

Análise da resistência a compressão em concreto de alto desempenho com substituição parcial do agregado miúdo convencional por borracha

**Amanda Valva Farias¹, Cassandra Silva Maia², Luciano Gonçalves Ayres², Pedro Henrique Rocha²,
Renan Carvalho Marques² Antônio Rafael de Souza Alves Bôso³**

¹Graduando em Engenharia Civil – IFTO. Bolsista Programa de Educação Tutorial (PET-Civil). e-mail: <amandavalva@gmail.com>

²Graduando em Engenharia Civil – IFTO. e-mail: <cassy_atm@hotmail.com, lucianoayres@outlook.com, pedrorocha991@outlook.com, renanap108@hotmail.com> ³ Professor Doutor- IFTO. e-mail: <rafaelbosso@ifto.edu.br>

Resumo: O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil, devido a sua resistência à água e também pela facilidade de modelagem dos elementos estruturais. Existem diversos tipos de concreto e cada um, é especificado para determinada situação na qual irá trabalhar. O presente artigo focou no concreto de alto desempenho (CAD). Este, apresenta características melhoradas em relação ao concreto convencional, dentre elas a alta resistência mecânica inicial e final, baixa permeabilidade e segregação, alta aderência e durabilidade além de possuir uma boa trabalhabilidade. Dessa maneira, com o intuito de melhorar algumas de suas propriedades, entrelaçando o assunto à crescente preocupação com os problemas relacionados ao meio ambiente devido a construção civil, foi feita a substituição do agregado miúdo por um agregado feito de resíduos de borracha de pneu, sendo que foi analisado o comportamento do concreto com a substituição de 10% e 20% da areia por esse novo material e cujo os dados foram analisados pela ferramenta estatística Teste de Tukey ao nível de 5% de significância, aonde percebeu-se quanto maior o teor de borracha adicionado menor é a resistência do concreto.

Palavras-chave: BORRACHA, CAD, RESIDUOS

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um campo aonde existe a atuação de engenheiros, arquitetos e outros profissionais que, trabalhando em conjunto, confeccionam infraestruturas das mais diversas variedades como edifícios, pontes, barragens e estradas. É nesse contexto que um dos principais materiais utilizados se faz presente, o concreto, isto porque, diferente do aço e madeira, apresenta resistência à água e também facilidade de modelagem de peças e elementos estruturais variados.

A mistura em proporção devidamente calculada de cimento, agregados miúdos e graúdos e a água resultam no concreto convencional, podendo ser adicionados ainda aditivos, cuja função pode ser melhorar ou modificar o comportamento do concreto. É de conhecimento acadêmico que este apresenta propriedades mecânicas importantes para se trabalhar como por exemplo a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, retração e fluência. Todas são determinadas a partir de ensaios feitos em condições específicas e normatizados pela

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo de fundamental importância para que haja um controle de qualidade quando se for trabalhar com o referido material.

Dentre as propriedades citadas acima, aquela mais disseminada no cenário brasileiro é a resistência característica do concreto à compressão, conhecida como “fck”, que representa a resistência mínima que o concreto deve atender dentro de uma análise estatística. Devido a sua importância, todas as empresas precisam ter um controle tecnológico rígido do concreto utilizado em obra, visto que poderá acarretar em prejuízos para a construtora, correndo o risco de causar danos às pessoas.

Existem diversos tipos de concreto para diferentes situações, aonde este trabalho focará no concreto de alto desempenho (CAD). Tal nome se deve por apresentar características melhoradas, em relação ao concreto convencional, dentre elas a resistência mecânica inicial e final elevada, baixa permeabilidade e segregação, alta aderência e durabilidade, boa trabalhabilidade e devido à baixa porosidade, o torna menos suscetível a ataques de agentes agressivos. Com essa gama de qualidades, o CAD é indicado para obras submetidas às intempéries, desgastes, erosão, agentes agressivos e abrasão, como pistas de aeroportos por exemplo. Além dos materiais convencionais, este tipo de concreto tem aditivos em sua constituição, geralmente superplastificantes, e agregados naturais como a microssílica. Há também a alternativa de usar agregados reciclados na constituição do concreto, como por exemplo, resíduos de construção e demolição, resíduos de vidros, resíduos de matéria inorgânica depositada por meio de empresas de saneamento, o conhecido “lodo” e resíduos de borracha de pneus, sendo este o foco principal a ser comentado e executado neste trabalho.

Essa alternativa se deve ao fato de atualmente existe uma crescente preocupação com os problemas relacionados ao meio ambiente atrelados a construção civil e ao bem-estar da população. Existe também um problema visto diariamente em construções e empresas dos mais diversos tipos, a irregularidade no descarte de lixo e resíduos, devido à falta de aterros para comportar toda a quantidade imposta pelo mercado e a tipologia dos materiais jogados fora, muitas vezes, inservíveis e que demandam muito tempo para se decomporem.

Nesse intuito, pode-se inserir esses resíduos no concreto, trazendo melhorias em algumas características e propriedade do mesmo. O exemplo mais visto é a utilização da borracha vinda de pneus descartados que melhora o concreto no que diz respeito à choques, fissuras, absorção de

cargas, temperatura, acústica e fadiga, mas que, tende a diminuir a resistência à compressão e à tração, fato este que será analisado no decorrer deste trabalho.

A fundamentação deste trabalho está na verificação da viabilidade de uso de resíduo de borracha de pneumáticos inservível no CAD. Para isso, pretende-se substituir diferentes quantidades de borracha, triturada pela empresa fornecedora, pelo agregado miúdo (areia) a fim de analisar a sua influência sobre a resistência do concreto.

2 OBJETIVO

2.1 Geral

Analisar a Resistência a Compressão em concreto de alto desempenho com substituição parcial do agregado miúdo convencional por borracha

2.2 Específicos

- a. Usar resíduos de borracha na produção de CAD
- b. Produzir o CAD com os resíduos de borrachas
- c. Realizar o teste de Resistência a compressão e analisar com o teste de Tukey

3 METODOLOGIA

Para realização deste trabalho adotou-se uma metodologia, a pesquisa/coleta de informações para aprofundamento do conhecimento sobre a questão problema e as vertentes que as envolvem e então incorporou-se a estes dados a problemática da reutilização de resíduos, neste caso, a borracha de pneumáticos. Determinou-se então que a variante a ser estudada neste estudo de caso seria a variação da percentagem em massa da borracha por meio da substituição do agregado miúdo. Por fim, apresentou-se os dados requeridos por este trabalho, medidas de tendência central e teste de

comparar médias, e também o que esses resultados implicam no estudo de caso para o CAD com substituição do agregado miúdo pela borracha triturada de pneus.

3.1 Materiais Utilizados

Neste item, apresentam-se os aglomerantes, agregados, aditivos e o fornecimento da água, com suas respectivas características, que foram usados na construção do CAD.

O Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI) é normatizado pela NBR 5733 e recomendado para obras onde seja necessária a desforma rápida de peças de concreto armado. O CP V-ARI é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila com uma moagem mais fina, diferente dos outros tipos de cimento, sendo que, esta diferença de produção confere uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26 MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade.

A água potável foi adquirida por meio da rede de distribuição do município de Palmas – TO, no período de fevereiro de 2017, referente ao Laboratório de Máquinas do Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas e o aditivo químico não foi utilizado em nenhuma composição do CAD. Já os agregados escolhidos para compor este foram a brita zero, areia e borracha. A brita zero e a areia estavam disponíveis aos alunos nas baias do próprio laboratório e a borracha utilizada foi gerada a partir do processo de recauchutagem em pneus e moída, aonde os componentes desse grupo tiveram acesso por meio da empresa Michelin – Alô Pneus, localizada na 1112 Sul, Avenida LO 25, Palmas – TO.

3.2 Métodos

Neste item citaremos os métodos utilizados para a caracterização do traço, cura e o ensaio mecânico deste estudo de caso. Utilizamos a revisão bibliográfica para determinar o traço, de acordo com outros artigos publicados no meio acadêmico.

3.2.1 Traço

O traço utilizado em nosso experimento varia de acordo com a porcentagem de borracha utilizada na confecção do concreto. Para o concreto usual, sem adição de resíduos de borracha, utilizamos o traço 1:2:3 (aglomerante, agregado miúdo, agregado graúdo) com a medida de água

sendo igual a metade da medida do aglomerante. Os demais traços foram baseados de acordo com o primeiro. Para melhorar a trabalhabilidade do concreto, na medida em que alteramos a quantidade de agregado miúdo com a inserção da borracha, houve a necessidade de alterarmos a quantidade de água.

Tabela 1 – Traço adotado na pesquisa e suas respectivas características

Traço	Aglomerante (kg)	Agregado Miúdo (kg)	Agregado Graúdo (kg)	%Borra- cha	Borracha (kg)	Água (kg)
1	2,5	5,0	7,5	0	0	1,25
2	2,5	4,5	7,5	10	0,5	1,75
3	2,5	4,0	7,5	20	1	2,25

Fonte: Próprio autor

3.2.2 Método de cura

Depois de moldados os corpos de prova (CPs) e passados dois dias da sua confecção, retiramos as formas destes e colocamos no processo de cura submersa em reservatório de água. Dessa maneira, após a desforma, os CPs foram colocados submersos em um reservatório de água dentro do Laboratório de Solos do IFTO – Campus Palmas, permanecendo por um período de sete dias. Este processo é fundamental para garantir uma maior resistência ao concreto, além de evitar fissuras que podem comprometer os resultados da pesquisa.

Fotografia 1 – Corpos de prova recentemente tirados do processo de cura sendo posteriormente levados para o ensaio mecânico



Fonte: Próprio autor

3.2.3 Retificação e Ensaio Mecânico

Terminado a cura, os CPs foram submetidos ao processo de retificação com o intuito de planificar a área na qual seria aplicada a prensa para que as resistências fossem calculadas. Após esta etapa, fez-se o ensaio mecânico de compressão, determinarmos assim as respectivas resistências. Vale ressaltar que tanto a retificação como o ensaio foram realizados na Luar Engenharia, localizada no município de Palmas – TO.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como referido nos tópicos acima, após adquirir todo um amparo bibliográfico e científico e ter feito a escolha dos materiais a serem trabalhados, realizou-se o ensaio de compressão axial para os corpos de provas, feitos in situ pelos acadêmicos deste trabalho, por um profissional qualificado e obtivemos o resultado descrito abaixo.

Tabela 2 – Ensaio de compressão axial

TRAÇO	% BORRACHA	RESISTÊNCIA (Mpa)		
A	0	20,83	27,27	31,41

B	10	12,48	13,01	13,4
C	20	3,74	3,9	5,12

Fonte: Próprio autor

Além desses valores, calculamos algumas variáveis encontradas na estatística que colaboram para uma análise mais crítica e seria deste trabalho bem como ajuda no controle tecnológico do mesmo. Dentre as variáveis encontramos as de medidas de tendência central, medidas de dispersão e ainda testes de comparar médias. Seguem abaixo todos esses assuntos referentes ao tipo de traço e sua percentagem de borracha colocada no concreto de alto desempenho.

Tabela 2 – Dados estatísticos dos tipos de traço

Traço	Média (MPa)	Desvio padrão amostral (MPa)	Coefficiente de variação (%)
A	26,5	5,33	20,12
B	12,96	0,4618	3,56
C	4,25	0,7548	17,76

Fonte: Próprio autor

Com os valores acima devidamente calculados, os testes para se comparar médias foram realizados, especificamente o de Análise de Variância (ANOVA) e o Teste de Tukey. O ANOVA pode ser entendido como um teste de hipótese no qual há um controle mais rigoroso sobre o estudo, garantindo uma confiança maior em seus resultados.

Tabela 3 – Dados calculados para a ANOVA

Média global	S_{Dentro}^2	S_{Entre}^2	$F_{Calculado}$	$F_{Tabelado}$
14,57 MPa	9,73	377,13	38,76	$F_{2,3}=9,55$

Fonte: Próprio autor

O teste realizado como exemplo para testar a hipótese nula (H_0) de que as médias entres os experimentos dos traços A, B e C são iguais ao nível de significância de 5%, usando como hipótese alternativa (H_1) de que as médias são diferentes. Pela tabela 3, nota-se que o $F_{calculado}$ é maior do que o $F_{tabelado}$, ($38,76 > 9,55$), dessa maneira, rejeita-se a hipótese de que as médias sejam iguais, o que significa que a quantidade de borracha usada em cada traço está influenciando nas medidas das suas respectivas resistências. Já para o teste de Tukey, adotamos a tabela abaixo como parâmetro de estudo.

Tabelas 4 e 5 – Dados calculados para o Teste de Tukey

<i>HSD</i>	$q = \alpha; g11; g12$
11,4	$q = 0,01; 3; 6 = 6,33$

TRAÇO	MÉDIA	1	2	3	GH
A	26,5				a
B	12,96	13,54			b
C	4,25	22,25	8,71		b

Fonte: Próprio autor

Depois dessas análises e cálculos feitos, como citado no início deste trabalho acadêmico, pode-se perceber que à medida que determinada quantidade de borracha de pneu em massa é utilizada como substituição, na mesma proporção, do agregado miúdo, a sua resistência a compressão começa a decrescer, demonstrando que apesar de trazer benefícios como melhoramento na absorção de cargas, a principal função do concreto, que é garantir a resistência desejada em projeto, pode ser prejudicada quando adicionadas porcentagens altas do material utilizado como parâmetro. Logo, pode-se concluir que o traço padrão (sem borracha) tem resistência maior, porém, os traços com 10 e 20% são iguais estatisticamente ao nível de 5% de significância, ou seja, que o traço com 20% e 10% possuem resistência iguais, pode-se usar mais borrachas de modo que a resistência seja a mesma.

REFERÊNCIAS

ADES, Zebulun Andréa. **A importância do controle tecnológico na fase estrutural em obras de edificações**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10013703.pdf>> Acesso em: 05 mar. 2017.

L. M. P; C. D. M, S. P. **Estruturas de concreto – Capítulo 2**. Santos: Unicamp, 2004. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>> Acesso em: 05 mar. 2017.

NUNES, Leila. Norma Brasileira 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. ABNT: 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA-CUAJ/nbr-5739>> Acesso em: 05 mar. 2017.

PINTO, N. A.; FIORIT, C. F. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com borracha de pneus.** Florianópolis: UFSC, 2016. Disponível em: <<http://www.nexos.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1499>> Acesso em: 05 mar. 2017.

FAZZAN, J. V; PEREIRA, A. M; AKASAKI, J. L. **Estudo da viabilidade de utilização do Resíduo de Borracha de Pneu em Concretos Estruturais.** São Paulo: Fórum Ambiental da Alta Paulista, 2016. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/viewFile/1484/1506> Acesso em: 05 mar. 2017.

PEREIRA, Thiago Pastre. **Estudo do concreto de alto desempenho com adição de Borracha. Ilha Solteira: UNESP, 2016.** Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/147122/pereira_tp_me_ilha.pdf?sequence=4&isAllowed=y> Acesso em: 05 mar. 2017.

CONCEIÇÃO, Thiago. **Novas tecnologias “invadem” o mercado da construção civil.** São Paulo: Portal A Tarde – UOL, 2017. Disponível em: < <http://atarde.uol.com.br/imoveis/noticias/1843199-novas-tecnologias-invadem-o-mercado-da-construcao-civil>> Acesso em: 05 mar. 2017.

E-CIVIL. **Composição dos cimentos Portland.** 2012. Disponível em:< http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland_composicao.htm >. Acesso em: 05 mar. 2017.