o método das curvas de referência de Faury, para um betão com uma razão água/ligante de 0,35 e uma classe de trabalhabilidade S3, uma das mais utilizadas em contexto de obra.

Quadro 2: Composição do betão por m³

| | Cimento (kg) | Cinzas volantes (kg) | Mk kg | Areia (kg) | R. borracha (kg) | Brita (kg) | Água (l) | SP (l) |
|-------------------|-----------------|----------------------------|----------|---------------|------------------------|---------------|-------------|-----------|
| B_ref | 500 | - | - | 1256 | - | 430 | 174 | 8.7 |
| B_15MK | 425 | - | 75 | 1231 | - | 440 | 174 | 8.7 |
| B_30CV | 350 | 150 | - | 1179 | - | 461 | 174 | 8.7 |
| B_60CV | 200 | 300 | - | 1106 | - | 488 | 174 | 8.7 |
| B_5Bor | 500 | - | - | 1192 | 63 | 430 | 174 | 8.7 |
| B_10Bor | 500 | - | - | 1130 | 126 | 430 | 174 | 8.7 |
| B_15Bor | 500 | - | - | 1067 | 188 | 430 | 174 | 8.7 |
| B_5Bor_30CV | 350 | 150 | - | 1120 | 60 | 461 | 174 | 8.7 |
| B_5Bor_60CV | 200 | 300 | - | 1151 | 55 | 488 | 174 | 8.7 |
| B_10Bor_30CV | 350 | 150 | - | 1061 | 118 | 461 | 174 | 8.7 |
| B_10Bor_60CV | 200 | 300 | - | 995 | 111 | 488 | 174 | 8.7 |
| B_15Bor_30CV | 350 | 150 | - | 1002 | 177 | 461 | 174 | 8.7 |
| B_15Bor_60CV | 200 | 300 | - | 940 | 166 | 488 | 174 | 8.7 |
| B_5Bor_15CV_15MK | 350 | 75 | 75 | 1132 | 60 | 455 | 174 | 8.7 |
| B_5Bor_45CV_15MK | 200 | 225 | 75 | 1063 | 56 | 483 | 174 | 8.7 |
| B_10Bor_15CV_15MK | 350 | 75 | 75 | 1073 | 119 | 455 | 174 | 8.7 |
| B_10Bor_45CV_15MK | 200 | 225 | 75 | 1007 | 179 | 483 | 174 | 8.7 |
| B_15Bor_15CV_15MK | 350 | 75 | 75 | 1014 | 179 | 455 | 174 | 8.7 |
| B_15Bor_45CV_15MK | 200 | 225 | 75 | 951 | 168 | 483 | 174 | 8.7 |

Condições experimentais

Resistência à compressão

A resistência à compressão foi efectuada segundo a norma NP EN 206-1. Os provetes foram mantidos numa câmara húmida a uma temperatura de 21 ± 2 ° C até serem ensaiados aos 7 dias e aos 28 dias de cura. Utilizaram-se provetes com $50 \times 50 \times 50$ mm³ e a resistência à compressão foi obtida com a média aritmética de 3 valores.

Resistência ao ataque por ácido sulfúrico

O ensaio consistiu em manter imersos em solução de ácido sulfúrico com uma concentração de 10% provetes com $150 \times 150 \times 150$ mm³. A resistência ao ataque por ácido foi avaliada pela diferença de massa antes e depois da imersão em ácido ao fim de 1, 3, 7, 14 e 28 dias.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Resistência à compressão

A Fig. 1 apresenta a resistência à compressão de betões com substituição de areia por resíduos de borracha. Conforme já comprovado em investigações anteriores o aumento da percentagem de resíduos de borracha é responsável por elevadas reduções deste parâmetro [4]. A fim de manter um elevado desempenho mecânico não é possível fazer uma substituição superior a 5% em massa. Quando comparamos com a mistura de referência este nível de substituição é responsável por uma redução de 31% na resistência à compressão para betões com 28 dias de cura, mantendo-se esta no entanto acima de 50MPa.

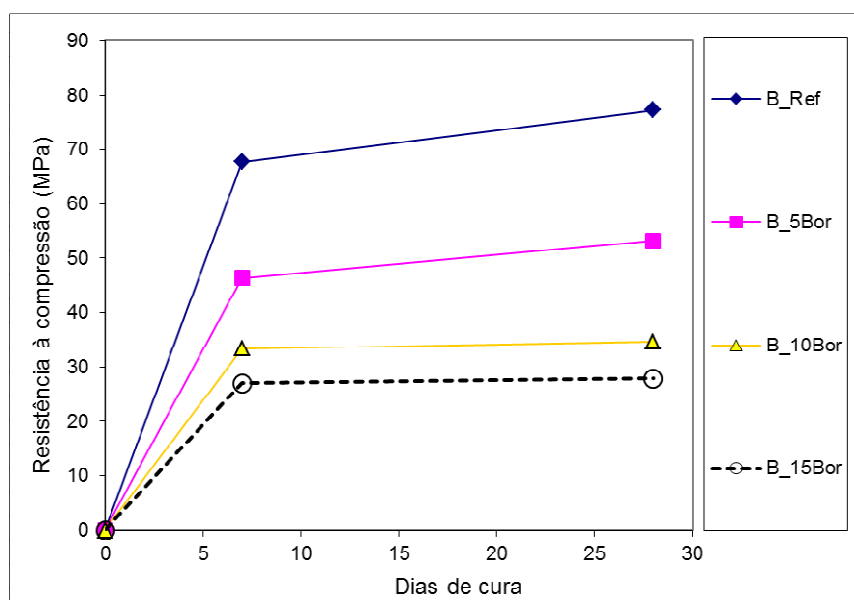


Figura 1: Resistência à compressão de betões com resíduos de borracha

A Fig.2a apresenta a resistência à compressão dos betões com substituição parcial de cimento por aditivos pozolânicos (cinzas volantes e metacaulino). Estes resultados confirmam a baixa reactividade em idades iniciais das cinzas volantes já detectada em investigações anteriores [10], como confirmam também a elevada reactividade do metacaulino na presença do hidróxido de cálcio [9], acelerando fortemente o processo de hidratação, o qual é superior até mesmo à resistência do betão de referência ao fim de 28 dias de cura.

A Fig. 2b apresenta a resistência à compressão dos betões com resíduos de borracha e substituição parcial de cimento por cinzas volantes e metacaulino. Os resultados mostram que é possível incorporar 5% de resíduos de borracha e substituir 15% do cimento por cinzas e 15% de metacaulino, com uma redução de apenas 23% na resistência à compressão aos 28 dias de cura.

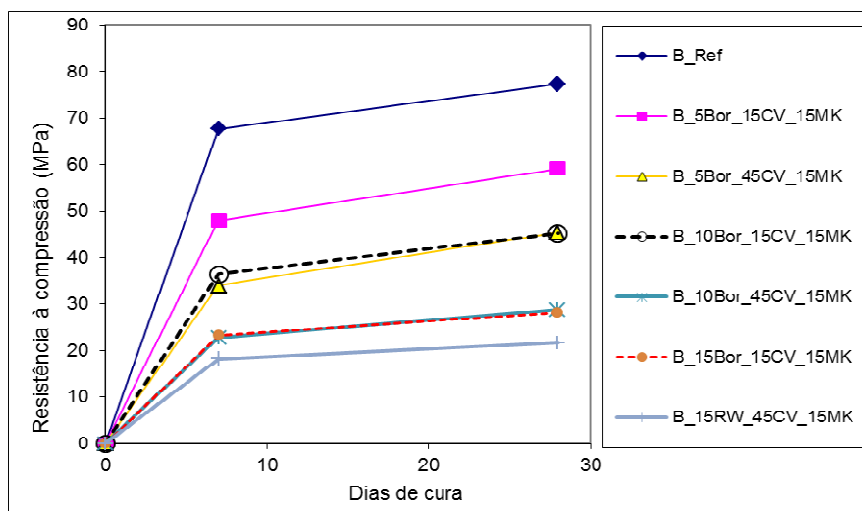
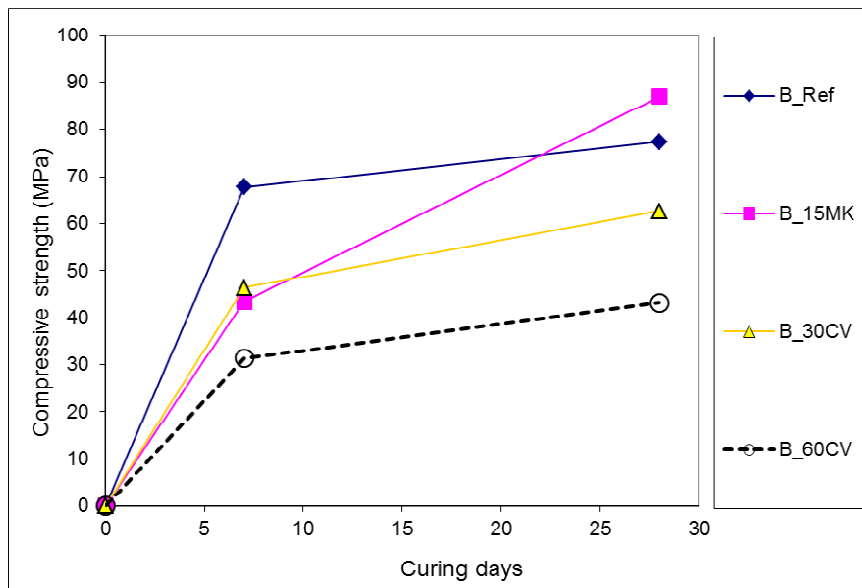


Figura 2: Resistência à compressão de betões com:
 a) substituição parcial de cimento por cinzas volantes e metacaulino
 b) resíduos de borracha e substituição parcial de cimento por cinzas volantes e metacaulino

Resistência ao ataque por ácido sulfúrico

A Fig. 3a apresenta a resistência ao ataque por ácido sulfúrico de betões com substituição de areia por resíduos de borracha. Quanto maior a percentagem de substituição menor essa resistência. Para uma percentagem de 5% a diferença é mínima.

Quando se substitui o cimento Portland por 15% de metacaulino, a diferença em termos da resistência por ataque com ácido sulfúrico também é mínima (Fig.3b), o que já não sucede quando esse utiliza 30% de cinzas volantes. Ligeiramente surpreendente é o facto da resistência ao ataque por ácido aumentar substancialmente quando se aumenta a percentagem de cinzas de 30% para 60%.

A resistência do betão de referência ao ataque de ácido é similar à resistência do betão com 5% de resíduos de borracha, 15% de cinzas volantes e 15% de metacaulino (Fig.3c). Os betões com substituição parcial de cimento por 45% de cinzas volantes e 15% de metacaulino, apresentam uma elevada resistência ao ataque com ácido sulfúrico que é quase independente da percentagem de resíduos de borracha, pelo menos até 15%.

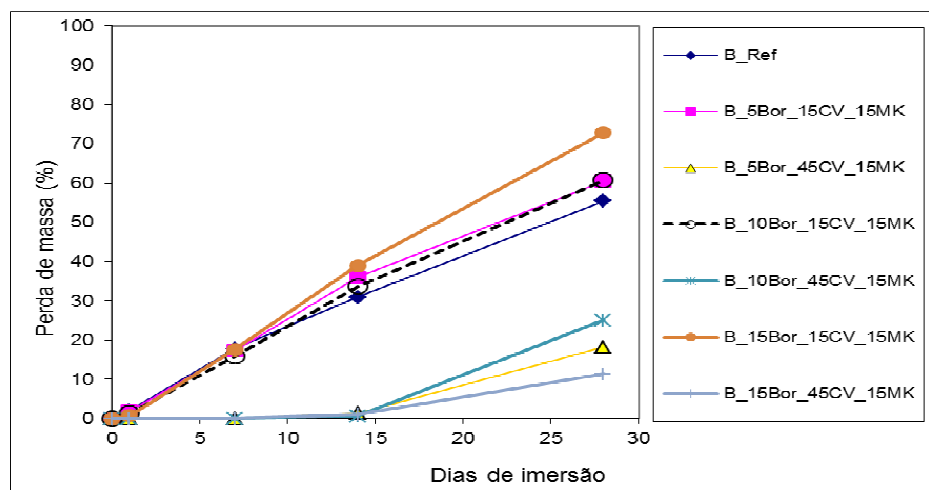
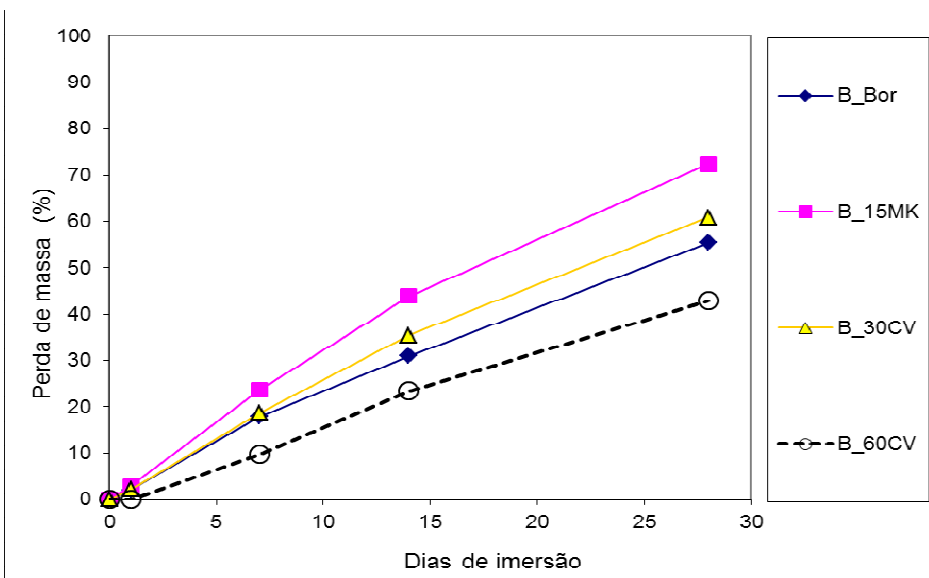
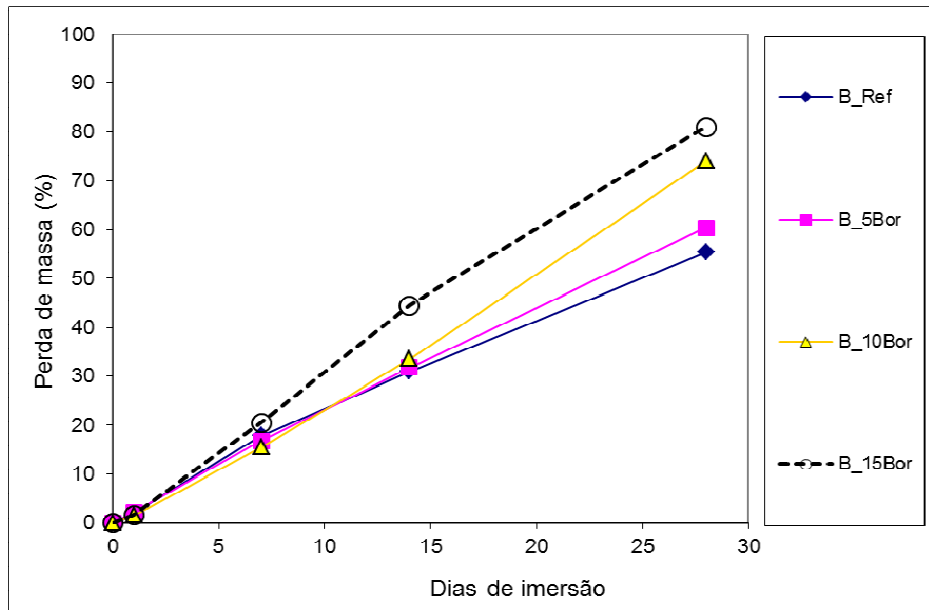


Figura 3: Resistência ao ataque por ácido sulfúrico em betões com:

a) Resíduos de borracha;

a) substituição parcial de cimento por cinzas volantes e metacaulino

c) resíduos de borracha e substituição parcial de cimento por cinzas volantes e metacaulino

CONCLUSÕES

A utilização de resíduos de borracha em betões é responsável por reduções da resistência à compressão, tanto maiores quanto maior a percentagem de borracha utilizada.

O efeito sinérgico entre cinzas volantes e metacaulino permite reduzir a perda da resistência à compressão provocada pelos resíduos de borracha.

É possível substituir 5% de areia por resíduos de borracha e 30% de cimento por 15% de cinzas volantes e 15% de metacaulino sem que isso reduza a resistência ao ataque por ácido sulfúrico.

Os betões com substituição de cimento por 45% de cinzas volantes e 15% de metacaulino apresentam uma elevada resistência ao ataque por ácido sulfúrico, apresentando potencialidades para poderem vir a ser utilizados em aplicações de elevada agressividade química como por exemplo no fabrico de manilhas para águas residuais.

Bibliografia

- [1] Pacheco -Torgal, F.; Jalali, S., *Reaproveitamento de resíduos de borracha de pneus em betões* Revista de Betão Pronto. APEB, nº25, pp.11-17 (2010).
- [2] Pacheco-Torgal, F.; Ding, Y.; Jalali, S., *Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (Tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview*. Construction and Building Materials Vol.30, pp.488-494 (2012).
- [3] Guneyisi, E.; Gesoglu, M.; Ozturan, T., *Properties of rubberized concretes containing silica fume*, Journal of Cement and Concrete Research Vol.34, pp.2309–2317 (2004).
- [4] Aiello, M.; Leuzzi, F., *Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state*. Waste Management Vol.30, 1696-1704 (2010).
- [5] Segre, N.; Monteiro, P.; Sposito, G., *Surface characterization of recycled tire rubber to be used in cement paste matrix*. Journal of Colloid and Interface Science Vol.248, pp.521-523 (2002).
- [6] Oikonomou, N.; Stefanidou, M.; Mavridou, S., *Improvement of the bonding between rubber tire particles and cement paste in cement products*. 15th Conference of the Technical Chamber of Greece, Alexandroupoli, Greece, pp.234-242 (2006).
- [7] Chou, L.; Lin, C.; Lu, C.; Lee, C.; Lee, M., *Improving rubber concrete by waste organic sulfur compounds*. Waste Management and Research Vol.28, pp.29-35 (2010).
- [8] Zheng, L.; Huo, S.; Yuan, Y., *Experimental investigation on dynamic properties of rubberized concrete*. Construction and Building Materials Vol.22, pp.939-947 (2008).
- [9] Lagier, F.; Kurtis, K., *Influence of Portland cement composition on early age reactions with metakaolin*. Cement and Concrete Research Vol.37, pp.1411-1417 (2007).
- [10] Boukni, A.; Swamy, R.; Bali, A. (2009) *Durability properties of containing 50% and 65% slag*. Construction and Building Materials Vol.23, pp.2836-2845.