

**ESTUDO DE CONCRETOS COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA
(MICROSSÍLICA) FRENTE AO ATAQUE DE AGENTES AGRESSIVOS PARA
EMPREGO EM PISOS ESPECIAIS**

Dal Molin, Denise C. C.
Oliveira, Ana Paula M.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil
Porto Alegre- Brasil

Kulakowski, Marlova P.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais
Porto Alegre - Brasil
E-mail: MARLOVA@vortex.ufrgs.br

RESUMO

Pisos especiais são aqueles empregados em ambientes industriais, devendo apresentar como principais características uma boa resistência à abrasão, bem como uma resistência a ataques químicos adequados ao meio de exposição. Os principais revestimentos para fins industriais tradicionalmente utilizados apresentam em sua composição polímeros e resinas epoxídicas, bem como agentes endurecedores superficiais. Estas soluções podem tornar-se onerosas, o que leva à busca de materiais alternativos. A sílica ativa (microssílica) é proposta como um material alternativo para melhorar as características de concretos e argamassas de revestimento superficial. Este trabalho tem como objetivo avaliar, comparativamente a resistência a ataques químicos de concretos com e sem adição de sílica ativa (microssílica), para emprego em pisos industriais, através de ensaio de agressão química. Como resultado pode-se observar que a adição de 6% de microssílica diminui, em média, 20% a perda de massa para concretos com relação água/aglomerante 0,37 e 50% para concretos com relação água/aglomerante 0,59.

ABSTRACT

Special floors, which are used at industrials atmospheres, must present a good abrasion resistance and an appropriate chemical resistance to the exposed environment. The main overlays usually employed in industrial applications are composed by polymer, epoxide resin and hardened superficials agents. This alternative can becomes an expensive way and the use of new materials are searched. Silica fume is proposed as an alternative material to improve concretes and mortars used for superficial overlays. The objective of this work is to evaluate the aggressive chemical resistance of concretes used at industrial pavements, with and without silica fume, using a chemical aggression method. The results showed that the addition of 6% silica fume provides a decrease of 20% of mass loss for concretes with 0,37 water/cement ratio and 50% for 0,59 water/cement ratio concretes.

INTRODUÇÃO

Pisos especiais são aqueles empregados em ambientes industriais, onde a ação de agentes químicos influi diretamente na durabilidade das instalações como um todo. Desta forma, os pisos industriais devem apresentar como principal característica uma boa resistência a ataques químicos, adequada ao meio de exposição. Os principais revestimentos especiais que tradicionalmente são utilizados para fins industriais apresentam em sua composição polímeros e resinas epoxídicas, bem como agentes endurecedores superficiais. Estas soluções tornam-se onerosas, o que leva à busca de materiais alternativos.

A sílica ativa, ou microssílica, é um resíduo oriundo das indústrias de ferro-ligas e silício metálico. Pelas suas propriedades químicas (teor de $\text{SiO}_2 > 85\%$) e físicas (superfície específica média de $20 \text{ m}^2/\text{g}$) este material é considerado uma excelente pozolana que, quando usado no concreto, além de atuar quimicamente também atua de forma física, através do efeito microfíler. Desta forma, a sílica ativa é proposta como um material alternativo para melhorar as características de concretos e argamassas de revestimento superficial. O emprego deste material melhora as condições de porosidade, melhora a aderência pasta/agregado e a reação com os produtos de hidratação do cimento resulta em compostos mais resistentes, diminuindo a lixiviação e aumentando a resistência à abrasão.

Este trabalho tem como objetivo avaliar, comparativamente, concretos com e sem adição de microssílica, para emprego em pisos industriais, através de ensaio de agressão química, avaliando-se, principalmente, a perda de massa dos concretos submetidos à ação de agentes **deletérios**.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a obtenção de dados sobre o desempenho de concretos com adição de sílica ativa frente a ação de agentes químicos agressivos foram realizados estudos (GARLET e RUARO, 1995; MIMBACAS et al., 1995; DUBAJ et al., 1995) que desenvolveram um programa experimental compreendendo ensaios de resistência à compressão, ensaios de agressão ao concreto e ensaios de resistência à tração na flexão. No presente trabalho serão apresentados apenas os resultados referentes à perda de massa.

Apresenta-se, a seguir, a descrição dos materiais utilizados, dos procedimentos de execução adotados e da metodologia de ensaio.

Variáveis analisadas

As variáveis analisadas na realização dos ensaios foram:

- relação água/aglomerante: 0,37 e 0,59;
- teor de microssílica: 0 e 6% de adição;

Materiais

Os materiais utilizados na confecção dos corpos de prova, comercializados usualmente, estão listados na seqüência.

a) Cimento - no programa experimental utilizou-se cimento Portland composto com fíler (CP II-F 32), oriundo de um único lote de fabricação.

b) Areia -Foi utilizada areia quartzosa, encontrada no comércio local , proveniente de afluentes do estuário do Guaíba. As características físicas da areia estão apresentadas na tabela 1.

Tabela 1. Características físicas da areia

Peneira Abertura (mm)	% Média retida	% Média retida acumulada
4,8	0,00	0,00
2,4	1,22	1,22
2,0	0,77	1,99
1,2	3,03	5,02
0,6	12,6	17,62
0,42	21,64	39,26
0,3	46,56	85,82
0,15	13,22	99,04
< 0,15	0,96	100,00
Dimensão máxima característica (mm)		2,4
Módulo de finura		2,09
Massa específica aparente (g/cm ³)		2,56
Graduação (zona)		1 (muito fina)

c) Agregado Graúdo - Utilizou-se um agregado graúdo de origem basáltica, britado, com diâmetro máximo de 19 mm. As características físicas do agregado graúdo encontram-se na tabela 2.

Tabela 2. Características físicas do agregado graúdo

Peneira Abertura (mm)	% Média retida	% Média retida acumulada
19,0	0,42	0,42
12,5	39,96	40,38
9,5	40,71	81,09
6,3	17,09	98,18
4,8	1,76	99,94
< 4,8	0,06	100,00

d) Microsílica - A microsíllica utilizada no programa experimental é oriunda de um mesmo lote de fabricação, de procedência nacional, apresentando uma superfície específica média de 14,95 m²/g, obtida em ensaio de adsorção de nitrogênio.

e) Aditivo superplastificante - Utilizou-se um aditivo superplastificante a base de naftaleno sulfonado, com uma densidade média de 1,05 g/cm³.

Proporcionamento dos Materiais

Os traços dos concretos utilizados na confecção dos corpos de prova estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Proporcionamento dos materiais

Traço	a/agl	sa (%)	C (kg/m ³)	cimento:areia:brita(massa)	aditivo (%)	abatimento (mm)*
1	0,59	0	318,6	1 : 2,15 : 3,85	---	(50)(55)(70)
2	0,59	6	315,9	1 : 2,15 : 3,85	0,20	(60)(60)(60)
3	0,37	0	553,1	1 : 0,8 : 2,2	---	(70)(65)(80)
4	0,37	6	544,9	1 : 0,8 : 2,2	0,61	(80)(75)(65)

Observações:

$$a/agl = \text{relação água aglomerante} = \frac{\text{água} + 0,6 \times \text{aditivo}}{\text{cimento} + \text{silicaativa}}$$

sa = sílica ativa (microsílica)

C = consumo de cimento

*Foram realizadas 3 betonadas para cada traço. Os abatimentos estão registrados na ordem das betonadas (I,II,III).

Os traços de concretos para a moldagem dos corpos de prova utilizados nos experimentos de agressão química e resistência à compressão foram rodados em três dias distintos (I, II e III).

Método de ensaio

O método de ensaio para ataque químico seguiu o apresentado por CAMPS et al. (1990), onde são utilizadas soluções E.D.T.A., com concentrações de 5 e 10%. As dimensões dos corpos de prova e avaliação de propriedades físicas dos materiais, após sofrerem o ataque, seguem a prescrição da norma americana ASTM C1012 - *Test for length change of hydraulic-cement mortars exposed to sulfate solution*.

Os corpos de prova para a realização deste ensaio são prismáticos, com dimensão de 4 x 4 x 16 cm. Após a moldagem, os corpos de prova são curados em câmara úmida por 28 dias, a partir do qual inicia-se os ciclos de 11 dias.

Foram utilizados 3 corpos de prova por traço, para cada solução. O volume de solução correspondeu a 4 vezes o volume total dos corpos de prova.

O ciclo compreende em pesar os corpos de prova secos, colocar os corpos de prova em imersão nas soluções químicas por cinco dias, após o que são retirados da solução e permanecem secando, em ambiente de laboratório, por 6 dias. Ao serem retirados da **solução**

química, os corpos de prova são lavados em água corrente e escovados suavemente para eliminar eventuais produtos de corrosão da superfície. Ao final da etapa de secagem, os corpos de prova são novamente pesados, completando o ciclo de 11 dias. A cada novo ciclo a solução de agente agressivo é renovada. Foram previstos seis ciclos de agressão. A figura 1 apresenta o esquema do ciclo de agressão.

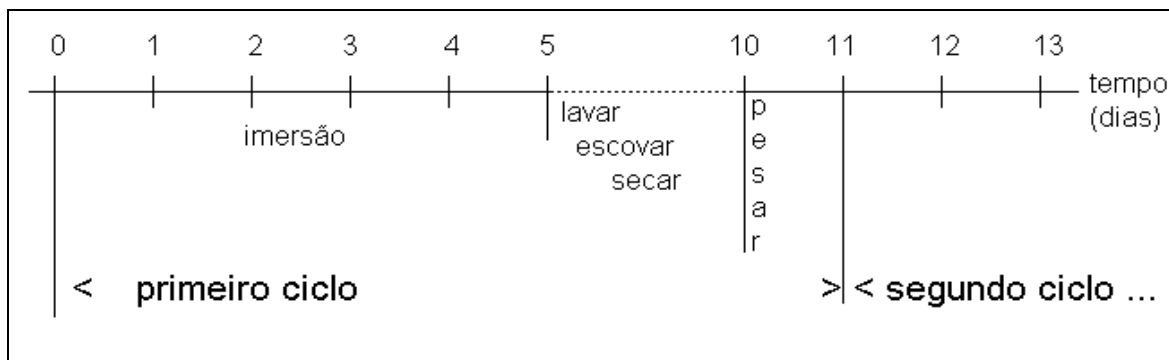


Figura 1. Esquema dos ciclos de agressão (CAMPS, et al., 1990).

Agentes químicos empregados e concentrações

As soluções para ataque químico foram selecionadas a partir do Boletim Técnico da ABCP nº 55 (1990), MEHTA e MONTEIRO (1994) e DURNING e HICKS (1991). Na seqüência são relacionados os agentes químicos empregados nas soluções agressivas.

a) Ácido láctico - encontrado em indústrias de laticínio, a partir da fermentação da lactose, ou em indústrias de produtos químicos. A ação deletéria deste agente agressivo sobre o concreto consiste na dissolução do Ca(OH)_2 , a partir da superfície do concreto, levando à lixiviação deste produto de hidratação (BICZÓK, 1964).

b) Ácido fórmico - está presente nas indústrias de celulose e papel, em tinturarias e em indústrias de conservas. Sua ação é a mesma de qualquer ácido, dissolvendo o Ca(OH)_2 . Nos ambientes industriais onde este ácido está presente, as instalações são atacadas mesmo por soluções de concentração muito baixas.

c) Ácido acético - a ação deste agente agressivo é detectada principalmente em indústrias de alimentos, onde o ataque do ácido acético sobre o concreto forma o acetato de cálcio, solúvel e facilmente removidos por lixiviação.

d) Hidróxido de sódio (soda cáustica) - a corrosão do concreto por ação de soluções alcalinas pode ser encontrada em estruturas de indústrias químicas que produzem soda cáustica (NaOH) e soda (Na_2CO_3). A soda cáustica também pode ser encontrada em indústrias de compostas e conservas. A ação da soda cáustica sobre o concreto é deletéria para concentrações acima de 10% (BICZÓK, 1964).

Tendo em vista acelerar o processo de degradação dos concretos, a concentração utilizada para as soluções foi de 17,14%.

RESULTADOS

Os resultados de resistência à compressão aos 7 e 28 dias podem ser obtidos nas Figuras 2 e 3.

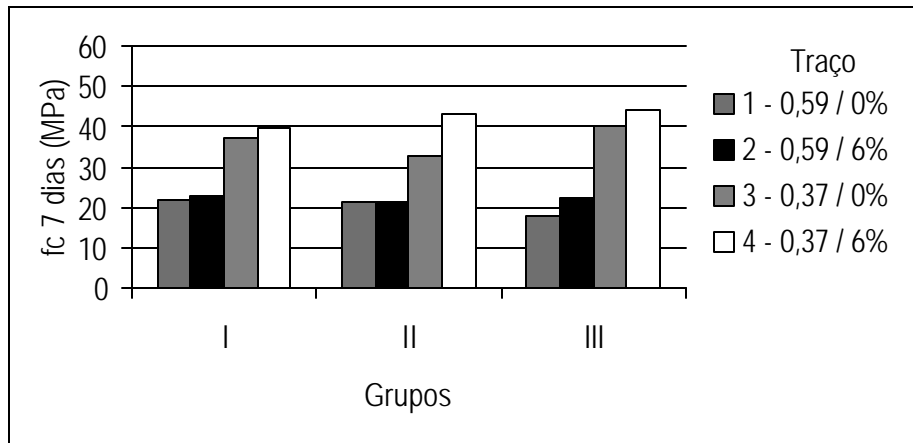


Figura 2. Resistência à compressão aos sete dias de idade.

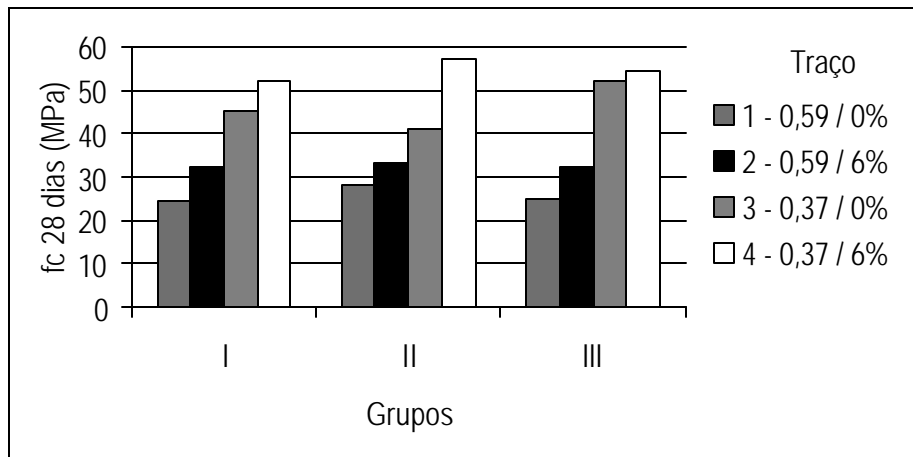


Figura 3. Resistência à compressão aos vinte e oito dias de idade.

As figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam os resultados de variação de massa dos concretos submetidos a agressão química com ácido láctico, fórmico, acético e com hidróxido de sódio, respectivamente.

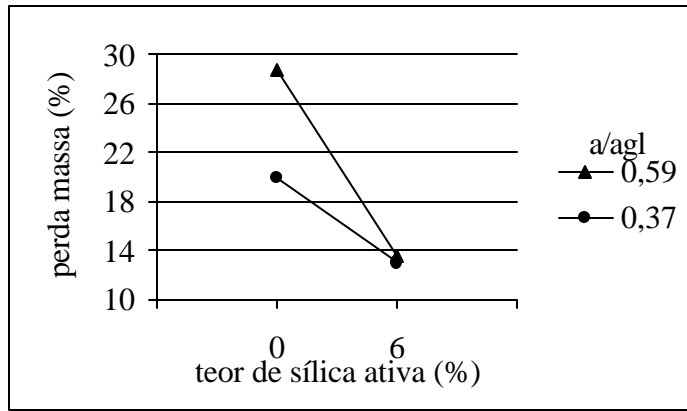


Figura 4. Perda de massa para agressão com ácido láctico.

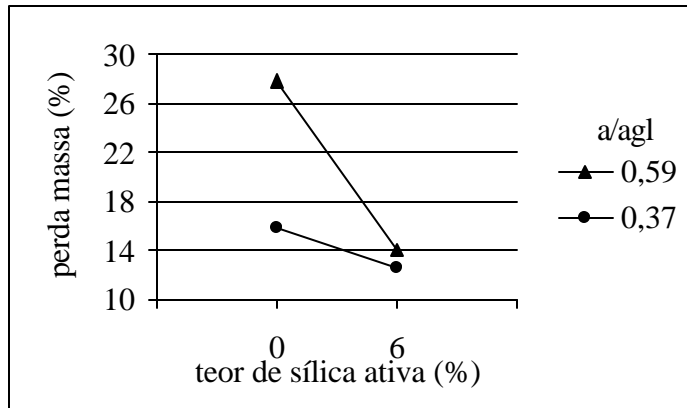


Figura 5. Perda de massa para agressão com ácido fórmico.

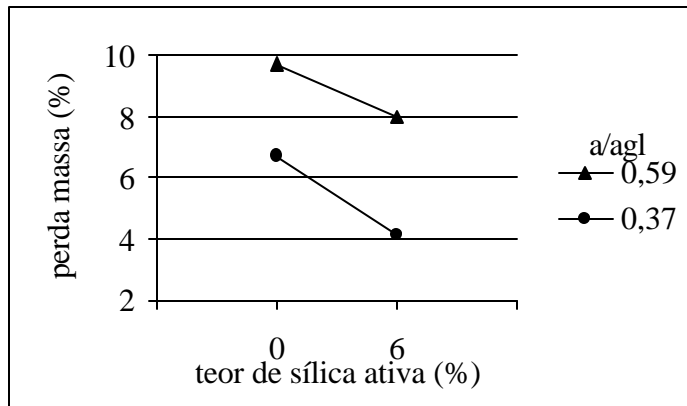


Figura 6. Perda de massa para agressão com ácido acético.

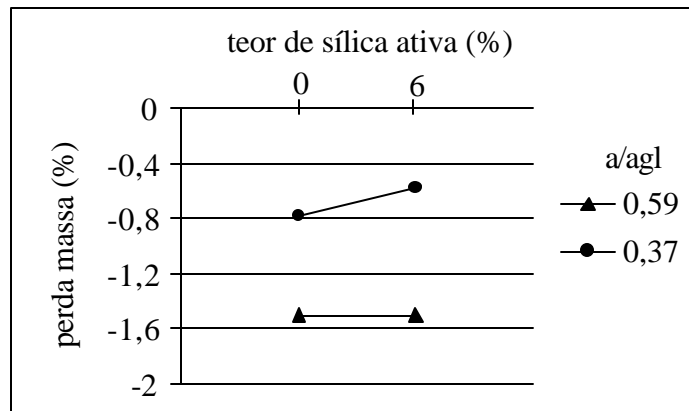


Figura 7. Perda de massa para agressão com hidróxido de sódio.

Discussão dos resultados

A análise dos resultados indica que tanto a diminuição do fator água/aglomerante quanto a adição de microssílica melhoram consideravelmente a resistência do concreto frente à ação de agentes agressivos.

A adição de 6% de microssílica diminui, em média, 20% a perda de massa para os corpos de prova com fator a/agl 0,37 e 50% para os corpos de prova com fator a/agl 0,59.

No que se refere aos corpos de prova imersos em hidróxido de sódio, os resultados indicam um aumento de massa. Este fato é explicado pela geração de produtos expansivos, que é tanto maior quanto mais permeável é o concreto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que o presente trabalho possa vir auxiliar outros estudos sobre agressão química ao concreto, faz-se necessário tecer alguns comentários finais em relação ao procedimento de ensaio e aos resultados obtidos com os materiais empregados.

A concentração da solução agressiva não é um fator por si só determinante da agressividade ao concreto. O que determina esta agressividade é o pH da solução e os tipos de íons envolvidos. Cada solução apresenta uma concentração diferente para um mesmo pH de agressão característico. Se forem utilizadas concentrações diferentes de uma mesma solução, respostas diferentes serão obtidas. Assim, para a realização de novos estudos nesta área propõe-se formular as soluções em função do pH.

Por outro lado, existe outro fator que irá determinar a maior ou menor degradação do concreto, que é a sua permeabilidade. Conforme foi verificado no presente estudo, as adições de sílica ativa ao concreto diminuíram a perda de massa em relação a concretos de referência, imersos na mesma solução, o que vem confirmar que a sílica ativa melhora as propriedades vinculadas a durabilidade do concreto.

Vale a pena ressaltar, conforme BICZÓCK (1964), que cada tipo de solução irá atuar de uma determinada maneira sobre o concreto, ou melhor, sobre os compostos hidratados do cimento,

e, desta forma, cimentos (e adições) distintos podem ter um comportamento superior para uma determinada solução e um comportamento inferior para outra solução. Neste sentido, novos estudos estão em desenvolvimento na UFRGS.

No que se refere ao método de ensaio, baseado em CAMPS et al. (1990), pode-se sugerir a titulação da solução, controlando o pH, no lugar de renovar a solução a cada novo ciclo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BICZÓK, I. Concrete corrosion and concrete protection. Budapest, Akadémiai Kiado, 1964.

CAMPS, J.P.; LAPLANCHE, A.; AL RIM, K. Corrosion of concrete by sequestrating agents of detergents. In.: PROTECTION OF CONCRETE, 1990, Dundee Proceedings... Dundee: University of Dundee, 1990. 1v., p.63-73.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. Concrete, structure, properties and materials. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1992.

DUBAJ, E.; ANDRADE, J.J.O.; SAURIN, T.A. Ataque químico de concreto exposto à soluções de ácido acético e ácido sulfúrico. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1995. [Trabalho apresentado na disciplina Patologia das Edificações I]

DURNING, T.A.; HICKS, M.C. Using microsilica to increase concrete's resistance to aggressive chemicals. Concrete International, v. 13, n. 3, p.42-48, Mar. 1991.

GARLET, G.; RUARO, P. Análise do ataque químico ao concreto exposto a ação de soluções de NaOH ácido fórmico. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1995. [Trabalho apresentado na disciplina Patologia das Edificações I]

MIMBACAS, A.; OLIVEIRA, G.G.; DOTTO, J.M.R. Ataque químico em concreto por ácido láctico e sal de sódio E.D.T.A. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1995. [Trabalho apresentado na disciplina Patologia das Edificações I]