

AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM BAIXOS TEORES DE SÍLICA DE CASCA DE ARROZ

Concrete durability assessment produced with low levels of silica rice husk

Gean Oldra (1); Everton Soares (1); Allan Benvegnu (1); Ederli Marangon (2); Marcelo Dias de Oliveira (3); Luiz Fernando Mota Marton (4)

- (1) Aluno do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
(2) Professor doutor do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa
(3) Engenheiro Civil da Universidade Federal do Pampa
(4) Engenheiro de Materiais, responsável técnico pela RHA Solutions Engenharia LTDA.

Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA
Av. Tiarajú, 810, CEP 97546-550 Alegrete – RS - Brasil.

Resumo

Os íons sulfatos são uma das principais causas da degradação do concreto. Isso se deve às reações químicas com os produtos de hidratação do concreto, as quais resultam em compostos com volumes maiores, gerando tensões internas e, com isso, diminuição da sua resistência, deslocamentos e fissuras. O objetivo deste trabalho é estudar os efeitos da adição de sílica de casca de arroz, obtida por meio de combustão em leito fluidizado, na durabilidade de concretos a base de cimento Portland do tipo CPII-Z frente à ação dos íons sulfatos. Para isso, foram moldadas vigas de concreto com as dimensões de 75 x 15 x 15 cm, e de cada uma delas foram extraídos testemunhos de 50 x 100 mm. Após a extração, uma parte das amostras foram mergulhadas em solução de sulfato de magnésio com concentração de 7,5 g/100 mL e a outra parte em água desmineralizada, registrando-se previamente suas massas. Nas idades de ensaio de 56, 90, 180 e 360 dias foram realizadas novas pesagens para verificação da variação de massa e foram feitos ensaios de compressão axial. No concreto utilizado, as dosagens tiveram substituição de cimento por sílica de casca de arroz em volume, nos valores de 0%, 3%, 5% e 10%. Os resultados mostram que as amostras tiveram perda de massa por deslocamentos e lixiviação de compostos solúveis. Também houve diminuição da resistência à compressão axial, obtendo-se melhores resultados na amostra em que houve substituição do cimento por sílica em 10%.

Palavra-Chave: Concreto, Sílica de casca de arroz, Sulfatos, Durabilidade.

Abstract

The sulfate ions are the main cause of concrete's degradation. This is due to chemical reactions with concrete's hydration products. Those chemical reactions result in compounds with greater volumes, generating internal tensions and decreasing concrete's resistance which can generate spalling and cracking. The main goal of this article is to study the effects of adding rice husk ash, which is obtained by burning it in fluid bed, in concrete, as well as, durability of concrete made with Portland cement type IV – Low heat of hydration (designated by ASTM) exposed to action of sulphate ions. To approach that goal, 75 x 15 x 15 cm concrete beams were casted and from each of those samples, 50 x 100 mm concrete specimens were removed by drilling the samples. After that drilling and extraction process, a part of the samples was dipped in a 7.5% magnesium sulfate solution and the other part was dipped in water. The weight of each sample was previously measured. A new weighing and compressive strength test were made on samples on 56th, 90th, 180th and 360th days. In concretes that were mixed, cement was replaced by silica in weight values of 0%, 3%, 5% and 10%. Results show that samples lost weight by spalling and leaching of soluble compounds. Moreover, there was also a decrease in compressive strength and the best results were obtained with the sample in which 10% of cement were replaced by 10% of silica.

Keywords: Concrete, rice husk ash, sulfates, durability.

1. Introdução

1.1 Problema Analisado

Em regiões com densa industrialização, ambientes marinhos ou ainda estruturas em contato com alguns tipos de solos argilosos, as estruturas apresentam durabilidade abaixo de locais onde não encontramos estas variáveis. Este trabalho visa encontrar uma alternativa viável para acabar ou diminuir este efeito sobre as estruturas nos locais com as condições citadas.

1.1.1 Histórico

A preparação do país para grandes eventos esportivos, investimentos federais em habitação, a industrialização, os avanços tecnológicos e o poder aquisitivo da população que vêm aumentando são fatores que causam o aumento do consumo de produtos industrializados. Para atender essa demanda crescente, é necessária a exploração de mais matérias-primas da natureza. Como esses recursos naturais estão cada vez mais escassos, o uso de novas tecnologias para reduzir sua exploração é essencial. De acordo com o SNIC – Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (2014), o cimento é o segundo produto mais consumido no mundo, depois da água. Segundo Helene e Andrade (2007) o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil, podendo ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade. Os impactos ambientais ocasionados pela extração de argila e calcário, principais matérias-primas que compõe o cimento, o alto consumo energético e a elevada taxa de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera são os efeitos considerados mais danosos dessa indústria (ALVES, 2002; MEHTA; MONTEIRO, 1994), por isso estudos vêm sendo realizados a fim de substituir (em parte) o cimento Portland por adições minerais, como diversos tipos rejeitos industriais e agroindustriais com o intuito de manter, ou até mesmo melhorar as propriedades do concreto no estado endurecido. Dentre estas adições, pode-se citar a utilização de cinza volante, escória de alto forno e cinza e/ou sílica da casca de arroz. Dentre os benefícios que podem ser gerados pelas adições minerais ao concreto destacam-se: a melhora da resistência à fissuração térmica devido à redução do calor de hidratação, o aumento da resistência mecânica e a alta durabilidade frente à ação de agentes agressivos devido ao refinamento dos poros (MEHTA e MONTEIRO, 2006). Este estudo visa à investigação do efeito da adição da sílica da casca de arroz em concretos frente à ação dos íons sulfatos, pois este é um íon extremamente deletério para o concreto e está presente em regiões densamente industrializadas, ambiente marinho e em alguns tipos de solos argilosos (NEVILLE, 1997). Alguns tipos de sulfatos, como Na_2SO_4 , Ca_2SO_4 e MgSO_4 podem ser extremamente danosos ao concreto devido à reação com o hidróxido de cálcio. Particularmente, o comportamento do concreto em contato com o MgSO_4 deve ser cuidadosamente estudado, uma vez que esse composto é muito mais agressivo, pois, ao longo do tempo, reage tanto com hidróxido de cálcio quanto com silicato de cálcio hidratado (C-S-H), além de produzir soluções muito mais concentradas, devido à sua alta solubilidade.

2. Materiais

Para a realização do presente estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- Cimento Portland CP II Z;
- Sílica de Casca de Arroz – Silcca Nobre SCI;
- Areia Fina;
- Areia Grossa;
- Brita;

2.1 Caracterização dos Materiais

2.1.1 Agregados

Os resultados obtidos da caracterização dos agregados são apresentados na tabela 1.

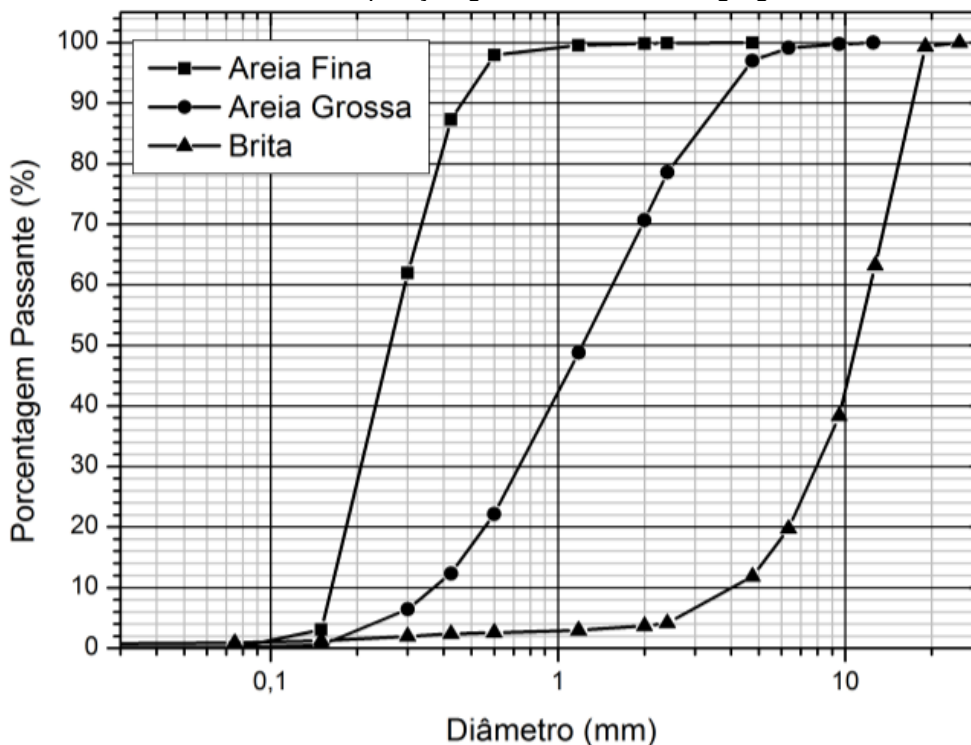
Tabela 1 - Caracterização dos agregados

Ensaio	Areia Fina	Areia Grossa	Brita
Módulo de finura	1,37	3,47	6,38
Dimensão máxima Característica (mm)	0,6	4,75	19
Massa específica (kg/dm ³)	2,63	2,58	2,57

Fonte: elaboração própria.

De acordo com a NBR 7211 (2005), os agregados miúdos são classificados dentro da zona ótima quando o seu módulo de finura se estiver entre 2,20 e 2,90. Pode-se observar, conforme a Tabela 1, que os agregados miúdos utilizados neste trabalho se encontram fora desta faixa. A areia fina encontra-se abaixo da zona utilizável, enquanto que a areia grossa ficou classificada acima da zona utilizável. Para solucionar este problema, realizou-se a mistura da areia fina com a areia grossa na proporção de 45 e 55% (areia grossa e areia fina, respectivamente), resultando em uma areia dentro da zona utilizável (módulo de finura da mistura igual a 2,3). O gráfico 1 mostra a distribuição granulométrica dos agregados.

Gráfico 1 - Composição granulométrica dos agregados



Fonte: elaboração própria.

Conforme as curvas granulométricas dos agregados que são mostradas no Gráfico 1, pode-se observar que apenas a areia grossa possui distribuição granulométrica contínua e bem graduada, contendo porção granulares nas diferentes faixas granulométricas. A areia fina e a brita possuem característica granulométrica uniforme, como pode ser observado pela pequena inclinação da curva.

2.1.2 Cimento

O Cimento Portland utilizado é do tipo CII Z-32 de fabricação da Supremo Cimentos. Esse tipo de cimento foi utilizado porque é o cimento comercializado na região onde foi realizada esta pesquisa. O cimento apresenta as características químicas apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas do cimento CP II -Z

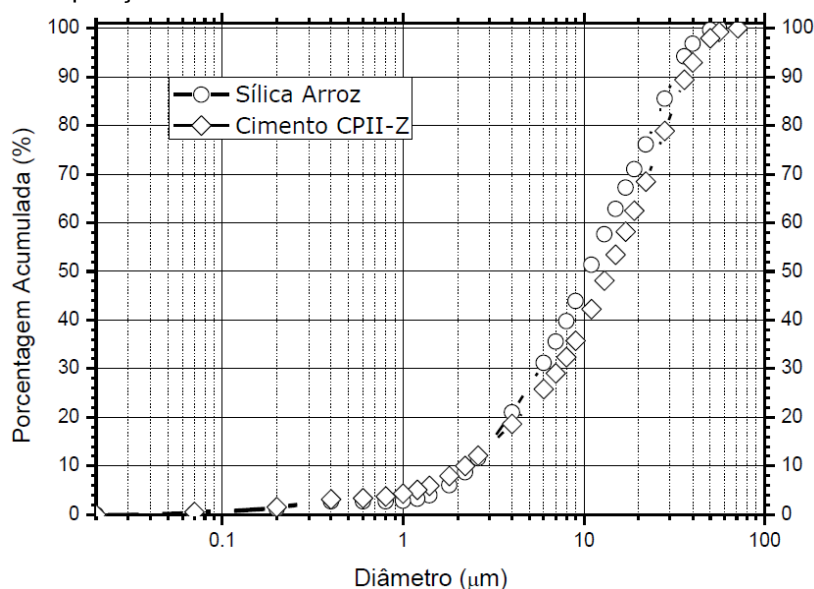
Componente	Faixa de Concentração (%)	Número CAS
Silicato tricálcico	30-70	12168-85-3
Silicato dicálcico	10-30	10034-77-2
Ferro – aluminato de cálcio	5-15	12068-35-8
Sulfato de cálcio	2-10	Vários
Aluminato tricálcico	1-15	12042-78-3
Carbonato de cálcio	0-10	1317-65-3
Óxido de magnésio	0-4	1309-48-4
Óxido de cálcio	0-2	1305-78-8

Fonte: Supremo Cimentos

2.1.3 Sílica da casca de arroz

A sílica de casca de arroz usada neste trabalho é comercializada com o nome de SILCCA NOBRE SC-I, produzida no município de Alegrete/RS pela empresa Sílica Verde do Arroz LTDA. O processo de fabricação se dá por controle de combustão por meio de leito fluidizado. Este processo melhora a eficiência da queima, resultando em uma sílica de alta qualidade em estado amorfo. No trabalho de Marangon et al. (2013) foi avaliado o índice de atividade pozolânica da sílica da casca de arroz, a mesma utilizada neste trabalho. Os autores concluíram que a sílica da casca do arroz possui índice de atividade pozolânica igual a 101,7%, superior aos 75%, índice mínimo previsto na NBR 12653 (2014) para ser considerado como material pozolânico. No Gráfico 2 é apresentada a análise granulométrica a laser da sílica da casca de arroz e do cimento CP II Z-32, utilizando o aparelho CILAS 1190, disponível no campus Bagé da UNIPAMPA.

Gráfico 2 - Composição Granulométrica da sílica da casca de arroz e do cimento portland



Fonte: elaboração própria.

Analisando o gráfico 2, pode-se observar que o cimento e a sílica da casca de arroz possuem granulometrias muito similares, com tamanho médio de grão de aproximadamente 15 μm .

2.1.4 Aditivo

O aditivo utilizado neste trabalho é do tipo redutor de Água – Polifuncional, que possui massa específica igual a 1,18 g/cm³, teor de sólidos de 40% e pH igual a 8,0. Ele pode reduzir o consumo de água em até 15% e é fabricado pela empresa GRACE com o nome comercial de MIRA 34.

2.1.5 Solução de sulfato de magnésio

A solução de sulfato de magnésio (marca Nova Química do Sul LTDA.) foi preparada dissolvendo-se 75 gramas a cada litro de água desmineralizada, obtendo-se uma concentração de 7,5%. O pH (potencial de hidrogênio) foi controlado durante o ensaio para se manter na faixa 6 e 8. Quando estava fora desta faixa, a solução era trocada.

3. Métodos Experimentais

Para o cálculo da dosagem dos concretos foi utilizado o método de Helene e Terzian (1993). O cimento foi substituído, parcialmente, em volume por sílica de casca de arroz. Em todas as misturas foram usadas 1% de aditivo em relação ao material cimentício. A resistência de dosagem foi de 35 MPa. Na Tabela 3 são apresentados os valores do consumo de material para as dosagens estudadas neste trabalho.

Tabela 3 - Consumo de materiais em kg/m³

Misturas	Cimento	Areia fina	Areia grossa	Brita	Sílica	Água
Ref.	359,28	493,85	404,60	1070,95	-	179,64
3%	348,50	493,85	404,60	1070,95	7,47	179,64
5%	341,32	493,85	404,60	1070,95	12,44	179,64
10%	323,35	493,85	404,60	1070,95	24,89	179,64

Fonte: elaboração própria.

Após o preparo do concreto, foram moldadas vigas de 15x15x75 cm de onde foram extraídos os testemunhos cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 15 cm de altura, conforme mostram as figuras 1 e 2. Após a extração, as amostras foram serradas em serra diamantada e sua dimensão final foi de 5cm de diâmetro e 10cm de altura.

Figura 1 - Extração de amostras e Vigas de onde foram extraídos os testemunhos



Fonte: elaboração própria.

Após a extração das amostras, as mesmas foram curadas em água potável até as idades de 28 e 56 dias. Nesta idade, as amostras foram divididas (em partes iguais) e mergulhadas em água desmineralizada e em solução de $MgSO_4$, conforme é apresentado na tabela 4.

Tabela 4 - Divisão das amostras no ensaio de ataque por sulfatos

Amostra	28 dias de cura em água potável		56 dias de cura em água potável	
	Sol. $MgSO_4$	Água desmineralizada	Sol. $MgSO_4$	Água desmineralizada
Referência	22 amostras	22 amostras	22 amostras	22 amostras
3%	22 amostras	22 amostras	22 amostras	22 amostras
5%	22 amostras	22 amostras	22 amostras	22 amostras
10%	22 amostras	22 amostras	22 amostras	22 amostras

Fonte: elaboração própria.

Esse procedimento serviu para avaliar a influência do tempo de cura frente ao ataque do íon sulfato. Nas idades de 56, 90, 180 e 360 dias foram realizadas novas pesagens para verificação da massa e foram feitos os ensaios de compressão axial, conforme mostra a figura 3.

Figura 2 - Ilustração do ensaio de compressão axial



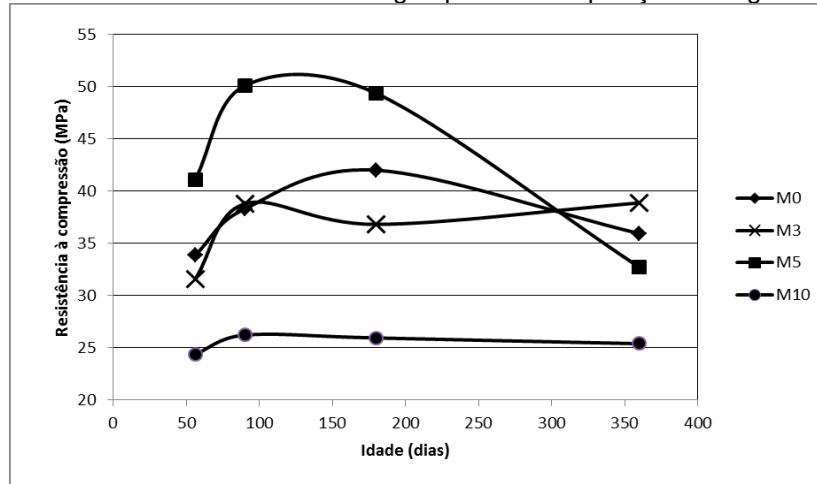
Fonte: elaboração própria.

4. Resultados

4.1 Compressão axial

Os resultados de resistência à compressão axial são mostrados nos gráficos 3, 4, 5 e 6. As misturas 0%, 3%, 5% e 10% são referenciadas como M0, M3, M5 e M10, respectivamente.

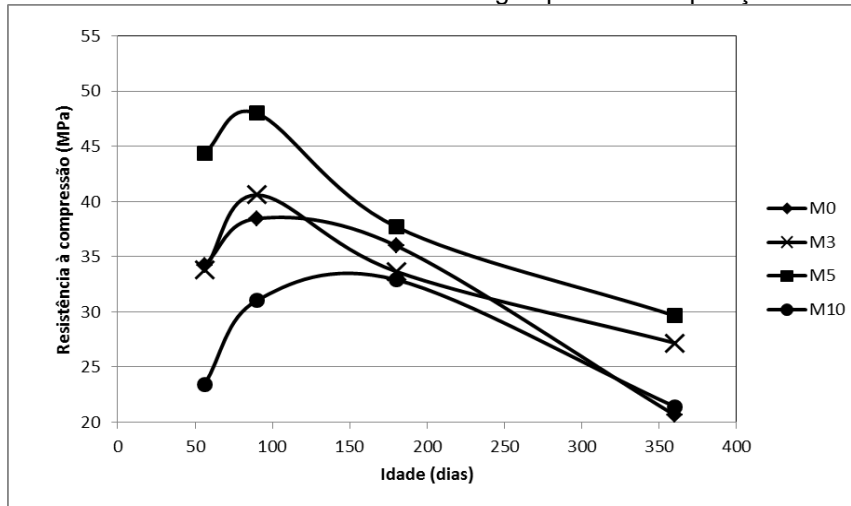
Gráfico 3 - Misturas com 28 dias de cura em água potável e exposição em água desmineralizada



Fonte: elaboração própria.

O gráfico 3 mostra que as misturas M0 e M5 apresentam diminuição dos seus valores de resistência à compressão a partir da idade de 180 dias, enquanto que M3 e M10 se mantiveram praticamente estáveis.

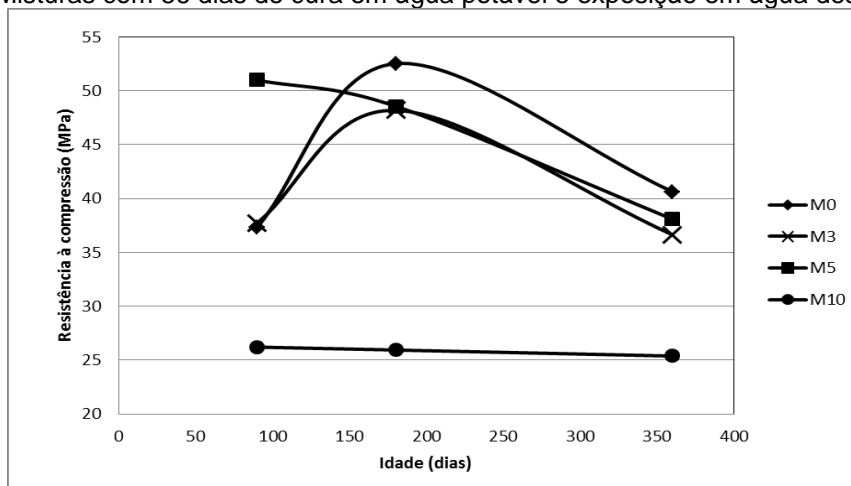
Gráfico 4 - Misturas com 28 dias de cura em água potável e exposição em solução



Fonte: elaboração própria.

O gráfico 4 mostra a tendência de queda nos valores de resistência à compressão de todas as misturas, sendo que as misturas M3 e M5 apresentam menores inclinações da curva e, portanto, quedas menos acentuadas.

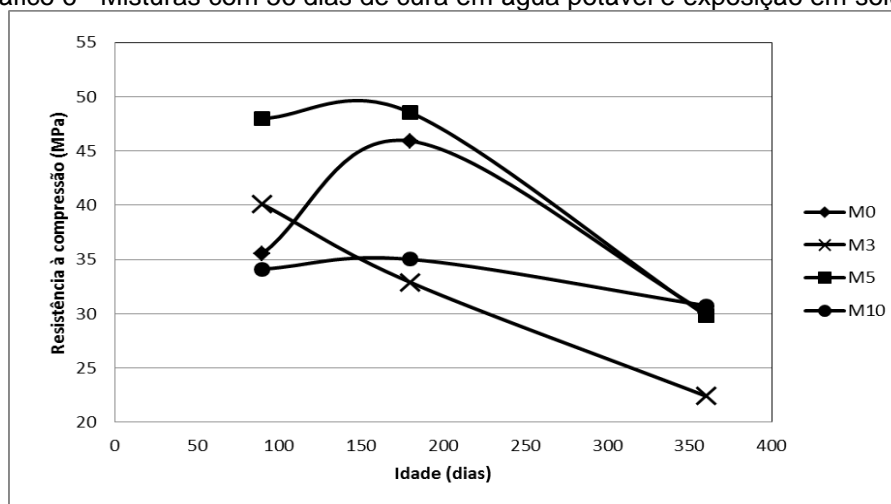
Gráfico 5 - Misturas com 56 dias de cura em água potável e exposição em água desmineralizada



Fonte: elaboração própria.

O gráfico 5 mostra que todas as misturas apresentam queda da resistência à compressão após 180 dias. A resistência à compressão da mistura M10 apresentou-se mais estável nesta exposição e ela é a que apresenta os menores valores de resistência à compressão.

Gráfico 6 - Misturas com 56 dias de cura em água potável e exposição em solução



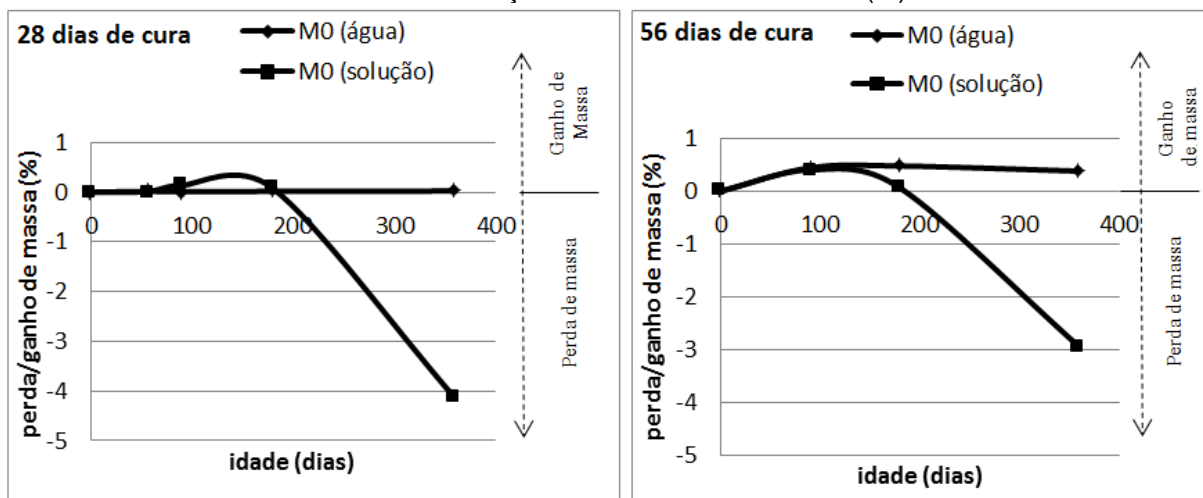
Fonte: elaboração própria.

O gráfico 6 mostra queda em todas as resistências à compressão, a partir da idade de 180 dias (exceto a mistura M3, que houve queda de resistência à compressão desde o início dos ensaios). A mistura M5 foi a que atingiu os maiores valores antes da perda da resistência à compressão.

4.2 Variação de massa

Os resultados da variação de massa são mostrados nos gráficos 7, 8, 9 e 10:
ANAIS DO 57º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2015 – 57CBC

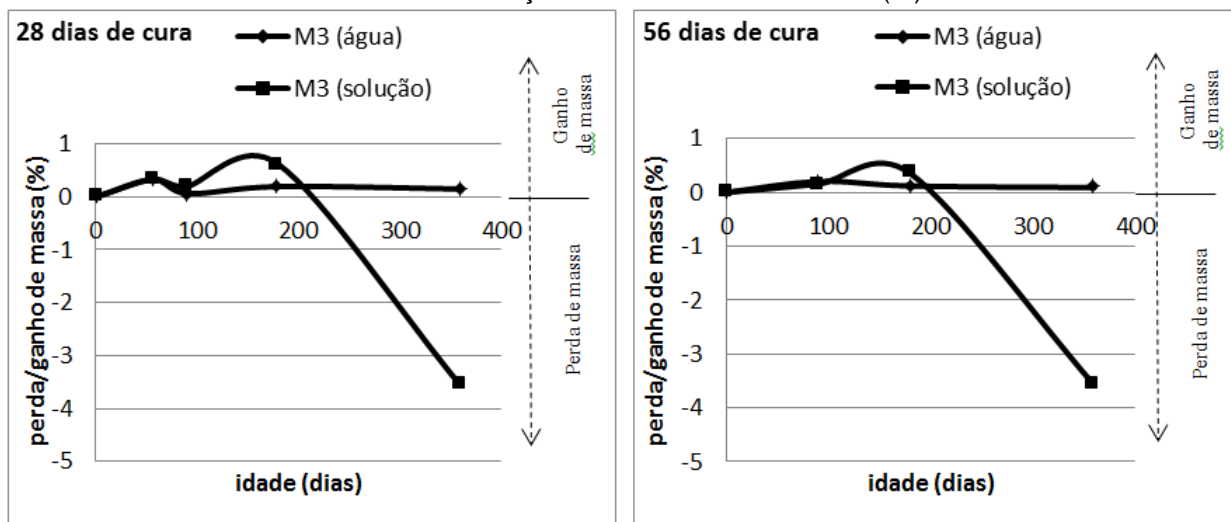
Gráfico 7 - Variação de massa da amostra M0 (%)



Fonte: elaboração própria.

Conforme gráfico 7, a amostra referência (M0), quando exposta em solução, apresentou queda em torno de 4% quando teve cura de 28 dias e em torno de 3% quando curado por 56 dias. Em ambos os casos, a amostra que ficou em água não teve variação significativa.

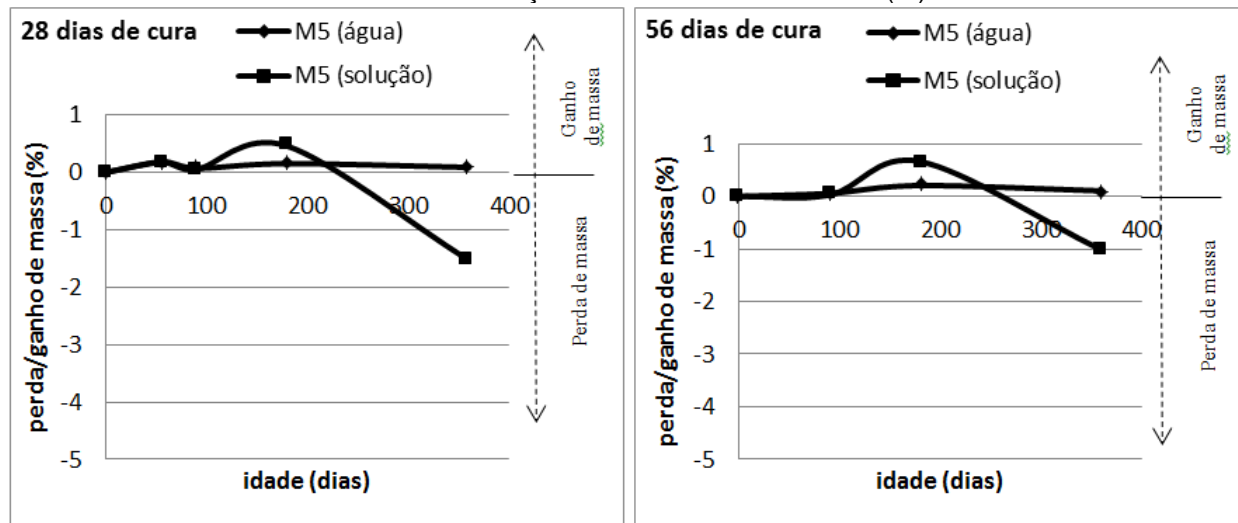
Gráfico 8 - Variação de massa da amostra M3 (%)



Fonte: elaboração própria.

Analisando o gráfico 8, quando a cura foi realizada por 28 dias em água potável e a exposição em água desmineralizada, o valor de massa não apresentou variações significativas, ocorrendo o mesmo sob a cura por 56 dias em água potável e após a exposição em água desmineralizada. Quando exposta em solução, ambos os casos apresentaram queda de massa de aproximadamente 3,5%.

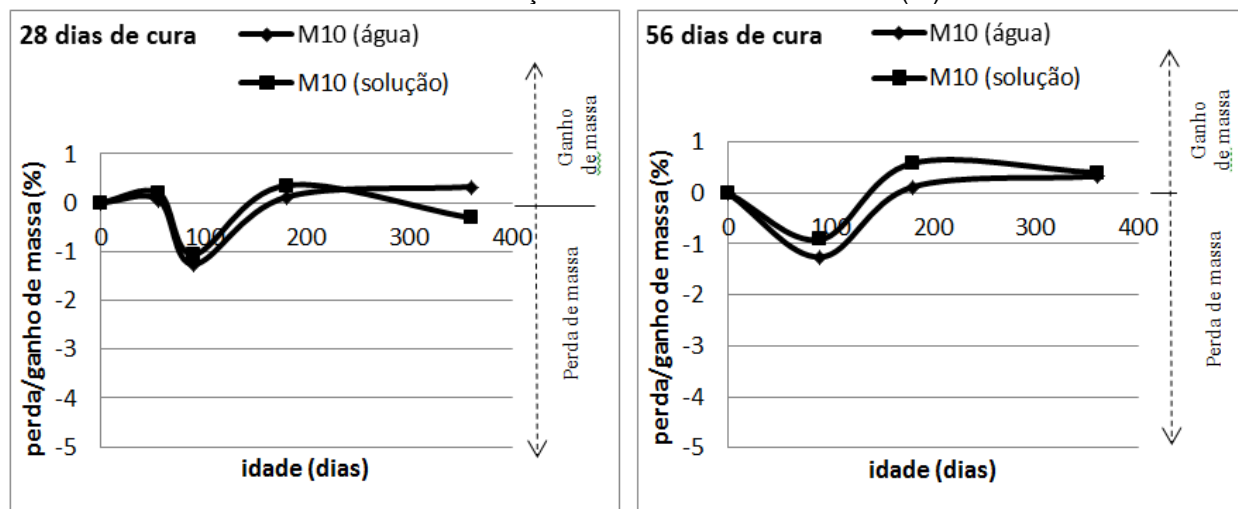
Gráfico 9 - Variação de massa da amostra M5 (%)



Fonte: elaboração própria.

O gráfico 9 mostra que, em água desmineralizada, as amostras curadas em 28 dias tiveram perda de massa de aproximadamente 1,5%, enquanto que a cura por 56 dias apresentou diminuição de massa próximo a 1%. As amostras em água não apresentaram variação significativa.

Gráfico 10 - Variação de massa da amostra M10 (%)



Fonte: elaboração própria.

O gráfico 10 mostra uma variação inicial em todas as amostras, sendo que as amostras em solução, ao final dos 360 dias, tiveram uma perda de aproximadamente 0,5% para cura em 28 dias e ganho em torno de 0,5 % em cura de 56 dias. Ambas as amostras que tiveram exposição em água desmineralizada ganharam cerca de 0,5% em massa. A figura 3 mostra alguns corpos de prova após a exposição por 360 dias: amostra referência (M0) com cura de 28 dias e exposição em água (a); amostra referência (M0) com cura de 28

dias e exposição em solução (b); amostra M5 com cura de 28 dias e exposição em solução(c); amostra M10 com cura de 28 dias e exposição em solução (d).

Figura 3 - Amostras após a exposição por 360 dias.



a.



b.



c.



d.

Fonte: elaboração própria.

As imagens mostram que, quando expostas em água, não há alteração visual. No entanto, quando mergulhadas em solução, há degradação em diferentes níveis, dependendo da resistência da amostra ao ataque.

5. Conclusão

Com relação à compressão axial, observa-se que a mistura M10 foi a que apresentou as menores resistências, enquanto que a mistura M5 apresentou as maiores. Nota-se também que quando curadas por 56 dias em água potável, as misturas apresentaram valores maiores de resistência à compressão. Com exceção da mistura M10, as demais tiveram redução em sua resistência quando expostas a água na idade de 360 dias, se comparadas com os resultados de 200 dias. Esse fenômeno pode ser explicado pela reação do hidróxido de cálcio, causado pelo pH ácido da água desmineralizada usada, que é de 5.

Com relação à variação de massa, observa-se que a única mistura que não teve perda de massa quando exposta à solução foi a mistura M10 com cura de 56 dias. A mistura M5 teve perda inferior à M0 e M3, sendo que estas últimas perderam valores de massa semelhantes.

Conclui-se que a mistura M5 apresentou desempenho médio geral superior às outras quando compara-se os valores de compressão axial e perda de massa. A mistura M10 apresentou valores satisfatórios na variação da massa, mas valores inferiores no quesito resistência à compressão. As misturas M0 e M3 apresentaram desempenho inferior à M5 nos 2 fatores estudados. A adição de 5% de sílica de casca de arroz ao concreto em substituição ao cimento Portland foi a que se mostrou eficaz, porém, a mistura com a adição de 10% de sílica de casca de arroz se mostrou mais durável pelo fato de apresentar sempre as menores variações, tanto na massa quanto na resistência à compressão.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Pilecco Nobre Alimentos e a Sílica Verde do Arroz pelo apoio financeiro para a realização deste estudo.

7. Referências

ALVES, S. M. S. Desenvolvimento de compósitos resistentes através da substituição parcial do cimento por resíduo da indústria cerâmica. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2002. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. 64p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: 2005 Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos: Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

HELENE, Paulo Roberto Lago. ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. V2, Cap. 27, p. 905 -944.

HELENE, Paulo Roberto Lago. TERZIAN, Paulo. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: PINI / SENAI, 1993. 189p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (with P.K. Mehta), McGraw-Hill, third edition (2006).

MARANGON, E.; et al. Atividade Pozolânica Da Sílica Da Casca De Arroz Por Combustão Em Leito Fluidizado. In: Ibracon, 2013, Gramado RS. 55º Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: IBRACON, 2013. p. 135.

NEVILLE, A. M., 1997, Propriedades do concreto, 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 828 p./94p.

SNIC, Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. Disponível em:<http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2013.pdf. Acessado em 4 de julho de 2014.

Supremo Cimentos. Disponível em: <<http://www.supremocimento.com.br/site/Supremo-Cimento/FISPQ-01.asp>. Acessado em 25/04/2015.