

Redução potencial do cimento portland por meio da sílica da casca do arroz (SCA)

Optimization of portland cement content by the husk rice ash (SCA)

Gomes, Carlos Marmorato Gomes (1); Marton; Luiz Fernando (2)

- (1) *Professor Doutor, Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP - Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas – SP, CEP: 13083-889 – cemgomes@fec.unicamp.br*
(2) *Engenheiro de Materiais, RHA Solutions, Alegre/RS*

Resumo

Este trabalho teve por objetivo reduzir o consumo de cimento Portland em concretos convencionais por meio da adição da sílica amorfa obtida por processo de combustão controlada da casca do arroz (SCA), denominado, leito fluidizado. Neste estudo, a SCA foi empregada como adição em cimentos Portland tipo CP II E – 40 com finalidade de verificar o potencial de otimização do teor deste aglomerante na produção de concretos. Adotou-se um traço de concreto como referência e duas composições alternativas com adição da SCA para análise do potencial de substituição do cimento pela pozolana. Os traços foram analisados aos 7, 14 e 28 dias por compressão axial após cura úmida, tendo demonstrado ser possível além da redução de custo das formulações, um incremento de resistência mecânica da ordem de 7%. Análises complementares de absorção, índice de vazios e análises químicas e de pozolanicidade da SCA complementaram o presente estudo.

Palavra-Chave: sílica da casca do arroz; pozolana; cimento Portland.

Abstract

This study shows the potential optimization of Portland Cement by the addition of amorphous silica obtained from controlled burning of rice husk (SCA). In this way, SCA was used as addition to Portland cement type CP II E - 40. A reference mixture and two alternative compositions with SCA addition were employed to analyze the potential replacement of the pozzolan. The concretes strength were analyzed at 7, 14 and 28 days old after wet curing. The results showed to be possible saving cost of the formulations and also to be possible strength increase about 7%. Absorption analysis, void ratio and chemical analysis complemented this study.

Keywords: Husk Rice Ash; Pozzolan; Portland cement.

1 Introdução

A casca do arroz tem se tornado, no Brasil, um grave problema ambiental em virtude da crescente produção agrícola e pela quantidade de gás metano gerada pelo descarte incorreto deste resíduo na natureza^(1,2). Conforme literatura, a cada tonelada de arroz são produzidos cerca de 200 kg de casca *in natura*^(3,4). Estes números se tornam ainda mais críticos ao considerarmos a produção brasileira, especialmente no estado do Rio Grande do Sul, da ordem de oito milhões de toneladas. Para produção da sílica de casca de arroz (SCA) não basta haver somente a queima, mas sim um processo no qual seja possível fazê-la em condições controladas para manter as características de pozolanicidade. No Brasil, um sistema inovador de combustão por meio de leito fluidizado tem sido bastante

ANAIS DO 57º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2015 – 57CBC

eficiente na produção desta pozolana. Este tipo de combustão melhora não somente a eficiência da queima, mas também permite a extração da sílica da casca de arroz com qualidade constante, alto grau de amorficidade e, consequentemente, aumento da pozolanicidade, possibilitando, assim, sua utilização como adição e/ou substituição parcial do cimento nas dosagens de concretos e argamassas. O potencial de aplicação da sílica da casca do arroz (SCA) foi verificado neste trabalho com intuito não somente da otimização dos teores do cimento Portland, mas também com foco na produção de concretos sustentáveis. Dessa forma, além do problema ambiental relacionado à casca do arroz carbonizada ou *in natura*, também destaca-se o alto consumo de cimento Portland pela sociedade e os elevados níveis de emissão de gás carbônico na atmosfera durante a produção do clínquer, para cada tonelada produzida são geradas aproximadamente 1 tonelada de CO₂. A possibilidade de uso de uma pozolana oriunda de fontes renováveis tem demonstrado no Brasil ser uma alternativa de grande impacto na sustentabilidade aplicada à construção civil, além de permitir melhor desempenho e durabilidade aos compósitos cimentícios e redução de custos.

1.1 Sílica da casca do arroz

O estudo da cinza de casca de arroz como material pozolânico não é recente e tem sido pesquisado há mais de 40 anos⁽⁵⁾. Esta tecnologia teve maior estímulo a partir do desenvolvimento do concreto de alto desempenho (CAD) e o emprego das sílicas oriundas da fabricação das ligas de ferro silício e do silício metálico. Dessa forma, a produção de uma cinza da casca do arroz (CCA) com elevado índice de pozolanicidade foi objeto de várias pesquisas. Atualmente, o processo de queima da casca do arroz por leito fluidizado tem sido considerado uma inovação tecnológica que definitivamente permite a obtenção de uma sílica amorfa (SCA) compatível com a necessidade da indústria da construção civil.

A adição da SCA junto ao cimento Portland influencia nas propriedades dos concretos tanto no estado fresco quanto endurecido. No estado fresco, a SCA permite reduzir a segregação e a exsudação. Já no estado endurecido, pequenos teores entre 3% e 8% permitem aumento de resistência mecânica, diminuição da permeabilidade, especialmente frente aos agentes agressivos (sulfatos, cloretos, CO₂, etc)⁽⁵⁾ e, maior durabilidade, requisito fundamental para adoção dos parâmetros de sustentabilidade.

A ação da sílica de casca de arroz no cimento pode ser dividida basicamente em dois tipos; efeito físico: caracterizado pelo chamado efeito filler onde as partículas de sílica de casca de arroz preenchem a curva granulométrica na faixa inferior à granulometria do cimento, reduzindo, assim, os vazios existentes, aumentando a coesão e a capacidade da argamassa ou fase pasta-agregado, quando em concreto; efeito químico: devido à sua alta pozolanicidade, a sílica de casca de arroz é capaz de reagir com o excesso de hidróxido de cálcio - Ca(OH)₂ - para a formação do silicato de cálcio hidratado, principal responsável pelo aumento da resistência do cimento⁽⁶⁾.

Conforme observado na literatura, é possível ainda substituir grande parte do aglomerante, sendo encontrados relatos de até 70% em massa. Embora possa ter um custo pouco maior que o cimento Portland, para concretos é possível obter ganhos financeiros, ou seja, menor relação (custo/resistência à compressão), otimizando os

teores de aglomerantes pela alta pozolanicidade da sílica. Evidentemente, para definição de uma melhor curva custo vs. benefício, as características dos materiais empregados, tais como agregados e tipo de cimento são importantes. Tanto o aumento de resistência mecânica quanto sua menor permeabilidade, são características providas do aumento da produção do silicatos hidratados de cálcio (C-S-H) e consumo da portlandita (CH) pela SCA.

2 Materiais

2.1 Sílica da casca do arroz. A sílica empregada neste estudo foi caracterizada quimicamente apresentando composição conforme abaixo (Tabela 1).

Tabela 1: Análise química da SCA - Fonte: RHA Solutions (2013)

Elemento	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ZrO ₂	P ₂ O ₅	PF
%	93,99	0,20	0,05	0,003	0,51	0,14	1,16	0,02	-	0,36	3,30

A atividade pozolânica da SCA foi verificada pelo método de Chapelle Modificado, sendo obtido como resultado o índice apresentado a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Atividade Pozolânica da SCA – Método Chapelle - Fonte: RHA Solutions (2013)

Identificação da Amostra	Teor
Nome da amostra	mg Ca(OH) ₂ / g de material
Sílica Ativa – Silcca Nobre – Sílica da Casca do Arroz	1379,37

A seguir, de forma ilustrativa, apresenta-se uma microscopia da SCA (Fig.1) e propriedades complementares (Tabela 3).

Tabela 3 – Propriedades da SCA

Área superficial	Diâmetro médio	Massa específica
21.150 m ² /kg	14,0 µm*	2,17 g/cm ³

* quantidade retida na peneira # 325 mesh (45µm): 2,1%

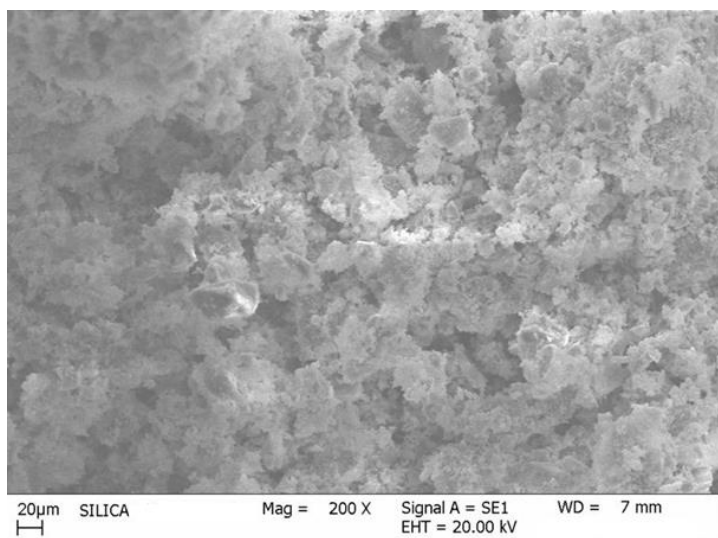


Fig.1 – Microscopia eletrônica de varredura da sílica da casca do arroz – Fonte: RHA Solutions (2013)

2.2 Agregado miúdo natural. Neste trabalho foi empregado agregado miúdo natural de procedência quartzosa com as propriedades apresentadas a seguir (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 – Propriedades do agregado miúdo segundo normas brasileiras NBR 7211 e NBR 9776

Dimensão máxima característica	Módulo de Finura	Classificação	Massa específica
1,2 mm	1,36	ZONA UTILIZÁVEL INFERIOR	2,65 g/cm ³

Tabela 5 – Propriedades do agregado miúdo segundo norma brasileira NBR 7211

Peneira	Material Retido	Individuais	Retido Acumulado
(mm)	(g)	(%)	(%)
9,5	0,0	0	0
6,3	2,4	0	0
4,8	8,9	1	1
2,4	7,2	1	2
1,2	12,0	2	4
0,6	23,0	3	7
0,3	222,6	28	35
0,15	422,7	52	87
Fundo	106,2	13	100
Totais	805,0	100	136

2.3 Agregado miúdo artificial. Neste trabalho também foi empregado como agregado miúdo areia de procedência calcárea britada com as seguintes características (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6 – Propriedades do agregado miúdo segundo normas brasileiras NBR 7211 e NBR 9776

Dimensão máxima característica	Módulo de Finura	Classificação	Massa específica
4,8 mm	2,8	ZONA ÓTIMA	2,66 g/cm ³

Tabela 7 – Propriedades do agregado miúdo segundo norma brasileira NBR 7211

Peneira	Material Retido	Individuais	Retido Acumulado
(mm)	(g)	(%)	(%)
9,5	0,0	0	0
6,3	12,1	1	1
4,8	18,2	2	3
2,4	102,9	11	14
1,2	211,8	23	37
0,6	220,8	24	61
0,3	147,1	16	77
0,15	106,3	12	89
Fundo	96,2	11	100
Totais	915,4	100	281

2.4 Agregado graúdo. O agregado graúdo empregado foi de origem basáltica apresentando as seguintes características (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8 – Propriedades do agregado miúdo segundo normas brasileiras NBR 7211 e NBR 9776

Dimensão máxima característica	Módulo de Finura	Classificação	Massa específica
25 mm	6,91	BRITA 1	2,76 g/cm ³

Tabela 9 – Propriedades do agregado miúdo segundo norma brasileira NBR 7211

Peneira	Material Retido	Individuais	Retido Acumulado
(mm)	(g)	(%)	(%)
32,0	0	0	0
25,0	0	0	0
19,0	600	7	7
12,5	5800	68	75
9,5	1300	15	90
6,3	650	8	98
4,8	50	1	99
Fundo	100	1	100
Totais	8500	100	691

2.5 Cimento Portland. Foi empregado neste trabalho o cimento do tipo CII-E 40. Para cálculo do consumo dos materiais foram determinadas suas massas específicas, apresentadas abaixo (Tabela 10).

Tabela 10 – Massa específica do cimento Portland

Massa específica do cimento
3,02 g/cm ³

2.6 Aditivo superplastificante. Foi empregado como redutor de água, aditivo plastificante à base de policarboxilatos.

3 Metodologia

Para otimização dos teores de cimento Portland foram definidos três traços de concretos, sendo um de referência e outros dois com emprego da sílica da casca do arroz (Tabela 11). As composições que empregaram a pozolana obedeceram critérios distintos. Optou-se para a primeira composição com sílica da casca do arroz apenas a adição em massa sobre o total de cimento. Para a segunda composição estudada, foi suprimido 10% do aglomerante em massa, sendo adicionado apenas 3% da SCA. Também, optou-se a adoção da relação água/(cimento+sílica) fixa. A tabela a seguir apresenta as composições estudadas.

Tabela 11 – Composições de concretos estudados

Ref.	Cimento	SCA	Agregado miúdo natural	Agregado miúdo artificial	Agregado graúdo	Relação [a/c+s]	Aditivo plastificante [%]
A	1	0	1,747	1,470	3,000	0,53	0,08
B	1	0,103	1,839	1,609	3,276	0,53	0,08
C	1	0,035	2,000	1,630	3,314	0,53	0,08

Para cada composição foram moldados doze corpos-de-prova cilíndricos, com 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura, conforme procedimentos prescritos pela norma brasileira NBR5738. A determinação da consistência dos concretos por meio dos ensaios de abatimento obedeceu a Norma Mercosul NBR NM 67. Os ensaios de compressão axial foram realizados aos 7, 14 e 28 dias de idade conforme NBR5739 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Também, determinou-se a massa específica, porosidade e índice de vazios conforme NBR9778 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.

4 RESULTADOS

Na tabela a seguir, são apresentados os resultados das propriedades físicas dos concretos (Tabela 13).

Tabela 13 – Propriedades físicas dos concretos aos 28 dias

Concreto	Absorção [%]	Massa específica [g/cm ³]	Porosidade [%]
A	4,1	2,4	9,9
B	4,3	2,4	10,3
C	3,3	2,4	7,9

A seguir, são apresentados os resultados de compressão nas idades de 7, 14 e 28 dias (Fig. 2).

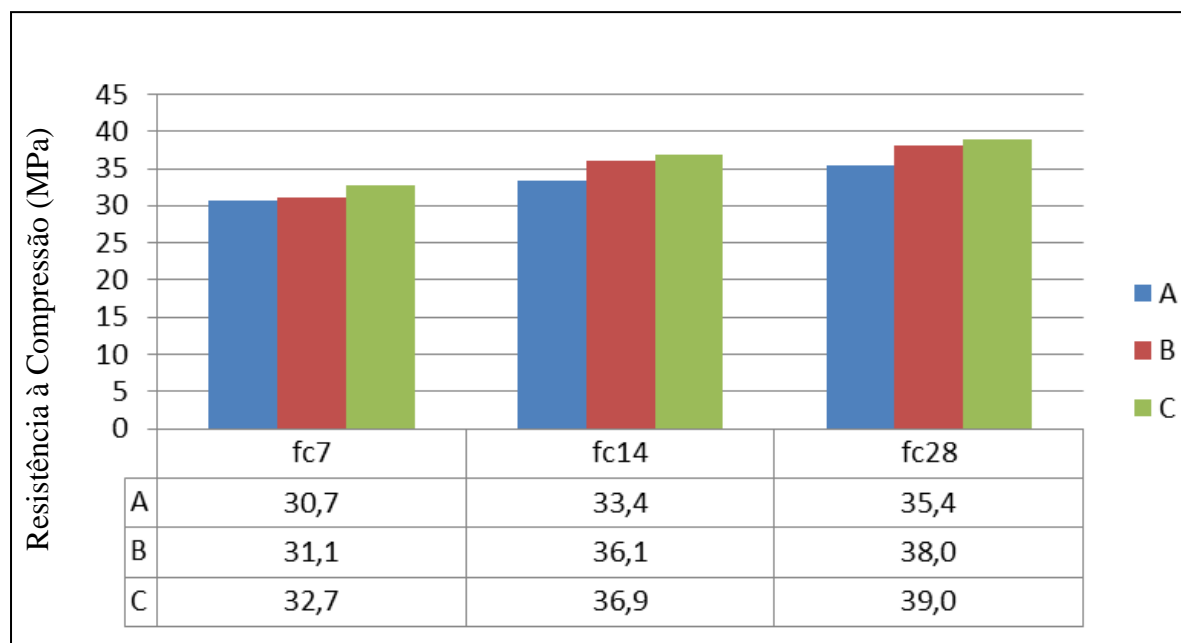


Fig.2 – Resistência à compressão axial dos concretos moldados

A seguir são apresentados os resultados de consistência por meio dos abatimentos determinados para cada concreto durante as moldagens dos corpos-de-prova, conforme procedimentos estabelecidos pela NBR NM 67 (Tabela 14).

Tabela 14 – Consistência - Abatimento do tronco de cone

Concreto	Abatimento do tronco de cone
	[cm]
A	6,5
B	16,0
C	11,5

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como mencionado, o escopo deste trabalho foi verificar a possibilidade de otimização do teor de cimento Portland em concretos por meio da adição e/ou substituição parcial do aglomerante pela sílica da casca do arroz (SCA).

Conforme resultados apresentados foi possível verificar a eficiência da SCA como pozolana, evidenciada pelos incrementos de resistência mecânica dos concretos alternativos, por exemplo, na comparação entre as composições A (referência) e B (10% de SCA sobre a massa de aglomerante) foi observado incremento de resistência à compressão axial de 7%.

No entanto, a composição C possui maior destaque, pois nesta 10% da massa de aglomerante foi substituída por apenas 3% de SCA com correção do volume de massa produzido junto ao agregado miúdo natural. A finalidade desta composição foi tornar possível a diminuição do consumo de aglomerante, mantendo-se a resistência característica da compressão axial obtida pela referência e possível redução de custos das formulações.

Na comparação entre as composições A e C, verificou-se ganhos de resistência à compressão axial de 10%. Destaca-se, ainda, a redução do consumo de aglomerante por metro cúbico de 9,5% (285 kg/m³) comparativamente à composição de referência (315 kg/m³). Fica evidente que o emprego da SCA permite maior eficiência da relação custo/resistência, além de colaborar nas práticas de desenvolvimento sustentável aplicadas à construção civil.

A diminuição da porosidade e permeabilidade também foram evidenciadas conforme apresentadas na tabela 13.

Salienta-se que tanto a adoção da relação água/aglomerante ou água/(aglomerante+SCA) fixas demonstraram ser possível a obtenção dos mesmos ganhos, no entanto, deve-se verificar as questões de trabalhabilidade, devendo ser ajustadas conforme aplicação. A consistência dos concretos para as composições e materiais empregados parece estar compreendida entre estes dois índices, no entanto, não é possível estabelecer tal regra.

6 CONCLUSÕES

- A sílica da casca do arroz (SCA) obtida pelo processo de queima por leito fluidizado caracteriza-se como excelente alternativa à sílica ativa oriunda da fabricação de ferro-silício ou silício metálico, especialmente no Brasil, grande centro produtor;
- É possível com emprego da SCA reduzir o consumo de aglomerante e otimizar as formulações de concretos de forma a se obter ganhos de resistência mecânica sem prejuízo da trabalhabilidade.

7 REFERÊNCIAS

- (1) E. Maragon, L.F.M. Marton, et al. *Atividade pozolânica da sílica da casca de arroz produzida por combustão em leito fluidizado*, **55º IBRACON, CBC2013**, Brasil (2013), 10p.
- (2) D. Collatto, F. Viecili, et al. *Utilização da sílica da casca de arroz na produção de concreto usinado em central*, **53º IBRACON, CBC2011**, Brasil (2011), 11p.
- (3) P. K. Mehta *Rice husk ash - A unique supplementary cementing material*. In: *Advances in concrete technology*. **CANMET**. Ottawa (1992), p. 407-431.

- (4) P.K. Metha and N. Pitt. *A new process of rice utilization*. In: International conference on the utilization of rice by-products. Spain, 1974. Proceedings. Valencia: **IATA, 1977**, p. 45-58.
- (5) D.A. Dafico. *Estudo da dosagem do concreto de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz*. **UFSC**, Florianópolis, Brasil (2001), 191 p.
- (6) ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR5738**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Brasil (2003), 6p.
- (7) ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR5739**. Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Brasil (2007), 9p.
- (8) ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Brasil (2005), 4p.
- (9) ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas: **NBR NM 67**. Concreto - Determinação da consistência.