

UTILIZAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E BORRACHA DE PNEU NA PRODUÇÃO DE CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

GABRIELLA CONTESINI PEDRONI^{1*}, SÍLVIA SANTOS²

¹Acadêmica Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC. Fone: (47) 33417829, gabriellapedroni@edu.univali.br

²Dr^a. Professora Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC. Fone: (47) 33417829, ssantos@univali.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016–Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar, por meio de ensaios de resistência à compressão axial e profundidade de carbonatação, a possibilidade de produção de um concreto de alto desempenho (CAD) utilizando na mistura borracha triturada de pneu (BP) e cinza de casca de arroz (CCA). Para tanto, foram produzidos dois concretos referência: o primeiro sem incorporação de resíduo, e o segundo com 3% de borracha de pneu em substituição a areia fina do traço. Os outros três concretos produzidos continham, além dos mesmos 3% de borracha de pneu, cinza de casca de arroz (moída a seco) em substituição parcial em volume absoluto de cimento, nos teores de 5, 8 e 15% cada. A partir dos resultados, avaliou-se as propriedades supracitadas e constatou-se que se pode produzir concretos de alto desempenho com resíduos de BP e CCA para fins estruturais, destacando-se sob a ótica da sustentabilidade, contribuindo para minimizar os impactos negativos gerados pela indústria do concreto no meio ambiente, diminuindo o consumo de matéria-prima, recursos naturais e energia.

PALAVRAS-CHAVE: concreto de alto desempenho; borracha de pneu; cinza de casca de arroz, sustentabilidade.

USING OF RICE HUSK ASH AND CRUSHED TIRE RUBBER IN HIGH PERFORMANCE CONCRETE PRODUCTION

ABSTRACT: This work was to evaluate, through the axial compressive strength test and depth of carbonation, the possibility of production of a high performance concrete (CAD) using the mixture of tire crumb rubber (BP) and rice husk ash (CCA). Therefore, two reference concretes were produced: the first without residue incorporation, and the second with 3% of tire rubber to replace the thin sand. The other three produced concrete contained, beyond 3% of the same tire rubber, rice husk ash (ground dry) in partial substitution in absolute volume of cement, the percentages of 5, 8, and 15% each. From the results, the above properties were evaluated and it was found that can be produced high performance concrete with waste BP and CCA, highlighting from the perspective of sustainability, helping to minimize the negative impacts generated by the concrete industry on the environment, reducing the consumption of raw materials, natural resources and energy.

KEYWORDS: high performance concrete; tire rubber; rice husk ash; sustainability.

INTRODUÇÃO

Segundo o American Concrete Institute – ACI (1991), o concreto de alto desempenho é aquele que combina propriedades especiais de uniformidade e de desempenho que não podem ser alcançados rotineiramente com os materiais convencionais e as práticas de dosagem normais. Entre essas propriedades, citam-se: a facilidade de lançamento e compactação do concreto sem que ele segregue; as altas resistências mecânicas em longo prazo; a alta resistência à compressão de curto prazo; a estabilidade volumétrica; a baixa permeabilidade e, conseqüentemente, a durabilidade.

Todavia, o uso do concreto de alto desempenho pode proporcionar, ainda, uma redução do volume total de concreto da obra, o que, conseqüentemente, reduz o consumo de componentes, energia e emissão de CO₂, referentes à produção, transporte e lançamento do mesmo (BIANCHINI, 2010).

Somado a isso, e com o intuito de potencializar a capacidade de absorver e reciclar resíduos, é que se iniciaram muitas pesquisas afim de diminuir o impacto ambiental que a construção civil causa no

país, a partir do descarte incorreto dos materiais e pela grande utilização de recursos naturais empregados como matéria prima na produção de concreto.

Dentre diversos resíduos industriais com projeção globalizada quanto ao impacto ambiental gerado tem-se a borracha provinda de pneu inservível, a qual, por apresentar demorada degradação e perfazer quantidades colossais, tem sido objeto de estudo de inúmeras pesquisas que visam, entre outras aplicações, aproveitar uma fração desse enorme potencial na produção de concretos, substituindo parte do agregado na sua produção, por borracha de pneu triturada (BP) (MARTINS, 2005).

Na agro-indústria, o processo de beneficiamento do arroz, após a queima da sua casca, também gera volumes consideráveis de resíduos, a cinza de casca de arroz (CCA). Essas cinzas vêm se mostrando, desde muito tempo, uma matéria-prima com alto potencial em estudos que buscam o reaproveitamento de resíduos na construção (SANTOS, 2006).

Diante deste cenário, a presente pesquisa buscou avaliar a possibilidade de produção de CAD utilizando na mistura borracha triturada de pneu triturada e cinza de casca de arroz, substituindo, respectivamente, agregado miúdo e cimento, estudando as características mecânicas e de desempenho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos para elaboração da pesquisa partiram da caracterização dos materiais utilizados para a posterior definição dos teores de BP e CCA que seriam utilizados nos concretos. O traço 1 : 0,61 : 1,13 : 2,41 : 0,45, adotado como referência, partiu de pesquisa feita por Barbosa (2006), trabalho que objetivou também a produção de concreto de alto desempenho com adição de CCA e BP, porém com diferentes propriedades e teores. Contudo, optou-se por uma relação água/(material cimentante) mais elevada, já que com a relação adotada pela referida autora, de 0,30, o limite máximo de aditivo, que segundo o fabricante é de 1% sobre a massa de cimento, não seria suficiente para atingir o *slump test* desejado (16 ± 2)cm, visando a produção em central dosadora de concreto. Portanto, o traço adotado como referência tem resistência característica desejada aos 28 dias (f_{ck}) maior ou igual 50 MPa, não possui qualquer adição de resíduo e seu consumo de cimento é de $426,37 \text{ kg/m}^3$.

Os materiais utilizados na pesquisa foram caracterizados de acordo com as respectivas normas técnicas vigentes. O aglomerante utilizado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI); uma composição entre duas areias naturais (Areia A e B) foi utilizada para formação do agregado miúdo final (35% da areia A e 65% da areia B); o agregado graúdo utilizado foi uma brita granítica com diâmetro máximo de 9,5mm; e o aditivo empregado foi um plastificante, disponibilizado pela empresa RheoSet-GRACE® Construction Products e é denominado Tec-Mult 960.

A borracha de pneu triturada foi utilizada *in natura* como substituição parcial em massa (3%) do agregado miúdo natural com a granulometria mais fina (areia A), a fim de diminuir a quantidade de finos no traço que demandariam maior quantidade de água e/ou aditivo. A Cinza de Casca de Arroz foi utilizada em substituição em volume absoluto de cimento, com o objetivo de gerar uma maior economia quando comparado a estudos contendo adição de CCA e de contribuir para recuperação da possível perda de resistência dos concretos devido à incorporação da borracha de pneu à mistura. Além disso, com o intuito de utilizar uma CCA com uma reatividade melhorada, buscando-se ao mesmo tempo um produto com sustentabilidade energética, ou seja, um tempo curto de moagem com gasto menor de energia, optou-se por moê-la na betoneira junto com a quantidade de brita do traço pelo tempo de 5 minutos, obtendo-se uma massa específica de $2,20 \text{ g/cm}^3$. Posterior a moagem da CCA, também se realizou o ensaio de índice de desempenho de materiais pozolânico (NBR 5752:2014).

No estado endurecido, foram feitos dois ensaios: 1) Resistência à compressão axial, conforme NBR 5739:2007, nas idades de 3, 7, 28, 63 e 182 dias, sendo 8 corpos-de-prova por idade; 2) Medida de carbonatação, onde mediu-se o pH do concreto com o indicador timolftaleína, realizado em 8 CPs, nas idades de 28 e 182 dias, seguindo o procedimento descrito por Andrade Perdrix (1992). Para todos os traços, o ensaio foi realizado após o rompimento dos corpos-de-prova, onde esses eram abertos e a solução de timolftaleína era borrifada nas suas faces internas. A parte não carbonatada imediatamente tornava-se azul escuro (arroxeadado), e a parte já carbonatada permanecia incolor, localizada normalmente nas bordas do CP, e era medida com um paquímetro.

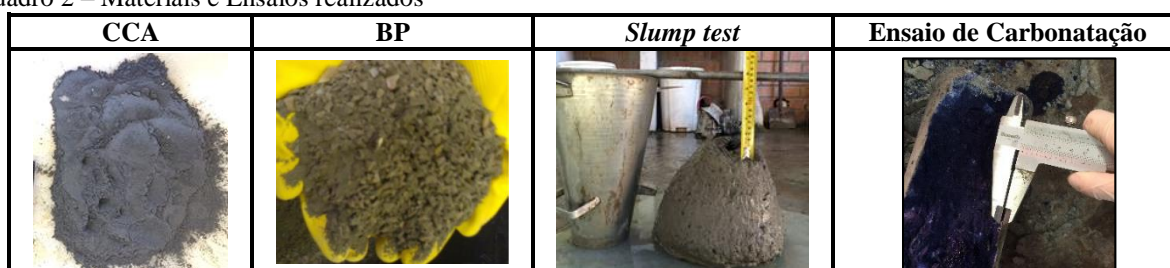
Foram determinados 5 traços a serem produzidos (Quadro 1). Os concretos produzidos foram moldados de acordo com a NBR 5738:2015, sendo utilizados corpos-de-prova (CPs) com diâmetro correspondente a 10cm e altura de 20cm. No estado fresco, todos os traços foram submetidos ao ensaio de Abatimento de Tronco de Cone (*slump test*), conforme NBR NM 67:1998, sendo o valor de abatimento fixado em (16±2)cm, para que fosse possível o bombeamento do concreto.

Quadro 1 - Descrição e quantidade de corpos-de-prova (CPs) dos concretos produzidos.

Sigla	Descrição	Nº CPs
REF	CAD Referência com 0% de BP e 0% de CCA	48
3BP	CAD Referência com 3% de BP e 0% de CCA	48
3BP5C	CAD com 3% de BP e 5% de CCA	48
3BP8C	CAD com 3% de BP e 8% de CCA	48
3BP15C	CAD com 3% de BP e 15% de CCA	48
TOTAL		240

O Quadro 2 traz imagens dos materiais utilizados e concretos produzidos.

Quadro 2 – Materiais e Ensaios realizados



RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado obtido para o ensaio de índice de desempenho do material pozolânico (CCA) em relação ao cimento Portland foi de 81%. Conforme a NBR 12653:2014, para ser considerado um material pozolânico, o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias, em relação ao controle (determinado pelo ensaio descrito na NBR 5752:2014) deve ser $\geq 90\%$. Sendo assim, o material em análise não se classifica como pozolana.

Porém, é necessário destacar que o objetivo dessa pesquisa foi utilizar a CCA como resíduo substituto ao cimento dentro de concretos, e não à fabricação de cimentos. Além disso, o material foi moído, sem controle, apenas por 5 minutos. Com isso, entende-se que, com tempos maiores de moagem, ou com um melhor controle da superfície específica final após a moagem, possivelmente o índice de desempenho da CCA seria mais elevado.

A primeira análise dos concretos produzidos é feita em relação ao seu estado fresco, onde foi possível observar que todos os concretos atingiram a trabalhabilidade, fixada de (16±2)cm, sem ultrapassar a quantidade máxima de aditivo prescrita pelo fabricante, de 1% sobre o material cimentante. Além disso, constatou-se uma mistura uniforme, coesa, concretos bem argamassados, sem verificação de desagregação e/ou exsudação.

A Tabela 1 ilustra o desempenho de cada um dos concretos produzidos em relação à resistência a compressão. Feita a análise múltipla de médias a partir do teste de Duncan (NANI, 1986) para todas as idades (3, 7, 28, 63 e 182 dias) com 95% de confiança, pode-se afirmar que não existe diferença significativa entre os resultados de todos os concretos com resíduos (3BP, 3BP5C, 3BP8C, 3BP15C) em relação ao concreto referência (REF).

Analisando os valores obtidos de desvio padrão, pode-se verificar que são adequados ao tipo de ensaio realizado, estando abaixo dos valores estabelecidos por norma para dosagem experimental. Além disso, os valores encontrados para coeficiente de variação foram todos $\leq 20\%$, o que, para análise de concretos, determinam amostras com pouca variação.

O expressivo valor da resistência à compressão axial dos concretos nas primeiras idades se deve à utilização do cimento CPV-ARI (cimento de alta resistência inicial). Além disso, aos 28 dias somente os concretos REF e 3BP5C atingiram, numericamente, o fck desejado de 50,0 MPa.

Tabela 1 – Resistência à compressão

Idade (dias)	Resistência à Compressão Axial Média (MPa)				
	REF	3B	3B5C	3B8C	3B15C
3	36,7	32,7	33,1	27,8	30,4
7	39,8	38,0	39,0	34,8	34,9
28	53,6	47,5	52,0	49,5	46,6
63	59,7	58,4	58,0	51,2	54,7
182	66,0	62,5	65,6	59,8	62,3

De forma geral, os resultados indicam que, avaliando-se somente as resistências à compressão axial aos 28 dias (exigência normativa), o concreto com resíduo que obteve a maior resistência foi o 3BP5C, perdendo apenas para o REF. Ao avaliar-se o desempenho ao longo do tempo, principalmente da idade dos 28 dias até a idade de 182 dias, percebe-se que os concretos com resíduos de CCA obtiveram maiores incrementos de resistência em relação ao REF.

Vale salientar-se que, mesmo com a exigência normativa de avaliar a resistência à compressão de concretos aos 28 dias, quando se trata de concretos com resíduos como a CCA, é preciso levar em conta maiores períodos de estudo, já que a mesma passa a colaborar de forma significativa apenas em idades mais avançadas. Além disso, para cada tipo de queima e moagem da CCA, suas propriedades surgem de uma maneira diferente dentro da massa de concreto, indicando que existe uma porcentagem ideal de CCA a ser alcançada para cada mistura pretendida.

Os fatos acima mencionados podem ser observados comparando o crescimento da resistência dos 28 para os 182 dias dos concretos REF e 3BP15C, os quais passaram de 53,6 MPa e 46,6 MPa aos 28 dias, para 66,0 MPa e 62,3 MPa aos 182 dias, respectivamente, resultando em um aumento de 23,08% para o REF contra 33,84% para o 3BP15C.

Assim, pode-se concluir que, independente do teor de CCA utilizado em substituição parcial do cimento, esta foi capaz de recuperar, dentro das limitações deste trabalho e para as idades aqui avaliadas, a resistência à compressão axial dos concretos, perdida inicialmente pela incorporação de BP às misturas.

Em relação à profundidade de carbonatação (medida em mm), observando a Tabela 2, é possível afirmar que as medidas encontradas para as duas idades em análise não são expressivas para essa propriedade. Os valores aumentaram ligeiramente entre as leituras para as duas idades em análise, mas sem grandes mudanças. Variações do ensaio ou falhas no CP podem ter gerado leituras inversas para o 3BP, já que o normal é que a profundidade carbonatada aumente ou estabilize ao longo do tempo.

Tabela 2 - Profundidade média de carbonatação (em mm)

Idade	REF	3BP	3B5C	3B8C	3B15C
28	1,43	1,85	1,47	1,81	1,50
182	2,35	1,76	1,84	1,83	1,50

Para o REF (CAD), com baixa porosidade e conseqüentemente alta durabilidade, o comportamento já era esperado. Porém, um dos objetivos da pesquisa foi avaliar se os concretos com incorporação de resíduos também se comportariam da mesma maneira. Portanto, é possível perceber que houve melhora do comportamento de carbonatação dos concretos, certamente pela presença de CCA. Observar-se também que, com o aumento da incorporação da CCA dos concretos 3BP5C até o 3BP15C, diminui a diferença de profundidade carbonatada medida entre os 28 e 182 dias, se comparada ao REF. Essa tendência era esperada, já que, com a presença da CCA em substituição parcial ao cimento, reduz-se a quantidade de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) presente na mistura, uma vez que a CCA combina-se com ele. Havendo uma menor quantidade de Ca(OH)_2 , há uma conseqüente redução da profundidade carbonatada.

É importante destacar que a carbonatação é um fenômeno químico que acontece ao longo do tempo, ou seja, a profundidade carbonatada tende a aumentar com o passar dos dias. Além disso, a cinza de casca de arroz só passa a agir com idades mais avançadas. Portanto, ensaios com idades superiores às medidas nesta pesquisa, conseqüentemente trariam resultados mais precisos sobre a contribuição da CCA na redução da carbonatação dos concretos aqui avaliados.

CONCLUSÕES

No estado fresco todos os concretos obtiveram bons resultados, atingindo a trabalhabilidade desejada de (16 ± 2) cm. No estado endurecido, foram avaliadas propriedades de resistência à compressão axial e profundidade de carbonatação (em mm). No teste de análise múltipla de médias, para todas as idades, os resultados afirmaram que não existem diferenças significativas para as médias encontradas, podendo-se concluir que o melhor concreto produzido foi aquele com a maior quantidade de resíduo incorporado, trazendo maiores benefícios ambientais. Sendo assim, o 3BP15C foi o concreto que melhor atendeu aos objetivos do estudo, por absorver, além de borracha de pneu triturada, a cinza de casca de arroz em maior quantidade.

Em relação à carbonatação, os concretos com CCA em sua constituição apresentaram o melhor comportamento que os demais. Com isso, o concreto que melhor se destacou foi também o 3BP15C, já que não houve diferenças entre as medidas de carbonatação dos 28 aos 182 dias.

Assim, pode-se concluir que a utilização da CCA, além de melhorar a durabilidade dos concretos produzidos, poderá gerar uma redução na emissão de CO_2 , visto que o consumo de cimento diminuiria, além de resultar em uma possível diminuição no custo de produção dos concretos (SANTOS, 2006). Junto a isso, a diminuição da exploração de jazidas de areia e a retirada de resíduos poluentes da natureza (pela substituição parcial da areia natural por BP), também contribuem para a escolha do 3BP15C como o melhor concreto produzido.

Por fim, pode-se concluir, dentro dos limites deste trabalho, que a utilização de misturas binárias de borracha de pneu triturada e cinza de casca de arroz mostra-se potencialmente viável na produção de concretos de alto desempenho utilizando cimento Portland, contribuindo para a sustentabilidade ambiental ao diminuir o consumo de cimento e incorporar resíduos às misturas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committee 363R.State-of-the-art report on high-strength concrete. ACI Manual of concrete practice, Detroit, part 1. 49p, 1991.
- ANDRADE PERDRIX, M. C. Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. São Paulo: Pini, 1992. 104 p. Tradução e adaptação de: Antônio Carmona e Paulo Helene.
- BARBOSA, M. B. Utilização de resíduos de cinza de casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho. 2006. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Unesp, Ilha Solteira, 2006.
- BIANCHINI, M. Análise da influência dos teores de sílica ativa na produção de concretos de alta resistência em central dosadora de concreto. Dissertação de Mestrado PPGCC - UFPR, Curitiba, 2010.
- MARTINS, I. R. F. Concreto de Alto Desempenho com Adição de Resíduos de Borracha de Pneu. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Ilha Solteira, 2005.
- NANI, L. F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. Porto Alegre, 1986. Caderno Técnico.
- SANTOS, S. Produção e Avaliação do Uso de Pozolana com Baixo Teor de Carbono Obtida da Cinza de Casca de Arroz Residual para Concreto de Alto Desempenho. 2006. 187 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.