

Avaliação da Influência do Momento de Aplicação da Sílica Ativa em Concreto

*(Evaluation of Influence of the Moment of Application of Active Silica
in Concrete)*

PATRÍCIA MARIA GOMES GRANADO

Graduating in Civil Engineering
International Universities Laureate / UNINORTE (Brazil)

JORGE LUIZ MELO DE FREITAS¹

Civil Engineering
Laureate International Universities / UNINORTE (Brazil)

FABRÍCIO MACHADO SILVA

Professor Doutorando, Instituto Tocantinense de Pós-graduação, ITOP

JUAN LÍCIO RIBEIRO DUARTE

Civil Engineering, Universidade Federal do Tocantins (Brazil)

Prof. Esp. **ANDRÉ MENDES**

Professor Mestrando, Instituto Tocantinense de Pós-graduação, ITOP

JAYRON ALVES RIBEIRO JUNIOR

Arquiteto e Urbanista CEULP / ULBRA

Resumo

Com o avanço nas pesquisas sobre concreto, e o crescimento da aplicação deste material em obras dos mais variados tipos, surgiu a necessidade de melhoria do material e a aplicação de adições minerais, como a sílica ativa. Uma grande questão sobre a aplicação desta adição é qual seria o melhor momento para lançá-la no concreto durante a sua mistura. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a aplicação da sílica em dois momentos diferentes, sendo o primeiro na pré-mistura com o cimento e aplicação juntamente com o mesmo na fabricação do concreto, e o segundo momento foi após a mistura de todos os materiais já com o concreto pronto. O traço utilizado foi um traço empírico comumente utilizado em obras, dosado

¹ Corresponding author: jorgefreitas@gmail.com

pelo método ACI, e para as duas análises foram adicionados 8% de sílica ativa em função da massa do cimento. Foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm para ensaios de resistência à compressão nas idades de 7 e 28 dias e ensaios de tração por compressão diametral aos 28 dias. Foram avaliados os efeitos destas duas formas de aplicação no estado fresco e no estado endurecido do concreto em estudo.

Palavra-Chave: sílica ativa; momento; adição mineral; concretos especiais.

Abstract:

With the advances in concrete research, and the growth of the application of this material in works of the most varied types, the need arose for improvement of the material and the application of mineral additions, such as active silica. A big question about the application of this addition is what would be the best time to cast it on the concrete during its blending. The objective of this work was to characterize the application of silica at two different times, the first being in the premix with the cement and the application with the same in the manufacture of the concrete, and the second moment was after the mixing of all the materials already with ready concrete. The trait used was an empirical trait commonly used in works, measured by the ACI method, and for the two analyzes 8% of active silica was added as a function of the cement mass. Six cylindrical specimens of 10x20 cm were molded for tests of compressive strength at the ages of 7 and 28 days and traction tests by diametrical compression at 28 days. The effects of these two forms of application in the fresh state and the hardened state of the concrete under study were evaluated.

Key words: active silica; time; mineral addition; special concretes.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Concretos em Geral

A crescente utilização do concreto nos tempos atuais faz com que seja cada vez mais importante a realização de estudos que

avaliem suas propriedades, de modo que seja possível melhorar seu desempenho para uma atuação de qualidade em diversas áreas de aplicação.

Nas palavras de COUTINHO (1997), o concreto é um material constituído pela mistura, devidamente proporcionada, de pedras e areia, com um ligante hidráulico, água e, eventualmente, aditivos e adições. Então com uma seleção destes materiais com maior qualidade, pode-se fazer uma mistura que atenda aos critérios necessários para a construção desejada.

Sabe-se que o concreto é uma mistura de cimento, areia e agregados, e ainda pode ser composto por aditivos químicos e industriais. Conseqüentemente, o cimento precisa das adições dos minerais ativos para continuar suas reações e, essas precisam do cimento como ativador (METTA, 1999 apud FURQUIM, 2006).

Para a fabricação do concreto permite-se o uso de diferentes tipos de adições que poderão atuar na mudança de características químicas ou físicas, para a sua utilização em determinada finalidade. Um exemplo conhecido é a sílica ativa.

1.2 Adições Minerais

Adições minerais servem para melhorar ou contribuir com determinadas características do concreto em diversos fatores, tanto em seu estado fresco como no endurecido. E especificamente no caso da sílica ativa ela contribuirá nesses dois estados, seja no fresco dando coesão a pasta, ou no endurecido melhorando a resistência do concreto e outras mais. Existem vários tipos de adições, sendo que seu uso deve ser controlado para que possam trazer o efeito desejado ao concreto, caso contrário não vale a pena adicionar um material a mais. Sendo que os teores são definidos levando em conta a quantidade de cimento.

Tabela 1 – Classificação das Adições Minerais

Adições Minerais	
Classificação	Tipo de Adições
Cimentantes	Escória granulada de alto forno
Cimentantes e pozolânicas	Cinzas volantes com alto teor de cálcio
Superpozolanas	Sílica ativa
	Metacaulim
	Cinzas de casca de arroz
Pozolanas comuns	Cinzas volantes com baixo teor de cálcio
	Argilas calcinadas
	Materiais naturais (origem vulcânica e sedimentar)
Pozolanas pouco reativas	Escória de alto-forno resfriada lentamente
	Cinzas de forno
	Escório de caldeira
	Palha de arroz queimada em campo
Adições inertes (filler)	Calácio, pó de cálcio, pó de pedra (MEHTA, MONTEIRO;2008)

Assim como HOPPE FILHO (2002) apresenta os teores ideais das adições mais conhecidas e utilizadas:

Tabela 2 – Teores de Adições Minerais

Teores Ideais de Adições Minerais para Concreto	
Adição Mineral	Teor Ideal
Sílica Ativa	5 a 20 %
Escória de Alto-forno	55 a 70%
Cinzas Volantes	25 a 60%
Cinzas de Casca de arroz	15 a 50%
Fíler Calcário	10 a 50%

(HOPPE FILHO, 2002 apud FURQUIM, 2006)

A sílica ativa é um material muito fino, composto por partículas em forma de esfera. É de bastante utilidade na fabricação de concretos especiais, pois além de ajudar no aumento da resistência deste, por sua granulometria que pode preencher os vazios mais difíceis de serem alcançados, ela tem características químicas que também auxiliam na proteção a corrosão nas peças de aço. Por isso faz-se necessário a análise da influência

deste material e de qual seria o melhor momento para sua aplicação no concreto, podendo-se acompanhar e avaliar sua ação de modo a melhorar cada vez mais o seu uso.

Segundo a NBR 13596 (ABNT, 1997), que especifica o uso deste material no concreto e em demais misturas, é o material decorrente do processo de produção de silício metálico ou ligas de ferro silício em fornos elétricos. Durante o processo é gerado o gás SiO que, ao sair do forno, oxida-se formando partículas de SiO₂, sendo então captadas por sistemas de filtros coletores. Constitui um tipo de pozolana formada essencialmente por partículas esféricas com diâmetros menores que 10⁻⁶ m de sílica no estado amorfo.

Deste modo este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar a aplicação da sílica em dois momentos da rodagem do concreto, o primeiro na pré-mistura com o cimento, e o segundo após a mistura de todos os materiais com o concreto já pronto, de forma a avaliar a influência na resistência do concreto, conforme o momento de aplicação da adição.

2 MATERIAIS

Para realizar esta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CII-F-40; areia natural de rio; brita 1 e água.

2.1 Cimento Portland

O cimento usado é o Portland CII-F-40, cimento brasileiro que apresenta fíler na sua composição, seguindo as diretrizes da norma NBR 11578 (ABNT, 1991). Segunda a norma citada, o referido cimento contém material carbonático variando de 6% à 10% em massa, apresentando um maior grau de finura o que confere alta resistência em todas as idades e tempo de cura mais curto.

2.2 Agregado Miúdo

Adotou-se areia natural de rio que após ser lavada, foi colocada na estufa até que houve a secagem por completo. Para garantir um parâmetro no traço posterior, a areia foi separada por granulometria seguindo as frações recomendadas pelo IPT/SP, ou seja: passante na peneira 4,80 mm e retido na peneira 2,40 mm; passante na peneira 2,40 mm e retido na peneira 1,20 mm; passante na peneira 1,20 mm e retido na peneira 0,60 mm; passante na peneira 0,60 mm e retido na peneira 0,30 mm; e, passante na peneira 0,30 mm e retido na 0,15 mm. As porcentagens estão resumidas na tabela 3.

Tabela 3 – Composição da areia usada nos traços.

Peneiras (mm)	% Simples	% Acumulado
4,8	2,72	2,72
2,4	5,34	8,06
1,2	5,94	14
0,6	11,72	25,72
0,3	51,6	77,32
0,15	20,34	97,66
Σ:		225,48
Módulo de finura:		2,25
Classificação NBR 7211/2005 (2,20<MF<2,90): Zona Ótima		

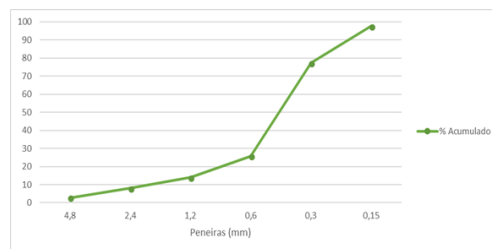


Figura 1 – Curva granulométrica da areia.

2.3 Agregado Graúdo

Foi utilizado uma brita de granito na qual foi usado somente os grãos passantes na peneira de 152 mm e retidos na peneira de 4,8 mm, classificando então como brita 1.

2.4 Água

A água de amassamento usada foi a da rede de distribuição pública.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Método de Mistura do Concreto

As etapas para o procedimento seguiram-se da seguinte forma: 1) colocação do agregado graúdo, e metade da água de amassamento na betoneira e mistura durante 1 minuto; 2) adição do cimento e mistura por 3 minutos (no primeiro traço T1 o concreto estava misturado com a sílica); 3) adição do agregado miúdo e o restante da água e mistura final por mais 3 minutos (no segundo traço T2 a sílica foi adicionada ao final), totalizando assim uma operação de amassamento por 07 minutos.

Tabela 4 - Definição dos traços.

Traço	Momento de Adição da Sílica
T1	Junto ao cimento
T2	Na mistura de concreto pronta

3.2 Ensaio de Consistência

O ensaio de consistência pelo método do abatimento do tronco de cone (ABNT NBR NM 67:1998) foi utilizado para a determinação da trabalhabilidade adquirida e conseqüentemente para comparar o abatimento obtido com o que foi determinado no cálculo do traço como sendo 75mm+-25mm.

3.3 Ensaio de Resistência à Compressão

Foram moldados 4 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100 mm e altura 200 mm, para cada traço, sendo 2 corpos de prova para os 7 dias e 2 para 28 dias. Não foram utilizados equipamentos de vibração na moldagem, e a cura dos corpos de

prova deu-se de forma submersa. Com os resultados e as fórmulas convencionais foram determinadas a resistência média à compressão (f_{cm}), e a partir da média e do desvio padrão, o f_{ck} .

3.4 Ensaio de Resistência à Tração

Foram moldados 2 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 150 mm e altura 300 mm, para cada traço. Não foram utilizados equipamentos de vibração na moldagem, e a cura dos corpos de prova deu-se de forma submersa, estendendo-se por 28 dias, idade em que se consideravam prontos para a ruptura por compressão diametral. Com os resultados e as fórmulas convencionais foram determinadas a resistência média à compressão (f_{cm}), e a partir da média e do desvio padrão, a resistência característica (f_{ck}), obedecendo o especificado na NBR 7222 (ABNT, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Determinação da Trabalhabilidade

O primeiro traço produzido foi o T1, obtendo-se um resultado de 25 mm de consistência com um fator água/cimento de 0,51. O segundo traço, denominado T2, no qual foi utilizado um mesmo fator água/cimento em relação ao T1, obteve 15 mm para a consistência. O problema da baixa trabalhabilidade observada em ambos os traços pode ser facilmente resolvido com a utilização de aditivos plastificantes. Na figura 1 estão apresentados os resultados obtidos com o ensaio de abatimento pelo “*Slump test*”, tendo melhor desempenho o T1 no estado fresco.

Tabela 5 - Resultados do Slump Test.

Traço	Slump (mm)
T1	25
T2	15



Figura 2 – (A) Slump teste T1, (B) Slump teste T2.

Em relação ao abatimento do tronco de cone, o traço T1 não atingiu a valor de cálculo, mas ficou dentro das recomendações para peças estruturais, já o T2 ficou abaixo do limite. A tabela 6, mostra os valores de abatimento recomendados pelo ACI.

Tabela 6 - Valores de abatimento recomendados pelo ACI.

Tipos de Construção	Abatimento (mm)	
	Máximo*	Mínimo
Paredes de fundações armadas e sapatas	75	25
Sapatas não armadas, caixões e paredes de vedação	75	25
Vigas e paredes armadas	100	25
Pilares de edifício	100	25
Pavimentos e lajes	75	25
Concreto massa	50	25

*Pode ser aumentada em 25mm com o uso de métodos de consolidação que não a vibração.

Fonte: Mehta; Monteiro; *apud* ACI.

4.2 Determinação da Resistência à Compressão

Os resultados apresentados na tabela 7 e figura 3 ilustram os resultados das médias dos testes de resistência à compressão obtidas da ruptura dos 2 corpos de prova por idade. Destaca-se um desempenho melhor do traço T2, correspondente à aplicação da sílica com o concreto pronto, no qual a resistência foi maior, tendo-se obtido um ganho de 2,97 MPa sobre o traço T1 aos 28 dias de cura.

Tabela 7 - Comparação das resistências médias.

Tempo de Cura	Traço	Resistência Média compressão	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)
7 Dias	T1	30,9	2,38	7,71	29,2	32,6
	T2	31	3,83	12,34	28,3	33,7
28 Dias	T1	33,2	2,02	6,08	31,77	34,63
	T2	36,17	0,92	2,54	35,52	36,82

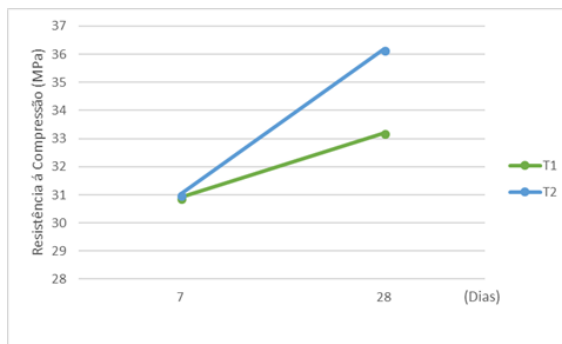


Figura 3 - Gráfico de comparação das resistências de compressão axial de 7 e 28 dias.

4.3 Determinação da Resistência à Tração

Os dados apresentados na tabela 8 e figura 4 mostram os resultados advindos do ensaio de resistência à tração, fazendo uma comparação dos dois traços dosados. Pode ser observado que a diferença entre os dois traços é mínima, tendo o traço T1 apenas 0,01 MPa em relação ao traço T2.

Tabela 8 – Comparação das resistências á tração.

Tempo de Cura	Traço	Resistência Média a tração por compressão diametral	Desvio Padrão (MPa)	Coefficiente de Variação (%)	Mínimo (MPa)	Máximo (MPa)
28 Dias	T1	3,70	0,36	9,82	3,445	3,96
	T2	3,69	1,103	29,92	2,907	4,467

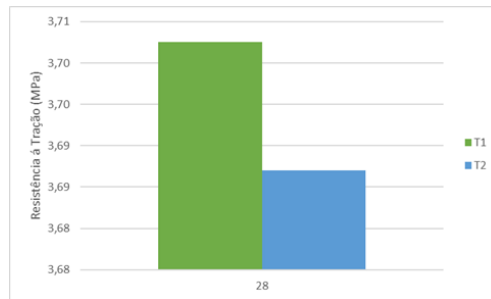


Figura 4 – Gráfico de comparação da tração aos 28 dias.

5 CONCLUSÕES

As principais características que devem ser mantidas no concreto é a sua resistência à compressão no estado endurecido e a sua trabalhabilidade no estado fresco. Por isso, o estudo em questão foi desenvolvido com o objetivo de avaliar se o concreto alcançaria uma ou ambas as características com a mudança do momento de aplicação da sílica.

Segundo VERZEGANSSI (2015) as adições minerais são materiais usados no concreto para modificar e ou melhorar as características do concreto convencional no estado fresco e endurecido, de forma a adequá-lo as exigências ou possibilitar a execução de um projeto. Logo as características apresentadas pelo concreto tendo a sílica misturada ao cimento satisfaz as principais recomendações para peças estruturais, tendo sua trabalhabilidade dentro dos limites recomendados pelo ACI, apresentando um abatimento mínimo de 25 mm, enquanto o concreto com a adição da sílica em último instante ficou fora do intervalo.

O que diz respeito em relação a resistência à compressão, o concreto do traço T2 apresentou valor satisfatório comparado ao traço T1, observando-se que houve um pequeno aumento, apresentando uma resistência de 8,9% maior.

Os resultados obtidos permitem concluir que é aconselhável adicionar a sílica após a mistura do concreto estar pronta, porém será necessário atentar para que a sua trabalhabilidade esteja dentro do limite mínimo de 25 mm, e para isso pode-se fazer uso de aditivos plastificantes ou usar métodos de consolidação.

6 REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956:1997**: Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Especificação. Rio de Janeiro: -, 1997. 3 p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578:1997**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro: -, 1997. 5 p.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:2009**: Agregados para concreto. Rio de Janeiro: -, 2009. 9 p.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:1998**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: -, 1998. 8 p.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222:2011**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.

6. COUTINHO, A. S. **Fábrica e Propriedades do Betão**. Vol. I. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1997. 401 p.
7. FURQUIM, P. R.V. **Estudo estatístico de produção de concretos com adições minerais**. Santa Maria-RS, 2006.
8. HOPPE FILHO, J. **Efeitos da adição de cal hidratada sobre a permeabilidade ao oxigênio e absorção capilar de concretos com altos teores de Adições Minerais**. Santa Maria – RS, 2002.
9. MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2 ed. São Paulo, IBRACON, 2014. 782 p.
10. VERZEGNASSI, Emerson. **Estudo das propriedades no estado fresco e endurecido do concreto leve autoadensável**. Limeira – SP, 2015. 121 p.