

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC VASCO ANTONIO VENCHIARUTTI**

**TÉCNICO EM EDIFICAÇÕES INTEGRADO AO ENSINO MÉDIO –
(M-Tec. – PI)**

**CARLOS FERNANDO DOS SANTOS
LUKAS VICTOR DE ARAÚJO SILVA
MATHEUS FERNANDES DE LIMA
MIGUEL DA SILVA DONADONI
NICOLAS PELEGRINO BRAGA**

**ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DE SÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA
À COMPRESSÃO DO CIMENTO PORTLAND**

JUNDIAÍ

2024

ANÁLISE DOS EFEITOS DO USO DE SÍLICA ATIVA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO PORTLAND

Carlos Fernando dos Santos¹

Lukas Victor de Araújo Silva²

Matheus Fernandes de Lima³

Miguel da Silva Donadoni⁴

Nicolas Pelegrino Braga⁵

Professor Orientador: Pedro Norberto de Paula Filho⁶

Professora Orientadora: Renata Ferraz de Souza⁷

RESUMO- O presente trabalho tem por objetivo apresentar o uso de sílica ativa como um complemento para as funções exercidas pelo tradicional Cimento Portland, utilizado de maneira muito expressiva em atividades pertinentes à Construção Civil. Para tanto, foi empregado um trabalho de revisão bibliográfica unido a procedimentos experimentais feitos em laboratório, a fim de verificar os efeitos que o uso do material proporciona nas características de resistência à compressão axial, por meio de testes em argamassas; levando em conta diferentes relações água/aglomerante e diferentes proporções entre as massas, como tentativa de explorar a diversidade de condições passíveis de serem encontradas em situações de uso.

PALAVRAS-CHAVE: Sílica-ativa, aglomerante, cimento.

ABSTRACT- The present work aims to present the use of silica fume as a complement to the functions performed by traditional Portland Cement, used in a very significant way in activities related to Civil Construction. To this end, a bibliographical review work was used combined with experimental procedures carried out in the laboratory, in order to verify the effects that the use of the material provides on the characteristics of resistance to axial compression, through tests on mortars; taking into account different water/binder ratios and different proportions between masses, in an attempt to explore the diversity of conditions likely to be encountered in use situations.

KEYWORD: Silica fume, binder, cement.

¹ E-mail: carlos.santos938@etec.sp.gov.br

² E-mail: lukas.silva20@etec.sp.gov.br

³ E-mail: matheus.lima422@etec.sp.gov.br

⁴ E-mail: miguel.donadoni@etec.sp.gov.br

⁵ E-mail: nicolas.braga5@etec.sp.gov.br

⁶ Professor Orientador Pedro Norberto: pedro.filho55@etec.sp.gov.br

⁷ Professora Orientadora Renata Ferraz: renata.souza72@etec.sp.gov.br

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia dos materiais utilizados na construção civil evolui constantemente, propulsionada pelas demandas emergentes ao longo do tempo. De todas as evoluções ocorridas, uma das principais corresponde à invenção do Cimento Portland, que inaugurou uma nova era em todo o segmento, a ponto de ser atualmente, sem dúvida alguma, um dos materiais mais utilizado no ramo ao redor do mundo, uma vez aberta a possibilidade de obtenção rigidez proporcionada pelo endurecimento de uma mistura que apresenta grande praticidade e facilidade de execução.

Ao longo dos anos, a mesma evolução constante das tecnologias relacionadas à construção civil possibilitou que fossem elaborados projetos de porte cada vez maior, que, por sua vez, exigissem dos materiais empregados desempenhos mais intensos e expressivos de suas propriedades, como maiores resistências dos concretos de Cimento Portland, o alvo deste trabalho.

Uma resistência à compressão axial expressiva é uma importante característica de compostos que levam Cimento Portland. Contudo, é possível notar que cada vez mais as edificações que são construídas apresentam cada vez maiores cargas, tanto por isso, multiplicam-se os estudos feitos sobre construções leves, que empreguem materiais sustentáveis capazes de desempenhar as mesmas funções dos utilizados nos métodos construtivos mais tradicionais caracterizados pela robustez das estruturas.

Por outro lado, antes de cogitar a dispensa dos métodos tradicionais, uma possibilidade que se apresenta é a de aprimorá-los. Dentre as soluções possíveis a serem consideradas, encontra-se a adição de componentes que amplificam o potencial dos materiais em aspectos determinados. Para o Cimento Portland, um material que se apresenta capaz de otimizar sua resistência à compressão é a sílica ativa, composto químico que apresenta propriedades similares aos componentes do aglomerante.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos da utilização de sílica ativa na resistência à compressão axial de corpos de prova de Cimento Portland, de modo a verificar e quantificar as variações observadas com diferentes teores, e caracterizá-las.

Busca-se, com este trabalho, a ampliação do conhecimento das propriedades e possibilidades de utilização da sílica ativa, além de apresentar uma alternativa para se obter maiores resistências em compostos cimentícios, sem grandes alterações nas quantidades de materiais, o que pode contribuir para redução de custos de execução em projetos.

Para atingir tais fins foi empregada uma revisão bibliográfica de produções pertinentes à proposta, tratando das características físico-químicas do material e de observações das alterações promovida em compostos cimentícios, em conjunto com procedimentos experimentais em laboratório, de maneira a verificar as conclusões dos autores consultados e comparar os dados destes com os levantados no desenvolvimento deste artigo.

2. DEFINIÇÕES INICIAIS

2.1. Concreto

O concreto consiste em uma espécie de pedra artificial, resultante da mistura de aglomerante, agregados miúdos e graúdos e água, e tem por fim primeiro apresentar resistência aos esforços que lhe possam ser aplicados.

O concreto é considerado uma pedra artificial, e assim como as demais pedras, este possui uma grande resistência a tensões, entretanto sua resistência a tração é muito inferior quando comparado a sua capacidade de resistência a compressão. Para suprir esta deficiência do concreto foram realizados diversos estudos a fim de combinar um segundo material à estrutura e, devido as suas características físicas e químicas, o aço foi o que melhor se comportou junto ao concreto, dando origem ao concreto armado. (COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO, 2003 apud MATILDES, 2022, grifo nosso).

2.3. Aglomerante

Os aglomerantes ou aglutinantes são materiais, geralmente pulverulentos, que têm por principal função ligar os demais elementos, podendo constituir misturas com características específicas, que endurecem após determinado período. Tal propriedade confere aos aglomerantes uma grande diversidade de aplicações.

Os aglomerantes são materiais com propriedades ligantes, em geral são pulverulentos (em forma de pó), e que misturados com a água formam uma pasta que endurece por processos devido às reações químicas ou por simples secagem. São utilizados, também, para ligar agregados, formando um corpo sólido e coeso. (AGLOMERANTES, [s. d.]).

3. SÍLICA ATIVA

3.1. Descrição

A microssílica, conhecida também como sílica ativa ou sílica fume, é um subproduto gerado na fabricação de silício e ligas de ferrosilício. Sua produção ocorre pela combustão de quartzo de alta pureza e carvão em fornos. De acordo com Silva (1997), durante a redução do quartzo em silício, ocorre a liberação de monóxido de silício gasoso, SiO, que é extremamente instável e se oxida ao entrar em contato com o ar na parte superior do forno. Esse processo resulta na formação de sílica amorfa, SiO₂, que é posteriormente capturada por filtros e armazenada para venda futura. (SILVA, 1997).

As ligas de ferrosilício normalmente possuem 50%, 75% ou 90% de silício em sua composição. Quanto maior a quantidade de silício na composição da liga, maior a quantidade de silício presente na sílica ativa que sai dos fornos. É necessário então saber a proveniência de determinada sílica ativa para poder determinar suas propriedades. Uma liga de ferrosilício com 50% de silício libera, em sua fabricação, sílica ativa com 80% de sílica. (NEVILLE, 2011)

Tabela 1 - Relação entre a produção de liga metálica e captação de sílica ativa

LIGA METÁLICA	SÍLICA ATIVA
100 kg de silício metálico	550 kg
1000 kg ferrosilício 75%	350 kg
1000 kg ferrosilício 50%	90 kg

Fonte: Daston (1984) apud Dal Molin (1995).

A massa específica comum da sílica ativa está em torno de 2,20 g/cm³, enquanto a do cimento Portland é aproximadamente 3,15 g/cm³. Suas partículas

individuais possuem diâmetros que vão de 0,03 μ m a 0,3 μ m. Sua área específica, no caso de partículas individuais, é de aproximadamente 20.000 m²/kg. (NEVILLE, 2011)

A sílica ativa natural surge em agrupamentos de diversos tamanhos. Esses agrupamentos são formados na parte mais fria dos fornos, onde as gotas de sílica fundida dispersas no ar entram em contato com outras e se solidificam juntas, formando uma ligação forte e praticamente inquebrável. Essa sílica ativa é conhecida como sílica ativa não densificada. (DIAMOND; SAHU; THAULOW, 2004).

3.2. Características físicas

Para cada tipo de liga será gerada sílica ativa de características diferentes, determinadas pela composição química, cor e tamanho dos grãos. Estas diferenças têm origem nos seguintes aspectos de produção:

- Tipo de forno, cúpula aberta ou fechada, com ou sem sistema recuperador de calor;
- Presença de madeira e compostos metálicos na carga;
- Composição química do quartzo e do carvão combustível;
- Tipo de liga.

Tabela 2 - Características físicas da sílica ativa

Umidade	0,90
Massa específica (g/cm ³)	2,20
Densidade Aparente (g/cm ³)	0,34
ph	7,90
% resíduo na peneira 45 μ m	2,78
Superfície específica BET (m ² /kg)	20.780
Diâmetro equivalente a 10% de massa acumulada (μ m)	< 0,20
Diâmetro equivalente a 10% de massa acumulada (μ m)	0,25
Diâmetro equivalente a 10% de massa acumulada (μ m)	1,40

Fonte: Kulanowski (2002)

Na fabricação de ligas de silício, os resíduos gerados apresentam tonalidade que varia do cinza claro ao escuro, sendo que quanto maior o teor de carbono contido, mais escura a tonalidade (SILVEIRA et al., 1987)

3.3. Características químicas

A formação dos gases e partículas é influenciada por diversos elementos, como o tipo de liga fabricada, a qualidade das matérias-primas, o tipo de forno utilizado, as condições de operação, entre outros. Esse resíduo é essencialmente constituído por dióxido de silício (SiO_2), e a proporção de sílica contida no resíduo industrial varia conforme o teor de silício empregado na fabricação das ligas.

Tabela 3 - Componentes químicos

Componentes químicos	%
SiO_2	94,00
Al_2O_3	0,05
Fe_2O_3	0,07
MgO	0,55
CaO	0,33
Na_2O	0,20
K_2O	1,28
PF	3,01

Fonte: Kulanowski (2002)

4. EFEITOS DA UTILIZAÇÃO DE SÍLICA ATIVA EM CONCRETO

A sílica ativa amorfa é um material muito reativo, acelerando a reação de hidratação e reagindo também com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ durante a hidratação do cimento Portland. Além disso, suas 8 pequenas partículas preenchem os espaços vazios em pastas de cimento, argamassas e concreto, fenômeno conhecido como efeito filler. Isso aumenta a resistência desses materiais. Para poder ser usada no concreto, a sílica ativa não pode ter muitas impurezas. Devem ter entre 85% e 95% de SiO_2 e a menor quantidade possível de Na_2O e K_2O . (OLIVEIRA ET AL., 1991; DE LARRARD, 1988; MALHOTRA, 1982 Apud SILVA, 1997)

Normalmente, a sílica ativa é incorporada ao concreto no momento de mistura, entretanto, em alguns países, existem cimentos já adicionados do material. Por um lado, isso ajuda na mistura e na uniformidade da composição do concreto ou argamassa produzidos. Por outro lado, as quantidades de sílica ativa não podem ser controladas para satisfazer determinada quantidade específica. (NEVILLE, 2011)

Estas características da sílica ativa lhe conferem duas ações básicas quando observada à luz da química dos cimentos e tecnologia de concretos. A primeira destas ações é referente a própria forma física da sílica ativa, que se apresentando como pequenos grãos esféricos com dimensões médias que são da ordem de 100 vezes menores que os grãos de cimento faz com que ela atue como um microfiller quando adicionada às formulações a base de cimento (concreto ou argamassa). O efeito resultante é uma maior densificação e continuidade da pasta de cimento e por consequência do concreto ou argamassa, o que acaba influenciando diversas propriedades destes materiais, tanto no estado fresco como endurecido (SELLEVOLD e NILSEN, 1987; MALHOTRA e MEHTA, 1996).

Outra ação que a sílica ativa desempenha ao ser combinada com o cimento Portland deve-se à sua composição química e estrutura, óxido de silício quase puro, na forma amorfa. Isto garante a reatividade química da sílica ativa na presença de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e água, gerando compostos do tipo C-S-H, silicatos de cálcio hidratados, compostos resistentes semelhantes que resultam na hidratação do cimento Portland. É a atividade pozolânica da sílica ativa que é tida como altamente reativa (MALHOTRA e MEHTA, 1996; GJORV, 1988).

Já é sabido que estas duas ações básicas da sílica ativa produzem efeitos sobre diversas propriedades macroscópicas do concreto e na sua microestrutura, tanto no estado fresco como no endurecido. Grande parte destes efeitos são bem conhecidos e comprovados experimentalmente, apenas poucos aspectos não são absolutamente esclarecidos. No estado fresco, pode-se citar que a sílica ativa produz mudanças significativas na consistência, ocorrendo um aumento na coesão da pasta de cimento pelo efeito de microfiller da sílica ativa. Tal efeito também age comprovadamente sobre a exsudação pela deposição das partículas da sílica ativa nos canais que propiciam o escoamento d'água. É esperado também que haja uma

diminuição da segregação no concreto com adições de sílica ativa. (MALHOTRA et al, 1994; MALHOTRA E MEHTA. 1996).

A sílica ativa é uma pozolana de referência para a produção de concretos em meios agressivos. Isso porque a diminuição da porosidade em concretos com sílica aumenta sua capacidade resistente a agentes externos que afetam a sua durabilidade. (SILVA, BATTAGIN e GOMES (2017) apud TULIO, MACHADO (2020)).

A ação pozolânica, em especial da sílica ativa, age causando o refinamento dos poros do concreto, tornando-o mais impermeável à entrada de líquidos e gases, o que gera aumento de sua durabilidade. (Mehta e Monteiro (2008) apud TULIO, MACHADO (2020)).

A sílica ativa por ser um particulado composto por componentes como o silício, é capaz de alterar a resistência do concreto e melhorar sua durabilidade, deixando tanto o concreto, argamassa ou graute com uma melhor trabalhabilidade, permitindo uma tranquilidade melhor no uso e na segurança das edificações nas quais ela for usada.

Segundo o site da Tecnosil (s. d.), empresa que atua com o material, há algumas vantagens que podem ser associadas ao uso da sílica ativa no concreto, a saber:

Diminuição nos custos: a adição de sílica ativa, entre 5% e 8% na massa, pode influenciar numa resistência mais elevada e uma economia de pelo menos 6% no traço do concreto. Há também uma redução do preço final por conta de sua capacidade de diminuir a permeabilidade do concreto, evitando umidade em excesso e protegendo a parte interna, elevando o tempo de vida útil e a sua durabilidade em relação ao efeito de corrosão do aço.

Redução da permeabilidade do concreto: todas as características conquistadas em função da aplicação da sílica ativa reduzem também a permeabilidade do concreto. Isso impede a passagem de água pelos poros e vazios, o que o torna mais resistente e duradouro.

Produção sem emissão de CO₂ e economia de recursos naturais: A sílica ativa colabora também para que a produção do concreto não resulte na emissão do CO₂ (dióxido de carbono) nas mesmas proporções que o processo tradicional.

A Revista Tecnosil apresenta um estudo a esse respeito, onde é possível ver que o produto, quando incorporado pela sílica ativa, aumenta sua vida útil e colabora de forma significativa com a sustentabilidade do planeta, obtendo uma redução de

34% no consumo de energia e de 43% na emissão de CO₂. O estudo também apresenta uma estimativa de ganhos econômicos entre 10% e 20% sobre os custos finais de uma estrutura. (TECNOSIL, [s.d.]

Dentre as desvantagens é possível citar algumas como: o manuseio dificultado devido aos perigos no contato com a pele e a inalação, sendo necessário o uso de EPIs como luvas, óculos e respiradores com filtro e a necessidade de alterar a dosagem do concreto devido a suas propriedades químicas.

5. RISCOS DA SÍLICA PARA A SAÚDE HUMANA

A sílica representa um risco maior em ambientes de trabalho como: construção civil, indústrias de cerâmica, agricultura, metalurgia entre outros, que possuem equipamentos (tecnologia) que propiciam ou não impedem a contaminação do meio com poeira de sílica. (BRASIL, 2022)

A exposição à sílica também pode aumentar o risco de doenças autoimunes, esclerose sistêmica, artrite reumatoide, lúpus, complicações na derme, anemia hemolítica, além de vários tipos de câncer, tais como de pulmão, estômago, fígado, esôfago, pâncreas, intestino, ósseo, faríngeo, pele, cérebro e rim (BRASIL, 2022).

No Brasil, a silicose é a principal pneumoconiose causada por inalação de poeira de sílica. Caracteriza-se pela formação de tecido conjuntivo fibroso no pulmão, chamada de fibrose. Esta é responsável pela diminuição da elasticidade pulmonar, prejudicando o processo de trocas gasosas. O adoecimento por silicose propicia o aumento do risco de câncer pulmonar e de outras doenças autoimunes (BRASIL, 2022).

Trabalhadores expostos à sílica, quando comparados com a população em geral, possui risco 2 a 3 vezes maior a câncer de pulmão. Ressalta-se que o grupo de trabalhadores expostos às poeiras estão sujeitos às múltiplas exposições em seu ambiente de trabalho que extrapolam os riscos decorrentes exclusivamente da produção de pó. (BRASIL, 2022)

5.1. Silicose

As pneumoconioses são definidas pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) como “doenças pulmonares causadas pelo acúmulo de poeira nos pulmões e reação tissular à presença dessas poeiras”. A silicose é um tipo de pneumoconiose conhecida desde a antiguidade, causada pela inalação de poeiras contendo sílica livre cristalina. Trata-se de uma doença crônica e incurável gerada, como vimos, pela inalação de pequenas partículas de sílica cristalina. (ALAGO, 2021)

Essas partículas atravessam todo o sistema respiratório e se depositam nos pulmões. Como o corpo humano não consegue eliminar as partículas duras e finas de sílica que alcançam os alvéolos pulmonares, elas são então enclausuradas formando uma fibrose no tecido, causando um endurecimento dos pulmões. O que dificulta a atividade respiratória. Além disso, o pulmão lesionado pode causar uma sobrecarga no lado direito do coração que é o lado que bombeia o sangue para os pulmões. Esse esforço adicional pode causar danos permanentes ao coração e, conseqüentemente, o colaborador poderá vir a óbito por problemas cardíacos. (ALAGO, 2021)

Os sintomas decorrentes da silicose são: falta de ar (dispneia) ao fazer esforço; tosse crônica com expectoração; sintomas associados como febre e perda de peso. (ALAGO, 2021)

Não existe um tratamento específico para a silicose, mas é muito importante afastar o colaborador da fonte de exposição à sílica para evitar o seu agravamento. O tratamento de apoio compreende medicamentos supressores da tosse, bronco dilatadores e oxigênio. No caso de infecções respiratórias associadas, pode ser necessária a utilização de antibióticos. Outras ações para se evitar o agravamento da doença é: restringir a exposição contínua a substâncias irritantes; deixar de fumar; realizar exames para detectar a tuberculose, uma vez que a tuberculose pode estar associada à silicose. (ALAGO, 2021)

5.2. Medidas de controle

Antes de partir para o uso de equipamentos de proteção, deve-se realizar medidas de controle para evitar ou diminuir a exposição com a sílica ativa, apenas em

último caso, quando já não houver a possibilidade de conter a sílica, os EPIs são usados.

Algumas das medidas de controle recomendadas são: substituição da matéria prima por outra menos tóxica; adoção de exaustão localizada; umidificação; enclausuramento total ou parcial do processo produtor de poeiras; isolamento; mudança de processo ou operação; limpeza; manutenção geral, entre outros. (ALAGO, 2021)

Em relação aos EPIs recomendados para proteção contra pó de sílica, sem dúvidas, o principal é o respirador para filtrar as partículas. Nesse caso, o Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) indica a utilização de máscaras com filtros iguais ou melhores que o identificado como N95 por ser um modelo que diminui a concentração para uma quantidade bem abaixo da OSHA. O recomendado é utilizar o respirador com o filtro PFF2, que impede a entrada de poeiras e partículas que possam afetar a saúde. Além disso, deve-se proteger a pele e os cabelos com a uniformização correta, visto que a poeira de sílica também penetra no corpo pela pele. (SUPREMA AIR, 2022)

6. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Ao longo de oito semanas foi feita em laboratório uma sequência de experimentos de determinação da resistência à compressão axial de corpos de prova padronizados de argamassa, com diferentes proporções de sílica ativa. Os testes foram organizados em séries com quatro corpos de provas de argamassa que seriam rompidos aos 7 e 14 dias de idade. As primeiras séries, bem como uma série reduzida com ruptura em 3 dias, serviram de base para que se definisse o traço padrão e os materiais que seriam utilizados.

As séries seguintes, acompanhadas de “O” na nomenclatura seguiram os padrões definidos, a saber, a utilização de cimento CII32E e areia média, sem controle rigoroso de granulometria, umidade e matéria orgânica. Seus resultados constam na tabela abaixo. O traço utilizado foi inspirado na recomendação normativa e adaptado às realidades locais, levando uma parte de cimento, três de areia,

mantendo a mesma relação água/aglomerante (1:3:0,54), na proporção necessária para a moldagem de quatro corpos de prova.

Apesar da não obrigação, foi efetuada a medição do índice de consistência por abatimento de tronco de cone em mesa própria para o ensaio com 15 golpes no intervalo de 15 segundos. Os módulos da temperatura e da umidade e da umidade relativa do ar nas datas de moldagem constam também abaixo.

Tabela 4 - Temperatura e umidade

Temperatura e umidade		
Dia	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)
30/08/2024	-	-
06/09/2024	26	56%
13/09/2024	34	19%
20/09/2024	33	32%
11/10/2024	28	60%
25/10/2024	26	70%

Fonte: dos próprios autores.

Os resultados obtidos ao longo dos ensaios constam na tabela 5, que tratará das datas de moldagem e ruptura, dos valores do diâmetro médio e seção média, das cargas máximas de ruptura, dos valores de resistência característica à compressão axial, e do índice de consistência medido; tudo conforme a respectiva série e da porcentagem de sílica em relação à massa de cimento adicionada. A relação água/aglomerante engloba a quantidade de sílica ativa presente na mistura, uma vez que o cimento, em sua composição já traz uma relativa quantidade de sílica, responsável por conferir-lhe algumas de suas propriedades mais notáveis, sobretudo a de resistência à compressão, que foi analisada ao longo do presente trabalho.

Tabela 5 - Resultados dos procedimentos experimentais

Série	CP (nº)	Datas		Idade (dias)	Diâmetro médio (mm)	Seção média (mm)	Carga máxima (tf)	fci (Mpa)	fcm (Mpa)	Porcentagem de sílica	Índice de consistência (mm)
		Moldagem	Ruptura								
S10	1	13/09/2024	20/09/2024	7	5	19,63	3,52	17,93	17,27	0%	137,70
	2	13/09/2024	20/09/2024	7	5	19,63	3,26	16,60			
	3	13/09/2024	27/09/2024	14	5	19,63	4,32	22,00			
	4	13/09/2024	27/09/2024	14	5	19,63	4,42	22,51			
S1AO	1A	20/09/2024	27/09/2024	7	5	19,63	3,60	18,33	19,61	0%	127,80
	2A	20/09/2024	27/09/2024	7	5	19,63	4,10	20,88			
	3A	20/09/2024	04/10/2024	14	5	19,63	4,10	20,88			
	4A	20/09/2024	04/10/2024	14	5	19,63	4,16	21,19			
S20	5	13/09/2024	20/09/2024	7	5	19,63	3,56	18,13	15,58	5%	132,00
	6	13/09/2024	20/09/2024	7	5	19,63	2,56	13,04			
	7	13/09/2024	27/09/2024	14	5	19,63	4,70	23,94			
	8	13/09/2024	27/09/2024	14	5	19,63	4,90	24,96			
S30	9	20/09/2024	27/09/2024	7	5	19,63	4,16	21,19	19,76	8%	128,40
	10	20/09/2024	27/09/2024	7	5	19,63	3,60	18,33			
	11	20/09/2024	04/10/2024	14	5	19,63	6,04	30,76			
	12	20/09/2024	04/10/2024	14	5	19,63	5,18	26,38			
S40	13	11/10/2024	18/10/2024	7	5	19,63	3,70	18,84	17,83	10%	144,80
	14	11/10/2024	18/10/2024	7	5	19,63	3,30	16,81			
	15	11/10/2024	25/10/2024	14	5	19,63	3,74	19,05			
	16	11/10/2024	25/10/2024	14	5	19,63	3,92	19,96			
S40 A (Refeita)	13A	25/10/2024	01/11/2024	7	5	19,63	2,12	10,80	10,80	10%	114,30
	14A	25/10/2024	01/11/2024	7	5	19,63	2,12	10,80			
	15A	25/10/2024	08/11/2024	14	5	19,63	2,92	14,87			
	16A	25/10/2024	08/11/2024	14	5	19,63	2,78	14,16			
S50	17	25/10/2024	01/11/2024	7	5	19,63	1,42	7,23	9,01	15%	108,95
	18	25/10/2024	01/11/2024	7	5	19,63	2,12	10,80			
	19	25/10/2024	08/11/2024	14	5	19,63	3,42	17,42			
	20	25/10/2024	08/11/2024	14	5	19,63	2,80	14,26			

Fonte: dos próprios autores.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre o uso da sílica ativa como aditivo em argamassas e concretos destacou a relevância deste material para o aprimoramento das propriedades físicas e químicas das matrizes cimentícias. A sílica ativa, por meio de suas características pozolânicas e do efeito microfiller contribui para o aumento da densidade e da resistência das estruturas, sendo especialmente eficaz na melhoria da resistência à compressão do cimento Portland. No entanto, é indispensável considerar os riscos à saúde associados ao manuseio inadequado do material, especialmente no que diz respeito à inalação de poeiras, o que reforça a necessidade de medidas de segurança, como o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) e controle rigoroso dos processos produtivos.

Os experimentos realizados confirmaram a capacidade da sílica ativa de preencher os espaços vazios nas pastas de cimento, otimizando a microestrutura e aumentando a coesão do material. A partir da análise dos dados experimentais, verifica-se que as amostras sem adição de sílica ativa apresentaram resistências médias inferiores. Por exemplo, a Série S1O, composta por amostras sem aditivos, obteve valores de resistência à compressão média (fcm) de 22,06 MPa após 14 dias. De forma similar, a Série S1AO alcançou 21,03 MPa no mesmo período, reforçando o comportamento esperado para materiais sem a modificação proporcionada pela sílica ativa.

Por outro lado, as séries contendo sílica ativa em diferentes porcentagens demonstraram ganhos expressivos em termos de resistência mecânica. A Série S2O, com 5% de adição, apresentou um fcm de 24,45 MPa, enquanto a Série S3O, com 8% de sílica ativa, atingiu um fcm de 28,57 MPa aos 14 dias, evidenciando um aumento significativo em relação às séries não modificadas. Já a Série S40, contendo 10% de sílica ativa, alcançou 19,51 MPa, indicando que a proporção do aglomerante e o tempo de cura desempenham papéis cruciais no desempenho das misturas.

Os resultados mais elevados foram obtidos na Série S3O, demonstrando que a adição de 8% de sílica ativa pode ser considerada ideal para otimizar a resistência à compressão. Contudo, a Série S5O, com 15% de sílica, apresentou uma redução na resistência média (15,84 MPa), o que evidencia que teores elevados podem

ocasionar efeitos indesejados, como o aumento da demanda de água ou a formação de uma microestrutura menos coesa.

Conclui-se que a adição de sílica ativa ao cimento Portland apresenta resultados altamente positivos em relação ao desempenho mecânico e químico das argamassas, consolidando-se como uma solução eficaz para atender às demandas técnicas e estruturais da construção civil moderna. Contudo, é necessário considerar a proporção ideal para cada tipo de aplicação, bem como a interação entre os materiais utilizados. Para estudos futuros, sugere-se a análise de outros parâmetros, como a durabilidade a longo prazo, o comportamento em diferentes condições ambientais e o impacto do processo de cura na microestrutura final do concreto. Assim, é possível ampliar ainda mais seu uso e validar sua importância em projetos que demandam alta resistência e durabilidade.

8. REFERÊNCIAS

AGLOMERANTES. Diprotec, [s. d.]. Disponível em: <<https://www.diprotec.com.br/produto/aglomerantes/>>. Acesso em 14 de novembro de 2024.

ALAGO, Iride. O que é sílica e quais os riscos de exposição dos colaboradores? Chemical Risk, 2021. Disponível em: <https://www.chemicalrisk.com.br/o-que-e-a-silica/#O_que_e_a_silica_e_medidas_de_controle>. Acesso em: 25 de setembro de 2024.

BARATA, M.S; DAL MOLIN, D.C.C. Avaliação preliminar do resíduo caulínico das indústrias de beneficiamento de caulim como matéria-prima na produção de uma metacaulinita altamente reativa. ANTAC, 2002.

BRASIL. Instituto Nacional de Câncer. Poeira de sílica: conheça os principais riscos da poeira de sílica no meio ambiente e no ambiente de trabalho. 23 de maio de 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/causas-e->

prevencao-do-cancer/exposicao-no-trabalho-e-no-ambiente/poeiras/poeira-de-silica>. Acesso em: 25 de setembro de 2024.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

CIMENTO: origem, importância, riscos e alternativas. E-Cycle, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/cimento/>>. Acesso em 20 de novembro de 2024.

COUTINHO, A. S. Fabrico e Propriedades do Betão. Vol. I. ed. LNEC. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 1997. 610 p.

DAL MOLIN, D.C.C. Adições Minerais para Concreto Estrutural. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. p. 345-379.

DIAMOND, Sidney; SAHU, Sadananda; THAULOW, Niels. Reaction products of densified silica fume agglomerates in concrete. Cement and concrete research, v. 34, n. 9, p. 1625-1632, 2004.

FONSECA, Gustavo Celso da. Adições minerais e as disposições normativas relativas à produção de concreto no Brasil [manuscrito]: uma abordagem epistêmica. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

IBRACON, Anais do 43º Congresso Brasileiro do Concreto - CBC2001. Foz do Iguaçu, 2001. (CD-ROM).

KULAKOWSKI, Marlova Piva. Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa. 2002.

MALHOTRA, V.M; MEHTA, P.K. Pozzolanic and cementitious materials. Advances in concrete technology. Volume 1, Canadá, 1996.

MATILDES, Caio Messias. Concreto Armado e Suas Patologias. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, 2022, Nº. 000225, 06/09/2022. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/concreto-armado-e-suas-patologias>>. Acesso em: 21/05/2024.

NEVILLE, A. M. Propriedades do concreto. 1 ed. São Paulo: Pini, 1982. P.738.

PADRÕES OSHA mais rigorosos destacam EPI para pó de sílica. Suprema Air, 2022. Disponível em: <<https://supremaair.com.br/protecao-respiratoria/epi-para-po-de-silica/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2024.

PRINCIPAIS vantagens de utilizar sílica ativa. Tecnosil, 2019 Disponível em: <<https://www.tecnosilbr.com.br/principais-vantagens-de-utilizar-silica-ativa/>>. Acesso em: 25 de setembro de 2024.

SCHULER, Andrea. Caracterização de argamassas com adições de sílica ativa como material para reparos e reforços de estruturas de concreto armado. 1998.

SOARES, Lucas Martins Gontijo. Avaliação das propriedades da argamassa com utilização de sílica ativa densificada e não-densificada. 2017.

TULIO, Franciele Braga Machado; MACHADO, Lucio Mauro Braga. A aplicação do conhecimento científico na engenharia civil 2. Ponta Grossa, PR; 2020. Disponível em: <<https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/efeito-da-silica-ativa-em-suspensao-nas-propriedades-mecanicas-do-concreto#:~:text=Dentre%20os%20materiais%20utilizados%2C%20a,eleva%20a%20durabilidade%20do%20concreto>>. Acesso em: 19 de setembro de 2024.