

# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

## **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS DA INDÚSTRIA CALÇADISTA EM CONCRETO**

**André Luiz Carneiro Simões<sup>(1,2)</sup>; Dione D'Andrea Silva Bolognani<sup>(3)</sup>; Cristiano Pontes Nobre<sup>(1,4)</sup>;  
Mauro de Cresta Barros Dolinsky<sup>(1)</sup>; Lucas Carneiro Cardoso<sup>(5)</sup>**

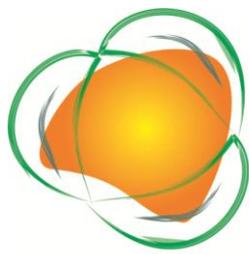
<sup>(1)</sup> Professor Assistente, Centro de Engenharia e Computação; Universidade Católica de Petrópolis, Rua Barão do Amazonas, 124, Centro, Petrópolis-RJ; [andre.simoes@ucp.br](mailto:andre.simoes@ucp.br); [Cristiano.nobre@ucp.br](mailto:Cristiano.nobre@ucp.br); [mauro.dolinsky@ucp.br](mailto:mauro.dolinsky@ucp.br). <sup>(2)</sup> Professor Assistente, Coordenação de Engenharia Química; Faculdade Senai-Cetiqt; Rua Magalhães Castro, Riachuelo, RJ; [alsimoos@cetiqt.senai.br](mailto:alsimoos@cetiqt.senai.br). <sup>(3)</sup> Aluna de Engenharia Química, Coordenação de Engenharia Química; Faculdade Senai-Cetiqt; Rua Magalhães Castro, Riachuelo, RJ; [dionedandreas@gmail.com](mailto:dionedandreas@gmail.com). <sup>(4)</sup> Analista Ambiental/Químico; Coordenadoria Geral de Fiscalização, Instituto Estadual do Ambiente, Rua Sacadura Cabral 103, Saúde, RJ. [cristiano.pontes@inea.rj.gov.br](mailto:cristiano.pontes@inea.rj.gov.br). <sup>(5)</sup> Aluno de Engenharia Civil, Centro de Engenharia e Computação; Universidade Católica de Petrópolis, Rua Barão do Amazonas, 124, Centro, Petrópolis-RJ; [lucacardoso@hotmail.com](mailto:lucacardoso@hotmail.com).

**Eixo Temático:** Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Líquidos

**RESUMO** - A indústria da construção civil possui grande potencial na inserção de resíduos como matéria-prima em seus processos, reduzindo o impacto ambiental gerado, por meio dos sistemas de reciclagem e reuso. Uma alternativa para o reaproveitamento consiste na substituição parcial do agregado natural pelo resíduo polimérico na composição de concreto. Pesquisas demonstram que o uso desse resíduo é tecnicamente viável e pode ser difundido ao longo dos anos, visto que sua disposição irregular acarreta problemas ambientais graves. O objetivo deste trabalho é analisar o reaproveitamento do resíduo do copolímero de estireno - butadieno gerado pela indústria calçadista na fabricação de concreto. Verificou-se a resistência a compressão axial dos concretos produzidos com substituição de 10%, 20% e 30% de borracha em relação ao agregado natural, variando-se também as granulometrias do resíduo utilizado. Os resultados obtidos apontam que há uma redução na resistência à compressão sendo possível trabalhar em uma faixa ótima de substituição com perdas em níveis aceitáveis para concretos de uso não estrutural.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos, sustentabilidade, polímeros.

**ABSTRACT** - The construction industry has great potential in the insertion of waste as a raw material in their processes, reducing environmental liabilities are generated through the recycling and reuse systems. An alternative to recycling is the partial substitution of natural aggregate by polymeric residue on the concrete composition. Research shows that the use of this waste is technically feasible and can be spread over the years, since its irregular layout has serious environmental problems. The objective of this study is to analyze the reuse of the waste styrene - butadiene generated by the footwear industry in the manufacture of concrete. It was the compressive strength of concretes produced with substitution of 10%, 20% and 30% of rubber in relation to the natural aggregate, also by varying the particle size of



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

residue used. The results indicate that there is a reduction in the compressive strength being able to work in a great range of replacement with losses at acceptable levels for concrete nonstructural use.

**Keywords:** solid waste, sustainability, polymers.

## Introdução

Em função da relevância da geração do resíduo sólido, muito tem-se estudado sobre a possibilidade de incorporação desses resíduos no desenvolvimento de concreto sustentável como alternativa de baixo custo. Experiências já comprovaram que o concreto com agregados reciclados pode ser aplicado de diversas formas, abrangendo concretos de baixa a alta resistência (GRANZOTTO, 2010).

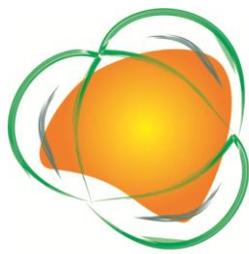
Alguns autores apresentaram a utilização de resíduo de pneu na confecção de concretos, substituindo-se parte dos agregados naturais por agregados provenientes de resíduos de pneus inservíveis (MELLO 2008; ROMUALDO et al. 2011). Os resultados desses estudos apontaram que esse concreto é tecnicamente viável quando utilizados sem função estrutural.

Conforme os estudos de BENSON apud KAMIMURA (2002), o uso de pneus triturados em vez de alguns materiais de construção convencionais apresentam os seguintes benefícios para as obras de engenharia: redução da densidade das peças, melhores propriedades de drenagem e melhor isolamento térmica e acústica.

A partir destas pesquisas pensou-se em reaproveitar os resíduos de borracha de uma indústria calçadista do Estado do Rio de Janeiro, uma vez que esse segmento industrial incorpora, além de processos de produção do calçado propriamente dito, atividades vinculadas à fabricação de insumos, componentes e equipamentos necessários à elaboração do produto final. Os principais fornecedores são os curtumes, a indústria têxtil, a indústria de manufaturados de plásticos, a exemplo dos solados injetados (cadeia petroquímica), a indústria de borracha natural e a de borracha sintética (cadeia petroquímica) (MODOLO et al., 2015).

A partir de dados fornecidos pela empresa citada acima, são descartados mensalmente, em média, 27 toneladas de resíduo polimérico ao custo de R\$ 95/tonelada. Esse material após trituração é descartado em caçambas de 30m<sup>3</sup> para destino final ao custo de R\$ 730 o aluguel do compartimento. A substituição parcial do agregado natural por esse tipo de resíduo traria benefícios a longo prazo tanto para as empresas geradoras de resíduo, tanto para as empresas de concreto, pois haveria redução no gasto com matéria-prima e além disso, redução no volume de descarte a aterros, contribuindo para minimização dos problemas ambientais.

O concreto até hoje é um material de grande utilização. O seu uso se difundiu rapidamente após a segunda Guerra Mundial, em 1945, para reconstrução dos países devastados pelo conflito. O emprego crescente deve-se as suas vantagens inerentes, a sua constituição e ao modo de aplicação, apresentando propriedades adequadas e a versatilidade do uso que o tornam imprescindível para a grande maioria das construções usuais (PETRUCCI, 1981). Pode-se enumerar as principais



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

características que destacam o concreto como material por excelência: Disponibilidade de matéria prima, versatilidade de moldagem, facilidade de execução, durabilidade, custo. Essas vantagens do concreto lhe conferem o segundo lugar entre os materiais mais consumidos pelo homem, somente ultrapassado pela água.

Em relação a Sustentabilidade, o concreto se caracteriza devido a relativa energia necessária para sua produção, adequada durabilidade e baixa manutenção, é o material que contribui para o desenvolvimento sustentável, quando estruturas são bem projetadas e executadas. Além disso, por possibilitar a adição de resíduos e subprodutos industriais e agregados reciclados, contribui para a sustentabilidade da indústria da construção.

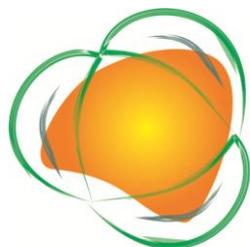
De acordo com o site da IBRACON, cerca de 70% do volume do concreto é composto de agregados. A produção era prevista para 2015, de 11,1 bilhões de m<sup>3</sup> de concreto corresponde ao consumo de mais de 11 bilhões de toneladas de agregado graúdo e acima de 7 bilhões de toneladas de areia seca para dosagens equivalentes de concreto, não sendo possível confirmar até o momento. O maior consumo de concreto está nas regiões metropolitanas de grande densidade habitacional. Assim, as questões de logística, em vista da escala do volume de material a ser transportado até as centrais de concreto, condiciona o custo final do m<sup>3</sup> para o consumidor final. As jazidas de agregados naturais estão cada vez mais distantes dos centros de consumo, influenciando no custo final, no consumo de energia e poluição ambiental, além de sobrecarregar a malha rodoviária (SILVA, 2012).

Contudo, para viabilizar o uso de resíduos na construção civil, faz-se necessário que o mesmo se apresente de maneira constante e em quantidade considerável, o que já vem ocorrendo no Brasil. A indústria de calçados, cuja produção vem apresentando crescimento anual, é responsável pela geração de uma enorme quantidade de resíduos (SILVA, 2012).

O presente estudo tem por objetivo a avaliação do reaproveitamento do resíduo da indústria calçadista, mais especificamente do resíduo de SBR (copolímero de estireno -butadieno), o mesmo utilizado em pneus, através do desenvolvimento de um concreto sustentável, com a substituição parcial do agregado natural pelo agregado polimérico de forma a reduzir problemas ambientais causados pelo acúmulo de resíduos dispostos no Meio Ambiente. O trabalho propõe como etapas de estudo uma granulometria ideal do resíduo utilizado e investigar a influência da concentração do resíduo nas propriedades mecânicas do concreto em diferentes formulações variando-se concentrações e granulometrias.

## **Material e Métodos**

Na elaboração deste trabalho foram utilizadas as instalações da Universidade Católica de Petrópolis (UCP) para execução dos testes, devido a infraestrutura já instalada nesta Universidade. Em todas as misturas foram usados os mesmos componentes: Cimento Portland CP III, sílica em pó (não densificada), areia #50, areia #100 e aditivo Tec flow 9030 (Marca RheoSet), porém em cada um dos traços



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

alterou-se o percentual adicionado de borracha em relação a areia, variando-se também a granulometria da mesma adicionada.

Utilizou-se borracha de granulometria igual a 2,00 mm (Série Tyler #9) e borracha de granulometria igual a 1,18 mm (Série Tyler #14).

Para efeito de comparação foram confeccionados os traços de concreto padrão de alta resistência (borracha 0%) e traços com teores de 10%, 20% e 30% de borracha em relação ao agregado da seguinte forma:

- Traço de Concreto Padrão (0% de borracha)
- Traço de Concreto com 10% de borracha #9 em relação a areia #50
- Traço de Concreto com 10% de borracha #14 em relação a areia #100
- Traço de Concreto com 20% de borracha #9 em relação a areia #50
- Traço de Concreto com 20% de borracha #14 em relação a areia #100
- Traço de Concreto com 30% de borracha #9 em relação a areia #50
- Traço de Concreto com 30% de borracha #9 em relação a areia #100

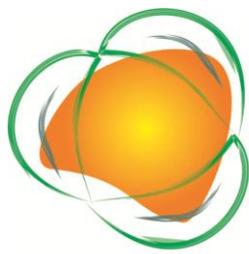
A areia #100, com granulometria igual a 0,149 mm foi parcialmente substituída pela borracha #14 e a areia #50, de granulometria igual a 0,297 mm foi parcialmente substituída pela borracha #9. A tabela 1 mostra a variação dos traços fabricados.

Tabela 01 – Variação dos Traços Fabricados em cada Lote.

LOTE	CP III (g)	SÍLICA (g)	AREIA # 50 (g)	AREIA # 100 (g)	ÁGUA (g)	ADITIVO 9030 (g)	BORRACHA #9 (g)	BORRACHA #14 (g)
1	1200	400	500	630	200	90	0	70
2	1200	400	500	630	200	90	0	70
3	1200	400	500	560	200	90	0	140
4	1200	400	500	490	200	90	0	140
5	1200	400	500	700	200	90	0	210
6	1200	400	350	700	200	90	150	0
7	1200	400	350	700	200	90	150	0
8	1200	400	400	700	200	90	100	0
9	1200	400	400	700	200	90	100	0
10	1200	400	450	700	200	90	50	0
11	1200	400	450	700	200	90	50	0
12	1200	400	500	700	200	90	0	0
13	1200	400	500	700	200	90	0	0

## Processo de mistura

O processo de mistura foi feito através de um misturador mecânico, (Figura 01a). A pesagem de todos os materiais foi realizada em balança de precisão, e inicialmente adicionou-se todos os materiais secos na concreteira de bancada, onde foram misturados até que estivessem totalmente uniformes tanto em cor como textura, e após isso foram adicionados os materiais líquidos, como água e aditivo 9030.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

A mistura foi mantida em agitação por 8 minutos após a adição de água e aditivo para que fossem obtidas a fluidez e homogeneidade apropriadas para que o concreto fosse moldado nos corpos de prova.

Em seguida, o concreto foi retirado e de acordo com a NBR 5738 – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova – foram moldados seis corpos de prova para cada lote de mistura produzido, totalizando 12 corpos de prova para cada padrão de mistura, exceto do segundo traço com 30% de borracha #14, só foram aproveitados apenas seis corpos de prova para esse padrão de mistura.

Os moldes utilizados seguem as medidas específicas que são determinadas e exigidas na NBR 5738 (Corpo de Prova cilíndrico 5 x 10 cm) (Figura 1b) e foram revestidos internamente com óleo mineral em quantidade suficiente para umectar e garantir que o corpo de prova fosse desenformado posteriormente sem sofrer nenhum dano físico.

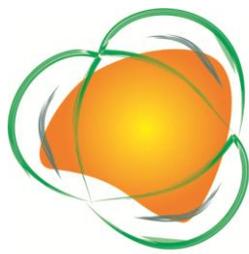


Figura 01 - Misturador Mecânico (a) Molde de Aço (b).

Fonte: Própria.

Após o preenchimento das formas, realizou-se o adensamento, que é o processo para retirada do ar do interior da massa, realizado manualmente, com 30 golpes com haste de aço. Os corpos de prova após adensamento foram levados a câmara úmida, onde ficaram por 24 horas e posteriormente levados a câmara a vapor a 60° C por mais 24 horas para sua cura.

Em seguida, os corpos foram retirados da câmara e faceados para que fosse possível o nivelamento das bases de todos os corpos de prova, de forma que a carga exercida no teste de resistência a compressão axial seja distribuída, conforme a NBR 5739 – Ensaio de Compressão de corpo de prova cilíndrico. Após serem faceados, os corpos de prova foram pesados e levados ao tanque d'água para a cura em imersão. Foram totalmente submersos em água de forma a evitar seu ressecamento e possíveis rachaduras, as quais inviabilizariam o uso do corpo de prova danificado. Ao adquirir as idades necessárias de 07, 14 e 28 dias, os corpos de prova foram secos e testados quanto a resistência por compressão axial, conforme a NBR 5739, que também padroniza os testes de compressão. Foram realizados um total de 13 lotes, obtendo-se um total de 6 corpos de prova por lote.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

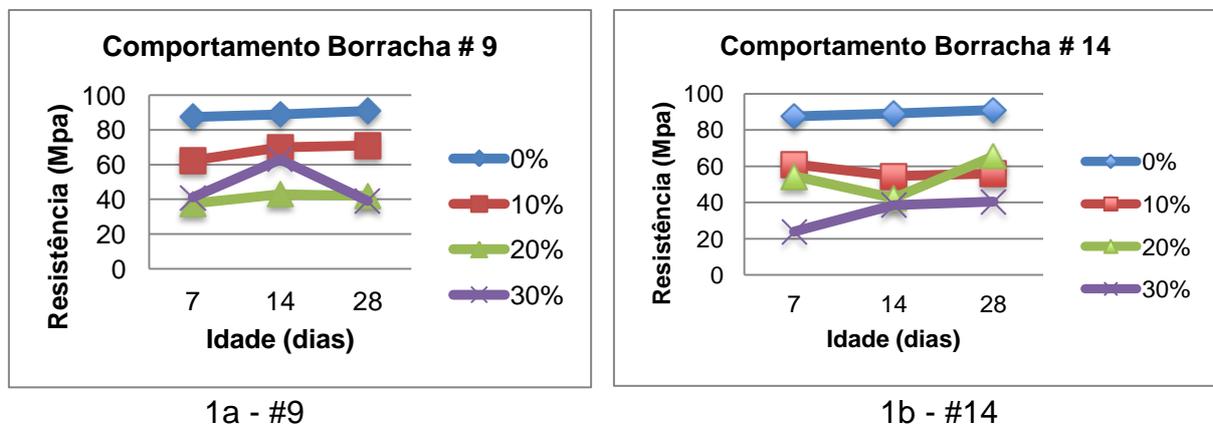
## Resultados e Discussão

Pode-se observar que o comportamento do concreto com teores de 10% e 20% se assemelham ao comportamento do concreto com 0% (padrão). Observa-se que quanto maior o teor de borracha adicionado, menores foram as resistências obtidas.

Nos gráficos 01a e 1b pode-se visualizar o comportamento do concreto com borracha #9 e #14. Em ambas as situações, observa-se uma alteração no comportamento do concreto quando comparado ao traço com 0% de borracha.

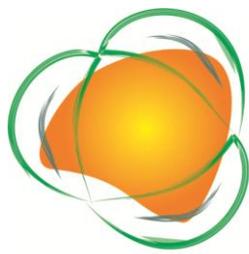
O comportamento normal é que a resistência aumente ao longo dos dias, devido a cura completa e encerramento das reações de hidratação, assim como a queda da relação água cimento. Tal comportamento não foi observado para as misturas com teor de borracha ao longo dos dias de cura. Pode-se observar que com a substituição parcial da areia pelo resíduo polimérico houve uma redução da resistência, em todas as idades dos corpos de prova testados. Para o concreto com borracha #14, essa redução foi de 35% em média, quando comparados com o padrão (concreto com 0% de borracha).

**Gráfico1- Resistências a partir do Concreto com Borracha #9 (1a) e #14 (1b).**



Para o concreto com borracha #9, houve queda de 23% em média, em relação ao concreto padrão. Isso pode ser observado no Gráfico 2a onde é possível visualizar a diferença entre as resistências dos concretos usando-se a borracha #14 e #9, com teor de 10%.

É possível verificar que houve queda nas resistências obtidas quando compara-se as resistências obtidas com o concreto padrão. Para o concreto com borracha #14 essa redução foi de 39% em média e no concreto com borracha #9 a queda foi de 54% em média. Nos Gráficos 2b e 2c pode-se observar as resistências alcançadas com concretos com 20% e 30% de borracha. Para o concreto com borracha #14, houve redução de 62% em média nas resistências, quando comparadas com valores obtidos do concreto padrão. Para o concreto com borracha #9 a resistência diminuiu cerca de 46%.



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

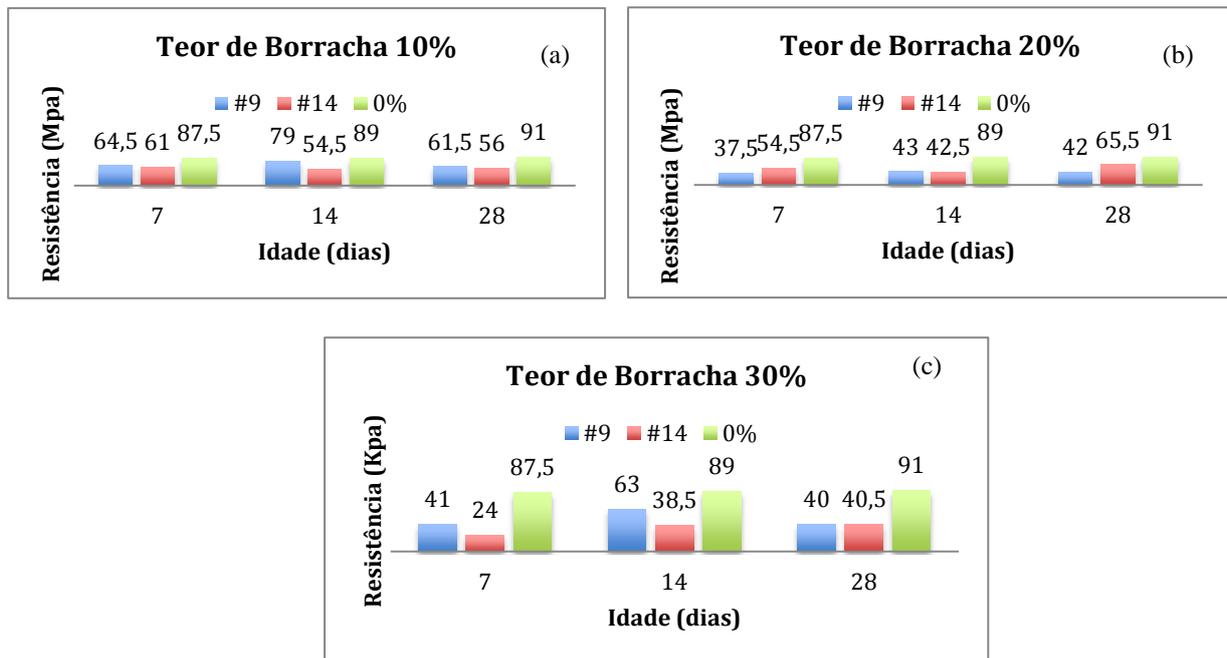
[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

É possível afirmar que com a adição de partículas de borracha a resistência tendeu a diminuir, e este efeito também pode ser verificado em outros trabalhos encontrados na literatura. A perda de resistência à compressão pode estar creditada ao teor de ar aprisionado, ao processo de cura do concreto e uma possível redução de aderência na interface resíduo/ massa de cimento.

**Gráfico 02– Comparativo dos Concretos com 10%, 20% e 30% de borracha.**



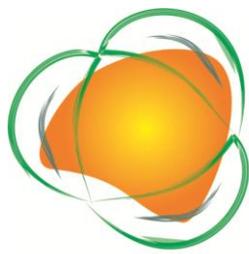
## Conclusões

Com base nos resultados obtidos, é possível tecer as seguintes considerações:

A utilização de agregados poliméricos na produção de concreto é satisfatória para a redução do passivo ambiental gerado. O resíduo de borracha pode ser aproveitado como substituto de agregado com perdas de propriedades mecânicas.

As perdas percentuais na resistência a compressão eram esperadas. A faixa de substituição que se destaca foi de 10% e 20%, pois não houve alteração significativa de trabalhabilidade do concreto. Mesmo com a adição do resíduo polimérico, obteve-se valores de resistência superiores aos 20 Mpa mínimos exigidos pela norma, para uso estruturais, que permite seu uso comercial

Existe a possibilidade de alteração no traço, de forma a reduzir o custo do concreto, variando-se por exemplo o aditivo utilizado, viabilizando seu uso em calçadas e revestimentos. Novos testes poderão ser realizados com teores de 12% a 18%, que aparentou ser a faixa ótima de trabalho. Pode-se também trabalhar com



# XIII Congresso Nacional de **MEIO AMBIENTE** de Poços de Caldas

[www.meioambientepocos.com.br](http://www.meioambientepocos.com.br)

XIII CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS

21, 22 E 23 DE SETEMBRO DE 2016

uma mistura entre as granulometrias da borracha #14 e #9 de forma a otimizar o preenchimento de interstícios e reduzir o teor de ar aprisionado.

## **Referências**

IEMI, Relatório Setorial da Indústria de Calçados CALDERONI, S. Os bilhões perdidos no lixo. São Paulo : Humanistas, 2003.

Isaia, G. C. - Concreto: Ciência e Tecnologia. v. I. 1. ed. São Paulo: 2011.

GRANZOTTO, L. Concreto com Adições de Borracha: Uma alternativa Ecologicamente Viável. UEM. Maringá, Paraná, 2010.

KAMIMURA, E. Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil. UFSC, Florianópolis, 2002.

MODOLO, R. et al. Avaliação Ambiental do Setor Calçadista e a Aplicação da Análise do Ciclo de Vida : Uma abordagem geral. In: VI FIRS. Junho 2015. São José dos Campos, São Paulo.

NOGUEIRA, J. M. J. Políticas de Gestão de Resíduos Sólidos: Análise teórica da viabilidade econômica dos três. UNB. Brasília, Distrito Federal, 2006.

PETRUCCI, E. G. R.. Concreto de cimento Portland. 8. ed. PA: Globo, 1981.

ROMUALDO, A. C. A. et al. Pneus Inservíveis como Agregados na composição de Concreto para Calçadas de Borracha. In: 3rd International Workshop Advances in Cleaner Production. Maio 2011. São Paulo.

SILVA, I. F. Viabilidade de Aplicação do Resíduo Sólido Polimérico na Confecção de Elementos Construtivos. UFCG. Campina Grande, Paraíba, 2012.