

Efeito da cinza de casca de arroz na durabilidade de placas de fibrocimento

Rice husk ash's effect on the durability of fiber cement boards

RESUMO

Alice Maria Scalabrim
scalabrimmariaalice@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

José Ilo Pereira Filho
jlofilho@yahoo.com.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Claudia Regina Bernardi Baldin
claudiabaldin@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Nos últimos anos têm se intensificado a procura de materiais que possam substituir parte do cimento na produção de materiais cimentícios. Um desses materiais é a Cinza de Casca de Arroz (CCA). Estudos comprovam que a CCA finamente moída apresenta propriedades pozolânicas. O objetivo deste estudo foi analisar a durabilidade das placas de fibrocimento com substituição parcial de cimento Portland por CCA. Foram confeccionadas placas de fibrocimento e corpos-prova (CPs) de 100mm x 50 mm com teores de 0, 10, 20 e 30% de CCA em substituição ao cimento Portland CP V ARI, com adição de filler calcário e fibras de polipropileno e celulose como reforço. Foi realizado ensaios de durabilidade em ambiente externo e acelerados em câmara de carbonatação durante o período de 28, 56, 84 e 112 dias. Foram realizadas análises de profundidade de carbonatação dos CPs e ensaio de resistência mecânica à flexão três pontos. Com um aumento mais expressivo da carbonatação nas amostras com CCA, em comparação a amostra referência, os resultados obtidos demonstram que a durabilidade das placas foi mantida com a substituição do cimento Portland por CCA, para os teores de 10 e 20%, devido a melhora apresentada na resistência mecânica à flexão das placas.

PALAVRAS-CHAVE: Placas de fibrocimento. Cinza de casca de arroz. Carbonatação.

ABSTRACT

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



In recent years the search for materials that may come to replace the cement in the production of cementitious materials has intensified. One of these materials is the rice husk ash (RHA). Studies have shown that when RHA is finely ground has pozzolanic properties. The aim of this study was to analyze the durability of fiber cement boards with partial replacement of cement by RHA. Boards and samples of 100mm x 50mm were produced with 0, 10, 20 and 30% RHA contents in replace of Portland CP V ARI cement, addition of limestone filler and polypropylene and cellulose fibers as reinforcement. Durability tests in an external environment and accelerated in a carbonation chamber during periods of 28, 56, 84 and 112 days. Carbonation depth and three-point flexural strength tests were carried. With a significant carbonation increase in the samples with RHA compared to the reference sample, the results obtained demonstrate that the boards durability was maintained with the replacement of Portland cement by RHA, for 10 and 20% contents, due to the improvement presented in the mechanical resistance to the boards flexion.

KEYWORDS: Fiber Cement Boards. Rice Husk Ash. Carbonation.

INTRODUÇÃO

A substituição de parte do clínquer do cimento Portland pela cinza de casca de arroz pode ser justificada pela melhora em propriedades mecânicas e de durabilidade, assim como em relação à preservação do meio ambiente. As adições de resíduos podem permanecer inertes e agir como filler ou ter um efeito pozolânico e reagir com hidratos dos cimentos (como o hidróxido de cálcio), formando compostos com propriedades cimentícias. As cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e cinza de casca de arroz (CCA) resultantes da queima de resíduos vegetais em indústrias tem sido alvo de estudos, devido ao seu alto teor de sílica, que finamente moídas (tamanho de partícula menor que $45\ \mu\text{m}$) e em presença de umidade, possui propriedades pozolânicas (TIBONI, 2007).

A carbonatação da matriz em compósitos de fibrocimento é potencializada devido a sua alta porosidade em consequência do efeito das fibras, o que facilita a penetração de CO_2 no material. Sendo, a carbonatação, a reação dos produtos de hidratação do cimento com o dióxido de carbono (CO_2) (SILVA et al., 2009). Entretanto, para Toledo et al. (2003), Pizzol et al. (2014) e Tonoli et al. (2010), a carbonatação acelerada da matriz (ambiente saturado com CO_2) pode contribuir para o aumento da durabilidade em compósitos de fibrocimento com fibras de celulose, principalmente em idades iniciais de cura.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da substituição parcial do cimento Portland por CCA, nas propriedades mecânicas das placas de fibrocimento com reforço híbrido (fibras de celulose e PP) e a exposição a carbonatação natural e acelerada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados foram o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), filler calcário, cinza de casca de arroz (CCA), fibras de celulose e fibras de polipropileno (PP). Foi utilizado o cimento CPV ARI, pois o mesmo contém um teor de clínquer elevado e é mais reativo. Como material fino para o preenchimento de vazios foi utilizado o filler calcário.

A cinza de casca de arroz utilizada foi obtida da Empresa Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda e moída em moinho de bolas (Marca SERVITECH) pelo período de 2 horas (120 minutos). A massa específica da CCA utilizada é de $1,924\ \text{g/cm}^3$, o tamanho de suas partículas $12,87\ \mu\text{m}$ e a superfície específica (BET) $22.261\ \text{m}^2/\text{g}$ (ZAPARTE, 2020).

A determinação do índice de atividade pozolânica da CCA com cimento Portland foi realizada conforme determina a NBR 5752 (2014), sendo o índice de desempenho das argamassas produzidas a partir de um traço pré-determinado aos 28 dias. Foi produzido dois tipos de argamassas, a primeira de referência, conforme traço estipulado pela NBR 5752 (2014), e a segunda com 25% em massa de material pozolânico (neste caso a CCA), em substituição igual à porcentagem do cimento CP II-F-32. A quantidade de areia e água foram mantidas iguais para os dois traços.

Optou-se pela utilização de substituições com teores de 10, 20 e 30%. Para a mistura a fração em massa de cimento Portland variou entre 48 e 68,5%, de CCA

entre 0 e 13%, já a fração em massa dos outros materiais foi: 27 % de filler calcário, 3% de fibras de celulose e 1,5% de fibras de PP.

O fator água/cimento utilizado inicialmente para a mistura foi de 0,7, permitindo assim uma boa distribuição das fibras pela placa, facilitando a moldagem. As placas foram produzidas a partir do método Hatschek modificado para uso em laboratório (CALDAS E SILVA, 2002). Utilizou-se um misturador adaptado para facilitar o processo.

Inicialmente são colocadas ambas as fibras e a água na argamassadeira e deixadas repousar pelo período de um minuto, permitindo assim uma boa hidratação das fibras. Logo em seguida todos os materiais secos são adicionados à mistura por um período de um minuto, com a argamassadeira em velocidade baixa, e por fim são misturados em velocidade alta por dois minutos.

A moldagem, adensamento e prensagem das placas foi baseada no processo utilizado por Caldas e Silva (2002) em que a mistura é colocada na forma com dimensões de 200 x 200 mm, em seguida é espalhada pela forma com o auxílio de uma espátula e um nivelador. A forma está ligada à uma bomba de vácuo para sucção do excesso de água do compósito, esta bomba é acionada pelo período de 15 segundos, em seguida é utilizado um soquete metálico com dimensões de 50 x 75 mm em sua base e 200 mm de altura, com massa de 1098g para adensamento da placa, enfim a bomba é acionada novamente pelo período de 2 min e 45 segundos.

Finalizado o processo de sucção na forma as placas são prensadas durante 5 minutos com uma carga constante de 3,2 MPa. Em seguida é verificado o fator água/cimento final das placas, que foi em média de 0,29.

Foi utilizado a câmara de carbonatação marca Panasonic, modelo MCO-170AICUVL-PA para simular um processo de carbonatação que levaria um tempo muito maior em condições normais, a carbonatação acelerada. Os estudos realizados sobre a carbonatação acelerada não definem valores específicos de teor de CO₂, portanto optou-se por utilizar teor de 5±1%, por ser um teor maior do que aquele encontrado em ambientes naturais.

A temperatura ficou mantida em 40 ±1°C e a umidade relativa de 65±5%. Para manter a umidade relativa especificada foi utilizado uma solução saturada de NaNO₂ (Nitrito de Sódio) e monitorado o ambiente por meio de um *Data Logger* Akso AK170.

Inicialmente as amostras precisam passar por um processo chamado pré-condicionamento ou sazonzamento antes de serem colocadas na câmara. Após o processo de cura úmida por 28 dias as amostras permanecem em câmara climatizada (temperatura 23±1°C e umidade relativa de 60%) pelo período de 15 dias, em seguida são embaladas em filme plástico de PVC para redistribuição de umidade interna e continuam na câmara climatizada por 14 dias. Após este processo as amostras são colocadas na câmara de carbonatação.

Foram produzidas cinco placas para cada teor de substituição (0, 10, 20 e 30%), totalizando 20 placas de fibrocimento nas dimensões de aproximadamente 200x200x10mm, para cada data de rompimento: o primeiro lote com 4 placas foi utilizado como referência, com 28 dias de cura, e as demais utilizadas para as idades de 28, 56, 84 e 112 dias dentro da câmara. Os compósitos, após passarem

pelos processos anteriormente descritos, foram submergidos em água um dia antes do ensaio de resistência à flexão.

De cada placa foi possível obter 4 amostras com dimensões de 40x160mm, com espessura de aproximadamente 10mm, a fim de realizar o ensaio de flexão de três pontos, utilizando a máquina universal de ensaio AROTEC, modelo WDW-100E, célula de carga de 100KN, com velocidade de deslocamento 5,0mm/min (conforme NBR 15498,2016). A partir deste ensaio é determinada a resistência mecânica. Os resultados são obtidos a partir da média dentre as quatro amostras para posterior determinação do módulo de ruptura do material (MOR), o qual é calculado a partir da Eq. (1).

$$MOR = \frac{3Pl}{2bd^2} \quad (1)$$

Onde:

MOR= Módulo de ruptura (Mpa);

P= Carga máxima aplicada (N);

l = vão inferior entre cutelos (mm);

b = largura do corpo-de-prova (mm);

d = espessura do corpo-de-prova (mm).

Foram produzidos dois corpos de prova (CP) cilíndricos com dimensões de 50mm de diâmetro e 100mm de comprimento para cada teor de substituição (0, 10, 20 e 30%), sendo que metade deles foram mantidos em bancada externa, estando expostos às condições climáticas do ambiente, e a outra metade foi colocada na câmara de carbonatação, seguindo o método já descrito.

Estes CPs foram ensaiados para determinação da profundidade de carbonatação com idades de 28, 56, 84 e 112 dias, contados a partir da data em que foram colocados em bancada/câmara de carbonatação. Para cada idade de leitura as amostras foram cortadas com auxílio de equipamento (serra mármore) para extração de fatia de 20mm de espessura, o restante do CP retornava à bancada/câmara.

O ensaio para determinação da profundidade de carbonatação foi realizado por meio da fenolfataleína, um indicador químico de pH, sendo aspergida sobre a superfície da amostra, permitindo a diferenciação entre zona carbonatada, a qual apresenta coloração avermelhada, e não carbonatada, que permanece da sua cor inicial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química da CCA residual, obtida com o ensaio de fluorescência de raios X, é apresentada na Tabela 1. Ao analisar os materiais e suas quantidades presentes na CCA, conforme a Tabela 1, pode-se verificar que a CCA alcança todas as exigências químicas impostas pela NBR 12653 (2014), como a soma dos óxidos SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃ maior do que 70%, dentre outras exigências.

Tabela 1 – Exemplo de tabela

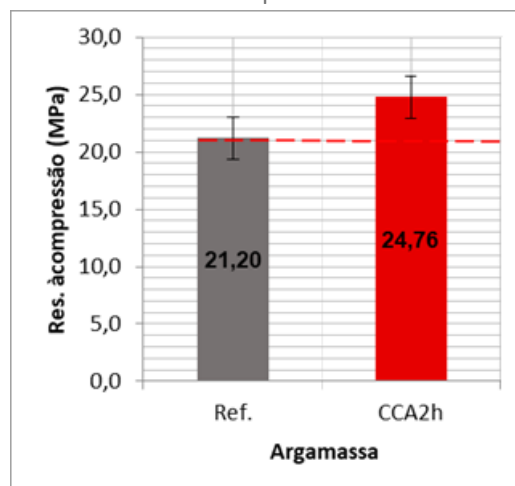
Composição Química	Percentual (%)	Composição Química	Percentual (%)
Silica (SiO ₂)	86,1	Óxido de Fósforo (P ₂ O ₅)	0,4
Óxido de potássio (K ₂ O)	1,8	Óxido de ferro (Fe ₂ O ₃)	0,3
Óxido de cálcio (CaO)	0,9	Óxido sulfúrico (SO ₃)	0,1
Óxido de Manésio (MgO)	0,4	Alumina (Al ₂ O ₃)	0,1
Óxido de Maganês (MnO)	0,4	Perda ao Fogo	9,44

Fonte: Autoria própria (2020).

O resultado das resistências à compressão das argamassas estudadas, com base no ensaio de atividade pozolânica com cimento (NBR 5752, 2014), estão apresentadas na Figura 1. A NBR 5752 (2014) preconiza que, para ser considerado um material pozolânico, o valor da resistência à compressão da argamassa com adição mineral aos 28 dias precisa ser igual ou superior a 90% do valor da argamassa de referência (que contém apenas cimento Portland).

Dessa forma, CCA moída 2h pode ser classificada como material pozolânico, sendo possível sua utilização na composição de cimento Portland composto, visto que a CCA apresentou um valor de resistência de 116,80% maior que o de referência.

Figura 1 – Índice de atividade pozolânica com cimento (28 dias)



Fonte: Autoria própria (2020).

Na Tabela 2 a seguir encontram-se as médias dos valores aferidos para a profundidade de carbonatação acelerada em milímetros. Para as amostras dispostas na bancada externa, expostas às condições climáticas do ambiente, não houve carbonatação significativa nas duas primeiras idades analisadas para todos os teores de substituição por CCA. Porém aos 84 dias notou-se pequenos valores de profundidade de carbonatação para teores de 10 e 20% de CCA. Já aos 112 dias apenas as amostras sem substituição não obtiveram valores significativos de profundidade, enquanto todas as amostras com substituição sofreram carbonatação total.

Tabela 2 – Profundidade de carbonatação em milímetros

Teor de CCA (%)	28 dias		56 dias		84 dias		112 dias	
	Câmara	Bancada	Câmara	Bancada	Câmara	Bancada	Câmara	Bancada
0	*-	*-	*-	*-	4,54	*-	11,67	*-
10	*-	*-	0,97	*-	11,54	1,02	12,42	TOTAL
20	10,23	*-	15,81	*-	16,04	7,90	TOTAL	TOTAL
30	14,90	*-	TOTAL	*-	TOTAL	*-	TOTAL	TOTAL

Fonte: Autoria própria (2020).

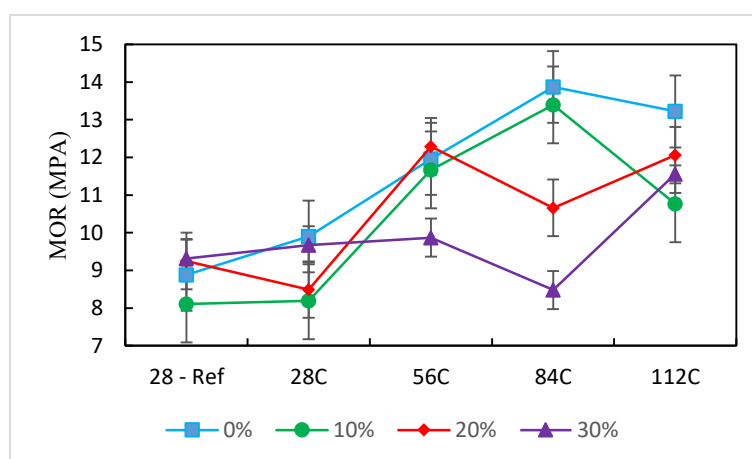
*Não ocorreu carbonatação

Os corpos-de-prova expostos à câmara de carbonatação apresentaram valores mais expressivos se comparados aos da bancada. Foi observada carbonatação total para as amostras contendo 30% de substituição para todas as idades partindo dos 56 dias. Porém para o teor de 10% a amostra da câmara obteve um resultado mais positivo comparado com a da bancada aos 112 dias.

Os melhores resultados foram observados para as amostras referência (0% de CCA) e para a mistura com 10% de CCA nas duas condições de carbonatação, tanto na carbonatação acelerada (câmara) quanto na bancada externa. Isso sugere que a substituição do cimento por CCA, nas condições aplicadas neste trabalho, é mais indicada até 10%.

O gráfico apresentado na Figura 2 mostra os resultados de resistência mecânica obtidas para as placas de referência e de todas as idades de carbonatação acelerada estudadas: 28, 56, 84 e 112 dias. Todos os resultados de resistência a flexão foram analisados estatisticamente (ANOVA e Teste de Tukey), apresentando um “p-valor” de 0,0023⁻⁷, evidenciando que pelo menos uma das amostras difere das demais.

Figura 2 – Resistência à flexão placas de fibrocimento



Fonte: Autoria própria (2020).

Estatisticamente pode-se observar que os maiores resultados foram apresentados pelas amostras expostas a carbonatação com 0, 10 e 20% de substituição do cimento por CCA, nas idades de 56, 84 e 112 dias, além dessas amostras, a mistura com 30% aos 112 dias também apresentou-se

estatisticamente igual as demais citadas anteriormente. Apesar dos resultados verificados nos ensaios de profundidade de carbonatação serem mais promissores no caso das amostras com até 10% de CCA, os testes de resistência à flexão demonstram que a CCA, é um tipo de subproduto renovável, que pode substituir parte do cimento Portland para mitigar o envelhecimento do reforço natural, mantendo a resistência a flexão das placas.

Segundo Wei e Meyer (2016), a substituição parcial do cimento por CCA não só aumenta as propriedades flexurais iniciais dos compósitos, mas também melhora suas propriedades de durabilidade.

As misturas com 30% aos 56 e 84 dias, as amostras referência, assim como todas as misturas (0, 10, 20 e 30%) expostas a carbonatação acelerada por 28 dias, obtiveram os menores valores de resistência à flexão, não havendo diferença significativa entre os resultados segundo análise ANOVA – Teste de Tukey.

A melhora na resistência à flexão das placas de fibrocimentos, observado conforme aumenta o tempo de exposição na carbonatação acelerada, pode ser explicado pelo efeito benéfico do CO₂ na estrutura e durabilidade do fibrocimento de celulose composto. Conforme estudos realizados por Pizzol (2010), através da difusão de dióxido de carbono (CO₂) pelos poros insaturados da matriz do cimento e pela sua reação com os produtos de hidratação do cimento Portland (principalmente hidróxido de cálcio e fases CSH). Esse processo auxilia na redução prematura da alcalinidade na matriz de cimento, diminuindo o pH, que por sua vez é potencialmente prejudicial ao reforço de fibras de celulose.

CONCLUSÃO

O trabalho apresentado investiga o efeito da substituição do cimento por CCA na durabilidade de placas de fibrocimento reforçadas com fibras de celulose e polipropileno. A durabilidade do compósito foi determinada por meio das propriedades de resistência à flexão das placas expostas a condições de carbonatação acelerada. Além disso, corpos de prova 5 x 10 cm foram expostos a carbonatação natural e acelerada durante 112 dias para verificação da profundidade de carbonatação.

Embora os resultados da profundidade de carbonatação das amostras com 20 e 30% de substituição do cimento por CCA apresentaram níveis totais de carbonatação nas últimas idades de exposição, os resultados de resistência mecânica foram bastante promissores. A resistência mecânica à flexão das placas de fibrocimento foram melhoradas consideravelmente pela incorporação de CCA com um nível de substituição de cimento de até 20% em massa.

Uma das principais motivações para utilização da cinza de casca de arroz em produtos cimentícios é a preservação ambiental. Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com este uso no caso das placas de fibrocimento, principalmente em teores de substituição de cimento por CCA de até 20%.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15498. Placa de fibrocimento sem amianto**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 5752: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 12653: Materiais pozolânicos — Requisitos.** Rio de Janeiro, 2002.

CALDAS E SILVA, A. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PIZZOL, V.D., MENDES, L.M., FREZZATTI, L., SAVASTANO JR., H., TONOLI, G.H.D., 2014. **Effect of accelerated carbonation on the microstructure and physical properties of hybrid fiber-cement composites.** Minerals Engineering, 59, 101-106. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2013.11.007> > DOI: 10.1016/j.mineng.2013.11.007. Acesso em: 10 jul. 2020.

SILVA, A.C., SAVASTANO JR., H., JOHN, V.M., 2009. **Envelhecimento de compósitos à base de escória de alto-forno reforçados com polpa celulósica residual de eucalipto.** Ambiente Construído 9 (1), 25–44.

TIBONI, Rafaelle. **A utilização da cinza da casca de arroz de termoeletrica como componente do aglomerante de compósitos à base de cimento Portland.** 2007. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/D.18.2007.tde-19102007-084553. Acesso em: 25 mar. 2020.

TOLEDO FILHO, R.D., ENGLAND, G.L, GHAVAMI, K., SCRIVENER, K., 2003. **Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability.** Cement and Concrete Composites 25, 185–196.

WEI, J., MEYER, C., 2016. **Utilization of rice husk ash in green natural fiber-reinforced cement composites: Mitigating degradation of sisal fiber.** Cement and Concrete Research, 81, 94-111. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.12.001>>. Acesso em: 10 jul. 2020.

ZAPARTE, T. A. **Análise global da influência da finura da cinza de casca de arroz como substituição parcial ao cimento portland nas propriedades da argamassa de revestimento.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020.