

AVALIAÇÃO DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM INCORPORAÇÃO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ E BORRACHA DE PNEU TRITURADA

GABRIELLA CONTESINI PEDRONI¹; TAINÁ SARAMENTO²;
CAMILA VOLTOLINI MORETÃO³; MATHEUS AGUSTINI⁴; SÍLVIA SANTOS^{5*}.

¹Engenheira Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, gabriellapedroni@hotmail.com;

²Graduanda em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, tainasaramento@hotmail.com;

³Graduanda em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, camilavoltolinim@hotmail.com;

⁴Graduando em Engenharia Civil, UNIVALI, Itajaí-SC, matheus-agustini@hotmail.com;

⁵Professora Doutora, UNIVALI, Itajaí-SC, ssantos@univali.br.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil.

RESUMO: Esta pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar, por meio de ensaios de resistência à compressão axial e módulo de elasticidade, a possibilidade de produção de um concreto convencional utilizando na mistura borracha de pneu triturada (BP) e cinza de casca de arroz (CCA). Para tanto, foram produzidos, com base em um traço disponibilizado por uma central dosadora de concreto da região da Foz do Vale do Itajaí - SC, um concreto referência (REF) sem incorporação de resíduos e outros três concretos com teor fixo de 10% de borracha de pneu triturada e cinza de casca de arroz (moída a seco por 5 minutos) em substituição parcial em volume absoluto de cimento, nos teores de 5, 10 e 15%. A partir dos resultados, avaliou-se as propriedades supracitadas e constatou-se que se pode produzir concretos convencionais com resíduos de BP e CCA combinados, para fins estruturais. Cabe destacar que os concretos produzidos com múltiplos resíduos contribuem para minimizar os impactos negativos gerados pela indústria do concreto no meio ambiente, diminuindo o consumo de matéria-prima virgem, recursos naturais e energia.

PALAVRAS-CHAVE: concreto com resíduos; borracha de pneu; cinza de casca de arroz, sustentabilidade.

EVALUATION OF CONCRETE PRODUCED WITH RICE HUSK ASH AND SHREDDED TIRE RUBBER

ABSTRACT: The purpose of this research was to evaluate the possibility of production conventional concrete using in the mixtures, shredded tire rubber (BP) and rice husk ash (CCA), through the axial compressive strength and modulus of elasticity tests. Therefore, reference concrete (REF) without waste addition and others three mixes with shredded tire rubber with 10% fixed rate and rice husk ash in partial replacement in absolute cement volume, in the contents of 5, 10 and 15 % were produced based in a real mix provided by a central batching concrete in the Foz do Vale do Itajaí – SC. From the results, the aforementioned properties have been evaluated and it was found that it is possible to produce conventional concretes with wastes of BP and CCA for structural purposes. It should be noted that concretes produced with multiple wastes contribute to the environmental impact reduction negative occasioned by the concrete industry in the environment, to minimize the virgin raw materials consumption, natural resources and energy.

KEYWORDS: concrete with waste; tire rubber; rice husk ash; sustainability.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das estruturas de concreto armado vem exigindo do mercado da construção civil o uso mais abundante de materiais e matérias-primas para suprir a demanda. Conseqüentemente, é possível observar o crescente impacto ambiental que o setor da construção civil causa, a partir do descarte incorreto dos materiais e pela vasta utilização de recursos naturais. Segundo

França (2004), a construção civil no Brasil é responsável por cerca de 30% do consumo de recursos extraídos da natureza, principalmente para a produção de concretos e argamassas.

Todavia, a construção civil também tem a capacidade de absorver e reciclar, tanto seus próprios resíduos, como resíduos oriundos de outros setores produtivos. Com o intuito de aproveitar ao máximo o que os materiais residuais podem oferecer com o incentivo ao reuso e à reciclagem, deu-se início, há algumas décadas, a muitas pesquisas envolvendo concretos, de forma a substituir os agregados naturais e/ou aglomerantes por tais materiais

Dentre os diversos resíduos industriais com projeção globalizada quanto ao impacto ambiental gerado, tem-se a borracha resultante 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 (MARTINS, 2005; GUARDIANO, 2013; PADILHA e SANTOS, 2015).

Os resíduos agroindustriais são um dos problemas atuais enfrentado por países como o Brasil, que tem sua economia fortemente baseada no agronegócio, principalmente em relação ao arroz. O volume de casca do cereal resultante do beneficiamento do grão é extremamente elevado e possui baixo valor comercial. Contudo, sua casca possui alto poder calorífico, sendo então essa alternativa utilizada pelas indústrias a fim de gerar energia para o processo de parboilização do grão, o que, por fim, origina outro resíduo: a cinza de casca de arroz. Essas cinzas vêm se mostrando uma matéria-prima com alto potencial em estudos que buscam o reaproveitamento de resíduos na construção por se apresentarem como pozolanas de alta reatividade (SANTOS, 2006; GUARDIANO, 2013; PADILHA e SANTOS, 2015).

Assim, o objetivo desse trabalho foi verificar a viabilidade de produção de concreto convencional com misturas binárias de borracha triturada de pneus inservíveis (BP) e CCA, tentando, com o uso conjunto desses materiais, aperfeiçoar as propriedades do concreto convencional, bem como reduzir o impacto ambiental tanto por esses resíduos como pela extração de material para a produção de concreto.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tomou-se como base a pesquisa realizada por Padilha e Santos (2015), a qual utilizou um traço referência utilizado por centrais dosadoras da região de Itajaí/SC. Portanto, o traço adotado como referência corresponde à 1 : 1,46 : 1,19 : 2,96 : 0,61 (cimento : areia A : areia B : brita 0 : água), tem resistência característica desejada aos 28 dias (fck) de 30 MPa, não possui qualquer adição de resíduo e seu consumo de cimento é de 320 kg/m³.

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); O agregado graúdo utilizado foi a brita granítica com diâmetro máximo de 9,5 mm; Uma composição entre duas areias naturais (Areia A e B) foi utilizada para formação do agregado miúdo final (55,1% da areia “A” + 44,9% da areia “B”); e, por fim, o aditivo empregado foi um plastificante, disponibilizado pela empresa RheoSet-GRACE® *Construction Products*, sendo este denominado Tec-Mult 900.

A borracha de pneu triturada (BP) foi utilizada *in natura* como substituição parcial em massa (10%) do agregado miúdo natural que demandava maior consumo (Areia A - 55,1%), ou seja, a areia que tivesse maior proporção no traço referência. A CCA foi utilizada em substituição em volume absoluto de cimento, com o objetivo de gerar uma maior economia quando comparado à estudos contendo adição ou substituição em massa de CCA. Além disso, foi realizada a moagem a seco da CCA por cinco minutos na betoneira, junto à toda brita a ser usada no traço, com o objetivo de melhorar sua atividade pozolânica. A moagem modifica a finura, a densidade e a forma da partícula, influenciando diretamente a relação água/(cimento+cinza) e na demanda de água pelo concreto.

Os materiais originais do traço foram assim substituídos: cimento por CCA em 5, 10 e 15%, e de 10% do agregado miúdo mais fino por borracha de pneu triturada. Deste modo, foram determinados quatro traços a serem produzidos. Todos os concretos e seus respectivos teores, bem como a quantidade de corpos-de-prova de cada traço, estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Corpos-de-prova (CPs) dos concretos produzidos.

| Sigla | Descrição | n° CPs |
|----------------|--|--------|
| REF | Concreto Referência com 0% de BP e 0% de CCA | 30 |
| 10BP5C | Concreto com 10% de BP e 5% de CCA | 30 |
| 10BP10C | Concreto com 10% de BP e 10% de CCA | 30 |
| 10BP15C | Concreto com 10% de BP e 15% de CCA | 30 |
| TOTAL | | 120 |

Para todos os concretos produzidos realizaram-se os seguintes ensaios: ensaio de Abatimento de Tronco de Cone conforme NBR NM 67 (1998), com valor estabelecido em (10 ± 2) cm; e ensaios resistência à compressão axial (NBR 5739:2007) e Módulo de Elasticidade (NBR 8522:2008).

Todos os CPs foram desformados com um dia de idade, sendo que quatro deles já foram rompidos com essa idade, e o restante destinado a cura imersa em água até a idade de ensaio indicada, sendo: quatro CPs com sete dias; oito CPs com 28 dias; e oito CPs com 63 dias. Para o ensaio de módulo de elasticidade, utilizou-se três CPs para cada idade ensaiada (28 e 63 dias).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira análise dos concretos produzidos foi feita em relação ao seu estado fresco, onde foi possível observar que os traços REF, 10BP5C e 10BP10C atingiram a trabalhabilidade, fixada de (10 ± 2) cm, sem ultrapassar a quantidade máxima de aditivo prescrita pelo fabricante, de 1,2% do material cimentante. Contudo, o traço 10BP15C consumiu a quantidade máxima de aditivo sem ser capaz de alcançar a trabalhabilidade desejada. Isso se deve ao alto teor de finos presente na mistura, e ao limite da capacidade do aditivo utilizado. Provavelmente, a troca por um aditivo de maior eficiência poderia fazer com que o concreto atingisse a trabalhabilidade requerida, validando assim, também, essa mistura. Ao realizar-se o ensaio de abatimento de tronco de cone, foram observadas misturas uniformes, coesas, concretos bem argamassados, sem verificação de desagregação e exsudação, tanto para o concreto referência, como os concretos com incorporação de resíduos, mesmo o 10BP15C, o qual não atingiu a trabalhabilidade requerida.

As médias dos resultados obtidos de resistência à compressão axial para os corpos-de-prova e o coeficiente de variação (CV), para o todos os concretos produzidos, estão apresentados na Tabela 1. 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).

Tabela 1 - Resistência à compressão axial dos corpos-de-prova.

| Idade (dias) | REF | | 10BP5C | | 10BP10C | | 10BP15C | |
|--------------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
| | Resistência (MPa) | CV (%) | Resistência (MPa) | CV (%) | Resistência (MPa) | CV (%) | Resistência (MPa) | CV (%) |
| 1 | 9,98 | - | 9,20 | - | 9,85 | - | 5,20 | - |
| 7 | 33,30 | - | 25,75 | - | 24,40 | - | 25,23 | - |
| 28 | 38,25 | 3,12 | 31,14 | 2,69 | 28,15 | 4,16 | 28,24 | 4,39 |
| 63 | 38,45 | 1,65 | 33,47 | 4,15 | 31,94 | 1,94 | 32,90 | 5,82 |

Analisando os valores obtidos para desvio-padrão dos resultados de ruptura, pode-se verificar que são adequados ao tipo de ensaio realizado, estando abaixo dos valores estabelecidos pela boa prática para dosagem experimental. Além disso, os valores encontrados para coeficiente de variação foram todos $\leq 20\%$ (entre 1,65 e 5,82%), o que, para análise de concretos, determina amostras com pouca variação. Além disso, para comparação dos concretos, foi realizada uma análise múltipla de médias a partir do teste de Duncan (NANNI, 1986). Estes comparativos de médias foram realizados, com 95% de confiança, para todos os traços aos 28 e 63 dias, com o auxílio do *software* Excel.

A análise das resistências médias aos 28 dias indicou que os valores atingidos por todos os traços são significativamente diferentes quando comparados ao traço referência, sendo inferiores a este. Entre os concretos com resíduo, apenas os traços 10BP10C e 10BP15C não diferem entre si nesta idade. O traço 10BP5C difere de todos os demais traços. Ao realizar a análise de médias na idade de 63 dias, os traços que possuíam resíduos em sua mistura (10BP5C, 10BP10C e 10BP15C), não apresentaram diferenças significativas entre si. Porém, se comparados ao concreto referência (REF),

os concretos com resíduo apresentaram diferença significativa, ainda com desempenho inferior a este. Assim, independente do teor de CCA utilizado pode-se observar que, o uso da CCA em substituição parcial de cimento, não foi capaz de recuperar totalmente, para as idades aqui avaliadas, a resistência à compressão axial dos concretos atingida pelo concreto referência, perdida pela incorporação de BP às misturas.

Além do concreto referência, o traço 10BP5C também atingiu o fck, porém com um valor inferior ao REF. Os demais traços (10BP10C e 10BP15C) apenas atingiram o fck adotado aos 63 dias de idade, entretanto nenhum deles foi capaz de igualar ou ultrapassar o resultado de resistência à compressão axial obtido pelo concreto referência. Esse fato pode ser explicado pela maior presença de finos na mistura devido à presença dos resíduos de borracha de pneu triturada e cinza de casca de arroz, além das misturas terem menor consumo de cimento devido a substituição do mesmo por CCA.

Ao avaliar-se o desempenho ao longo do tempo, ou seja, 28 para os 63 dias, percebe-se que os concretos com resíduos obtiveram maiores incrementos de resistência em relação ao REF, indicando um possível crescimento de resistência para idades superiores, o que é esperado em função das propriedades pozolânicas do material - CCA.

Cabe destacar 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 tardias. Do mesmo modo, para cada tipo de queima e moagem da CCA, suas propriedades surgem de uma maneira diferente dentro da massa de concreto, indicando que existe um teor ideal de CCA a ser alcançada para cada mistura pretendida, bem como uma combinação mais adequada entre as porcentagens de substituição de CCA e BP, já que a borracha causa um decréscimo na resistência à compressão axial (MARTINS, 2005; GUARDIANO, 2013).

Os fatos acima mencionados podem ser observados comparando o crescimento da resistência dos 28 para os 63 dias dos concretos REF e 10BP15C, a qual passaram de 38,25 MPa e 28,24 MPa aos 28 dias, para 38,45 MPa e 32,90 MPa aos 63 dias, respectivamente, resultando em um aumento de 0,52% para o REF contra 16,51% para o 10BP15C.

A previsão de valores de módulo de elasticidade estático (E) para todos os concretos, produzidos conforme a NBR 6118 (2014) e os resultados obtidos nos ensaios realizados segundo a NBR 8522 (2008), para a mesma propriedade, estão reunidos na Tabela 2. Todos os concretos obtiveram resultados de módulo de elasticidade medido menores que o teórico para a mesma idade. Isso já era esperado, já o valor teórico é uma estimativa, que não leva em consideração os resíduos adicionados à mistura.

Tabela 2 - Resultados de Módulo de Elasticidade.

| Concreto | REF | | 10BP5C | | 10BP10C | | 10BP15C | |
|------------------------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | 28 | 63 | 28 | 63 | 28 | 63 | 28 | 63 |
| E teórico (GPa) | 29,44 | 30,67 | 26,56 | 28,82 | 25,25 | 28,82 | 25,29 | 26,02 |
| E medido (GPa) | 27,86 | 28,57 | 26,54 | 27,41 | 25,12 | 26,74 | 22,88 | 24,31 |

Comparando as duas idades analisadas, dos 28 para os 63 dias, todos os concretos obtiveram um crescimento no valor do módulo de elasticidade, tanto para o teórico quanto para o medido, isso porque, com maiores idades a resistência à compressão cresce, além de ser perceptível a influência da CCA dentro das propriedades do concreto.

Ao fazer o comparativo dos módulos de elasticidade estático medidos, os maiores valores foram do REF para as duas idades. Dentre os concretos com resíduo, o 10BP5C foi o que obteve o maior valor, e mais próximo do REF, para as duas idades avaliadas. O menor valor obtido para essa propriedade foi do 10BP15C, para as duas idades. Foi observado que, de maneira geral, os concretos com resíduos obtiveram valores menores de módulo de elasticidade que o concreto REF, característica essa já visualizada nas pesquisas de Guardiano (2013) e Padilha e Santos (2015). Em geral, todos os concretos com resíduos apresentaram módulos de elasticidade da ordem de grandeza de concretos sem resíduos, e por essa propriedade, o uso de resíduo não impede a sua aplicação.

CONCLUSÕES

No estado fresco, somente o traço 10BP15C não atingiu a trabalhabilidade desejada de (10 ± 2) cm, sem ultrapassar a quantidade máxima de aditivo prescrita pelo fabricante de 1,2% do material cimentante. Contudo, todas as misturas ficaram coesas, bem argamassadas, sem verificação de desagregação e exsudação.

No teste de análise múltipla de médias, para todas as idades, os resultados afirmaram que existe diferença significativa para as médias de resistência à compressão encontradas, comparando os concretos com resíduos ao concreto REF. Porém, o traço 10BP5C atingiu o f_{ck} e, ao avaliar-se o desempenho ao longo do tempo, ou seja, 28 para os 63 dias, percebe-se que os concretos com resíduos obtiveram maiores incrementos de resistência em relação ao REF, indicando um possível crescimento de resistência para maiores idades, o que é esperado em função das propriedades pozolânicas da CCA. Em relação ao módulo de elasticidade, todos os concretos obtiveram resultados coerentes e foi também o traço 10BP5C que chegou ao maior valor encontrado. Por isso, pode-se concluir que o melhor concreto com resíduo produzido aqui foi 10BP5C, por gerar misturas que atingiram valores bem próximos àqueles estabelecidos.

Ainda, quanto ao uso de resíduos no concreto, a utilização da CCA, além de melhorar o desempenho dos concretos produzidos e a rigidez das peças estruturais, poderá gerar uma redução na emissão de CO_2 , visto que o consumo/produção de cimento diminuiria. O uso dos resíduos poderia ainda reduzir o custo de produção dos concretos (SANTOS, 2006). Junto à isso, tem-se também a diminuição da exploração de jazidas de areia e a retirada de resíduos poluentes da natureza, pela substituição parcial da areia natural por BP.

Portanto, 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 mostram-se potencialmente viáveis na produção de concretos convencionais utilizando cimento Portland, contribuindo para a sustentabilidade ambiental ao diminuir o consumo de cimento e incorporar resíduos às misturas.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto - determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.
- FRANÇA, V. H. Aderência Aço-Concreto - Uma análise do comportamento do concreto fabricado com resíduos de borracha. 2004. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.
- GUARDIANO, B.C. Estudo e avaliação de concretos produzidos com resíduos de borracha de pneu e adição de cinza de casca de arroz. 2013. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2013.
- MARTINS, I. R. de 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.
- NANNI, L. F. Análise estatística de dados com uso de técnicas computacionais. Porto Alegre, 1986. Caderno Técnico.
- PADILHA, V. Z.; SANTOS, S. Utilização de Cinza de Casca de Arroz e Borracha de Pneu Triturada na Produção de Concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57., 2015, Bonito. Anais.... IBRACON, 2015.
- 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 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.