VERIFICAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ARGAMASSAS DE REPARO ESTRUTURAL COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA

Chaves, Patrícia da Silva[1], Souza, Raquel Fernanda de[2], Pimentel, Maurílio Gomes[3], Cordeiro, Luciana de Nazaré Pinheiro[4], Souza, Paulo Sérgio Lima[5]

[1] Universidade Federal do Pará, Graduando em Engenharia Civil, e-mail: patricia.chaves@itec.ufpa.br
[2] Universidade Federal do Pará, Graduando em Engenharia Civil, e-mail: raquel.souza@itec.ufpa.br
[3] Universidade Federal do Pará, Graduando em Engenharia Civil, e-mail: mauriliogpimentel@gmail.com
[4] Universidade Federal do Pará, Professora Dra., e-mail: lucianapc@ufpa.br
[5] Universidade Federal do Pará, Professor Dr., e-mail: paseliso@ufpa.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento mecânico de argamassas contendo adição de sílica ativa para reparo de elemento estrutural, buscando um melhor conhecimento teórico-experimental a respeito da argamassa com adição de sílica ativa. Para isso, foi feito um estudo comparativo entre uma argamassa convencional de referência (cimento, areia, água e aditivo), e a argamassa contendo adição de sílica ativa (5% e 15%) em substituição a massa de cimento empregando-se um traço de 1:3, relação água/cimento de 0,5 e aditivo. Foram realizados ensaios de caracterização das argamassas no seu estado fresco e endurecido. Os resultados dos ensaios no estado fresco mostraram que em termos de manuseio e aplicabilidade as argamassas com sílica apresentaram resultados satisfatórios. No estado endurecido percebeu-se que as adições da sílica ativa nos teores de 5% e 15% também proporcionaram resultados satisfatórios em relação a argamassa de referência. Portanto, a incorporação desta pozolana artificial como adição em argamassas representa uma alternativa para a construção civil, mostrando viabilidade técnica, econômica e ambiental.

Palavras chave: Argamassa de reparo, comportamento mecânico, sílica ativa.

ABSTRACT

This study aims to analyze the mechanical behavior of mortars containing silica fume to repair structural element, seeking a better theoretical and experimental knowledge about the mortar with the addition of silica fume. For this, a comparative study was made between a conventional reference mortar (cement, sand, water and additives), and mortar containing silica fume (5 % and 15 %) in lieu of cement mass employing a trace of 1:3 water/cement ratio of 0.5 and additive. Characterization tests of mortars were made in its fresh and hardened state. The test results show that in the fresh state in terms of handling and applicability mortars with silica present satisfactory results. In the hardened state it was realized that the additions of silica fume in the levels of 5 % and 15 % also provided satisfactory results for the reference mortar. Therefore, the incorporation of this artificial pozzolan as addition in mortars provides an alternative for building, showing the technical, economic and environmental viability.

Keywords: Mortar repair, mechanical behavior, silica fume.

1. INTRODUÇÃO

A deterioração das estruturas de concreto, é um dos maiores problemas da engenharia civil e, em vários casos, é frequente o uso do reparo superficial, que consiste em remover a área de concreto quando a camada de cobrimento das armaduras está deteriorada, aplicando tratamento adequado à armadura quando necessário e substituir a argamassa deteriorada pela argamassa de reparo, esta geralmente é a melhor alternativa considerando a relação custo-benefício.

Desta forma, as argamassas de reparo são utilizadas no intuito de sanar as manifestações patológicas que afetam a segurança da edificação através da formação de um elemento monolítico entre a argamassa e a estrutura a ser reparada. Para Ripper e Souza (1998), são denominados trabalhos de reparo da estrutura os serviços que não impliquem na introdução de materiais com a finalidade de aumentar ou de restaurar a capacidade de carga da estrutura.

O uso de adições minerais, como a sílica ativa, pode substituir parcialmente o cimento de modo a modificar as misturas nos estados fresco e endurecido, melhorando as características da argamassa, como as condições de porosidade, a aderência e a reação com os produtos de hidratação do cimento resultando em compostos mais resistentes. A sílica ativa é uma adição mineral proveniente de um resíduo oriundo das indústrias de ferro-ligas e silício metálico. Pelas suas propriedades químicas e físicas este material é considerado uma excelente pozolana. (DAL MOLIN, 2005 apud CARVALHO; GOMES, 2013).

Diversos pesquisadores (MAILVAGANAM; DEANS, 1992; DAL MOLIN; SCHULER, 1993) evidenciam a importância da adição da sílica ativa em argamassas a serem utilizadas em reparos/reforços de estruturas de concreto armado concluindo que a adição confere boa aderência ao substrato, mesmo em baixas idades, baixa porosidade e permeabilidade atribuindo a argamassa aumento da resistência conforme a relação água/aglomerante.

Pesquisando o comportamento da resistência mecânica de argamassas com teores de sílica ativa de 0% a 30% da massa de cimento e relações entre água e aglomerante de 0,35, 0,40, 0,45, e 0,50, concluiu-se que durante as primeiras idades, 3 e 7 dias a resistência à compressão das argamassas com sílica ativa, em geral, foi significativamente maior para qualquer relação entre água e aglomerante, assim como a taxa de desenvolvimento de resistência. Para as relações entre água e aglomerante, de 0,35, 0,40 e 0,45, o conteúdo ótimo de sílica ativa para obter-se a mais alta resistência à compressão variou entre 17,5% e 22,5%. Para a relação entre água e aglomerante de 0,50, a resistência à compressão da argamassa aumentou com qualquer conteúdo de sílica ativa. O desenvolvimento da resistência à compressão depois de 28 dias foi mais moderado para as relações entre água e aglomerante 0,35 e 0,40, e relativamente superior para 0,45. Para relação de 0,50, apresentou o maior desenvolvimento de resistência à compressão para qualquer idade e com todos os conteúdos de sílica ativa (RAO, 2001 apud VASKE; CAMPAGNOLO; DAL MOLIN, 2008).

Segundo MAZZA (2010), sabe-se que a indústria da construção civil é a atividade humana que mais degrada e causa os maiores impactos ao meio ambiente. Sendo assim, torna-se uma exigência constante a necessidade da redução do consumo de energia e da emissão de dióxido de carbono produzido pela fabricação do cimento Portland para a atmosfera.

Desta forma, é sugerido o aproveitamento de resíduos e subprodutos de outras indústrias como adição ou substituição, como o uso da sílica ativa, para viabilizar a substituição parcial do clínquer, principal componente do cimento Portland, de maneira a minimizar os níveis de emissões de dióxido de Carbono na atmosfera e, consequentemente, aumentar a viabilidade econômica do processo produtivo de argamassas e concretos.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

2.1.1 Cimento

Utilizou-se o cimento portland com adição de material pozolânico, denominado pela NBR 11578 (ABNT, 1991) como cimento portland pozolânico ou CP II (Z) – 32. Este cimento pode conter em sua composição de 6% a 14% de material pozolânico e tem a sua especificação definida também pela NBR 11578 (ABNT, 1991). Suas características de acordo com o fabricante são apresentadas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do cimento portland CP II (Z) - 32.

Ensaio	Método	Resultados CP II-Z
Expansibilidade a quente (mm)	NBR 11582	0,44
Tempo de início de pega (h:min)	NBR NM 65	03:20
Tempo de fim de pega (h:min)	NBR NM 65	03:59
Consistência normal (%)	NBR NM 43	27,4
Blaine (cm²/g)	NBR NM 76	3.668
Finura na peneira # 200 (%)	NBR 11579	2,43
Resistência à compressão 1 dia (MPa)	NBR 7215	13,2
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	NBR 7215	25,9
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	NBR 7215	32,4
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	NBR 7215	40,5
Resíduo insolúvel (%)	NBR NM 15	11,72
Trióxido de enxofre - SO_3 (%)	NBR 14656	2,52
Óxido de magnésio - MgO (%)	NBR 14656	3,89

2.1.2 Sílica ativa

A adição mineral utilizada nesta pesquisa foi a sílica ativa. Material decorrente do processo de produção de silício metálico ou ligas de ferro-silício 75% em fornos elétricos NBR 13956 (ABNT, 2012). A Tabela 2 apresenta sua composição química especificada pelo fabricante e, a Figura 1 apresenta o resultado do ensaio de difração de raio-X da amostra da sílica ativa utilizada nesta pesquisa realizada pelo laboratório de Geociências da Universidade Federal do Pará.

Tabela 2: Composição química da sílica ativa

Substância	**Composição química (%)**
Sílica Amorfa (SiO_2)	≥ 85,0
Sílica Cristalina (SiO_2)	≤ 0,5
Óxido de sódio (Na_2O)	≤ 1,5
Carbono total (C)	≤ 6,0
Umidade (H_2O)	≤ 3,0

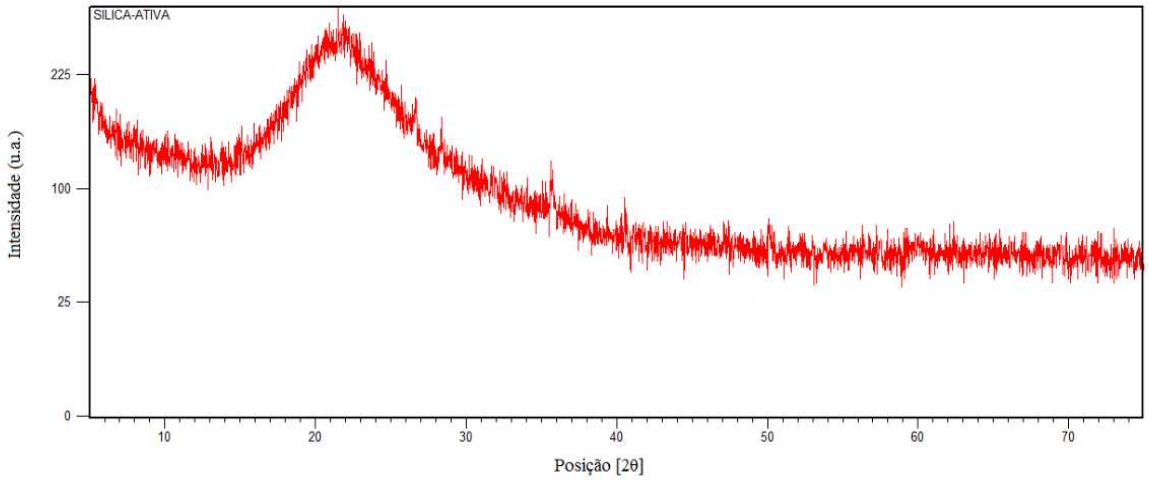


Figura 1: Difratograma de raio X obtido para amostra de Sílica Ativa utilizada na pesquisa.

De acordo com a Figura 1 o difratograma resultante da incidência de raio X na amostra de sílica ativa, demostra que esta apresentou-se como um material amorfo, gerando uma suave curva sem apresentar picos bem definidos.

2.1.3 Agregado miúdo

Com relação ao agregado miúdo, adotou-se areia lavada de origem quartzosa. Foram realizados os ensaios de composição granulométrica NBR 7211 (ABNT, 2009), massa específica e massa unitária, de acordo com os procedimentos descritos na NBR NM 248 (ABNT, 2011), NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 45 (ABNT, 2006), respectivamente.

Na Tabela 3 encontram-se os valores obtidos com a realização dos ensaios de massa específica e massa unitária e, na Tabela 4 encontram-se os resultados de análise granulométrica.

Tabela 3: Características físicas.

Características físicas	
Massa específica	2600 Kg/m³
Massa unitária	1460 Kg/m³

Tabela 4: Características granulométrica.

Granulometria da areia NBR 7211	
Peneiras Aberturas Normais (mm)	% Retido Acumulado
4,8	0
2,4	0
1,2	1
0,6	7
0,3	66
0,15	94
Fundo	100
Módulo de finura = 2,68	
Diâmetro máximo = 1,2	

Na Figura 2 encontra-se a curva granulométrica obtida no ensaio de composição granulométrica.

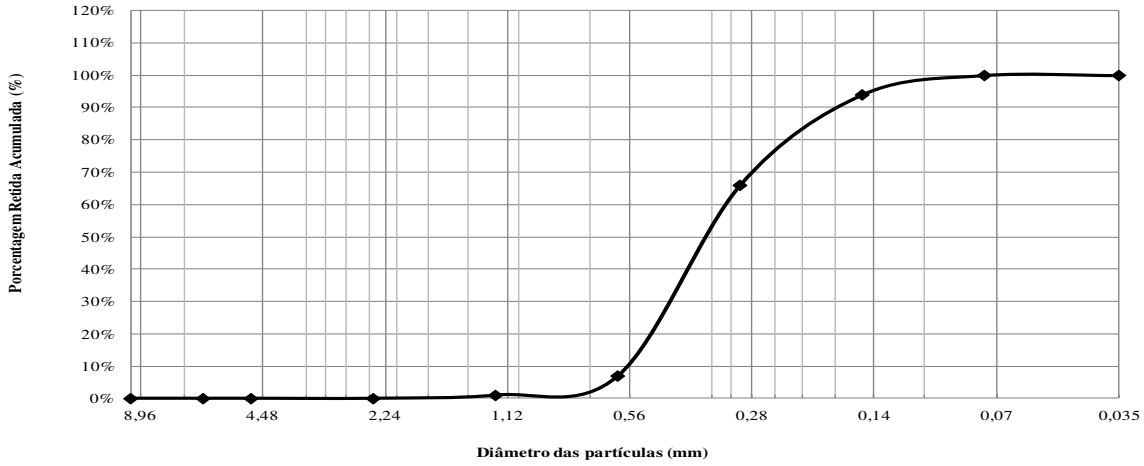


Figura 2: Curva granulométrica do agregado miúdo

2.1.4 Aditivo

Foi utilizado um aditivo superplastificante, cuja as características estão descritas na Tabela 5. Este aditivo é baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado que atua como dispersante do material cimentício, propiciando superplastificação. A principal função do aditivo foi de reduzir o consumo de água, melhorar a trabalhabilidade e a qualidade das argamassas.

Tabela 5: Características físicas do aditivo superplastificante utilizado.

Características físicas	
Densidade	1067 a 1107 Kg/m³
pH	5 a 7

2.1.5 Água

Potável, distribuída pela rede pública do município de Belém do Pará, não sendo realizado nenhum ensaio prévio de caracterização.

2.2 Índice de consistência

O índice de consistência da argamassa de referência foi determinado conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005). Este ensaio consiste em medir o espalhamento horizontal da argamassa em uma mesa de consistência (*Flow Table*), onde a mesma é moldada em um cone padrão.

Segundo Grullón Penã (2004) uma das exigências mais importantes para argamassas de reparo são a trabalhabilidade e a consistência no estado fresco, que deve permitir que as argamassa sejam moldáveis com a mão.

As argamassas apresentaram boa trabalhabilidade e o resultado do índice de consistência obtido no ensaio realizado para a argamassas após o cálculo das médias obtidas, foi de 220 mm ± 20 mm.

2.3 Dosagem das argamassas

A composição das argamassas foi preparada de forma a se obter a mesma consistência, variando a proporção de substituição do cimento pela sílica ativa e aditivo para a mesma relação água/cimento (a/c) de 0,5. A sílica ativa foi adicionada em substituição da massa de cimento e, o aditivo foi adicionado em relação a massa do cimento mais a massa da sílica ativa. O traço de referência e das argamassas com adição em substituição foi de 1:3 em massa, sendo 1 a quantidade de cimento mais a quantidade do percentual de substituição do cimento pela sílica ativa e 3 a quantidade de agregado miúdo. Na Tabela 6 é apresentada a caracterização das argamassas.

Tabela 6: Dosagens das argamassas.

Traço	Traço unitário (Kg)				
	Cimento	Areia	Água	Sílica Ativa	Adtivo
T1	1,00	3,00	0,50	0,00	0,02
T2	0,95	3,00	0,50	0,05	0,03
T3	0,85	3,00	0,50	0,15	0,03

Na Tabela 6, T1 refere-se a argamassa de referência com 0% de substituição do cimento pela sílica ativa, T2 a argamassa com 5% de substituição do cimento pela sílica ativa e T3 a argamassa com 15% de substituição do cimento pela sílica ativa.

2.4 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados 9 corpos de prova cilíndrico (50 x 100 mm), para a realização do ensaio de resistência à compressão axial, de acordo com NBR 13279 (ABNT, 1995), 9 corpos de prova prismático (40 x 40 x 160 mm), para a realização de ensaio de resistência à tração na flexão de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005) e 9 corpos de prova cilíndrico (100 x 200 mm), para a realização do ensaio de módulo de elasticidade de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008), na idade de 28 dias. A Tabela 7 mostra a quantidade de corpos de prova utilizada para cada ensaio para as diferentes argamassa.

Tabela 7: Número de corpos de provas utilizados para cada ensaio

Teor de sílica ativa	Ensaios	Nº de corpos de provas
0%	NBR 13279	3
	NBR 13279	3
	NBR 8522	3
5%	NBR 13279	3
	NBR 13279	3
	NBR 8522	3
15%	NBR 13279	3
	NBR 13279	3
	NBR 8522	3

Os corpos de prova ficaram em processo de cura inicial dentro dos moldes por 24 horas em ambiente de laboratório, em seguida, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e armazenados em um tanque para a realização da cura submersa até as idades de realização dos ensaios.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 1995). Este, foi realizado na idade de 28 dias após as moldagens de três corpos de prova para cada traço.

Na Tabela 8 e na Figura 3 são apresentados os valores médios de resistência à compressão das argamassas.

Tabela 8: Valores dos resultados do ensaio de resistência à compressão para as idades de 28 dias.

Teor de Sílica Ativa	Compressão axial 28 dias (MPa)
0	33,71
5	28,51
15	39,49

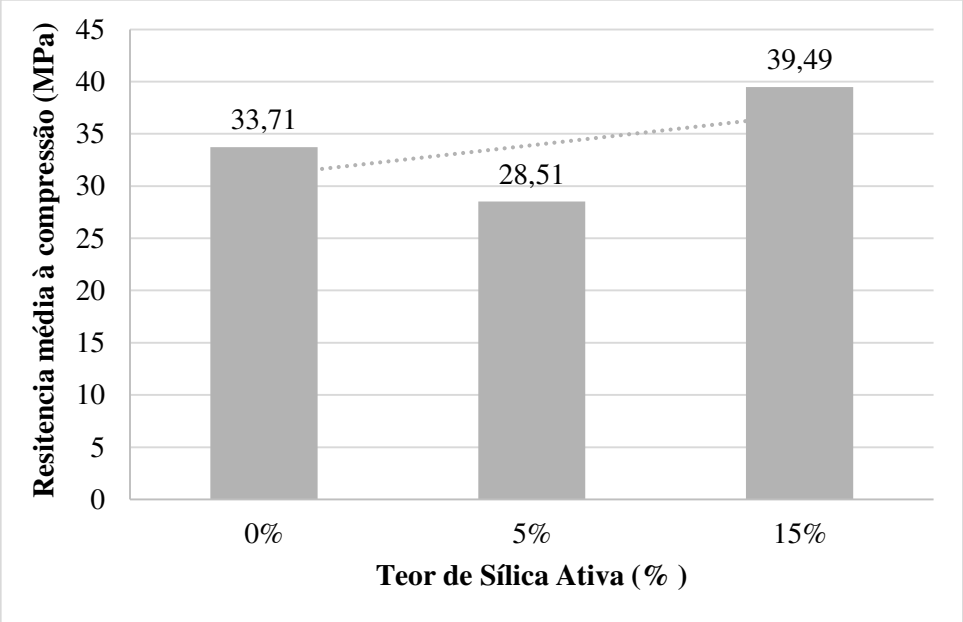


Figura 3: Resultado da resistência à compressão das argamassas na idade de 28 dias.

No resultado do ensaio de compressão axial verificou-se o aumento da resistência mecânica nas argamassas quando comparados entre idades de ruptura dos corpos-de-prova para cada teor de substituição de sílica ativa como o esperado. Entretanto, ao analisarmos o incremento de resistência mecânica considerando o percentual de substituição de 5% e 15% de sílica ativa em relação à argamassa com 0% de sílica ativa, verifica-se que no 28º dia de ruptura dos corpos-de-prova somente a argamassa com 15% substituição de sílica ativa conferiu maior resistência mecânica em relação à argamassa com 0% de substituição.

A obtenção de uma resistência mecânica para a argamassa com substituição de 5% de sílica ativa, menor que a resistência adquirida na argamassa com 0% de substituição pode ser

admitida como possível falha no procedimento laboratorial. No entanto, em uma hipótese de utilizar esta argamassa no reparo estrutural de uma peça de concreto com características similares de resistência mecânica sugere-se a admissão da redução de significância da possível falha, pois a argamassa resistiria de forma compatível aos esforços tanto quanto a peça de concreto formando assim, um elemento monolítico entre as mesmas.

Segundo MAZZA (2010) é sugerido para a eficácia da compatibilidade estrutural e mecânica entre os materiais de reparo e substrato que o material de reparo obtenha resistência à compressão superior ou similar a do concreto do substrato. Este concreto deve obter resistência que atenda aos requisitos mínimos normativos NBR 6118 (ABNT, 2007) quanto à durabilidade, atingindo assim resistência à compressão mínima de 20 MPa, aos 28 dias.

3.2 Resistência à tração

Para a determinação da resistência à tração na flexão foram moldados 3 corpos de prova para cada traço, o ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Na Tabela 9 e na Figura 4 apresentam-se os resultados obtidos na ruptura dos corpos de prova na idade de 28 dias.

Tabela 9: Resultados das médias de resistência à tração das argamasas

Teor de adição	Resistência à tração (MPa)
0%	7,76
5%	9,32
15%	8,14

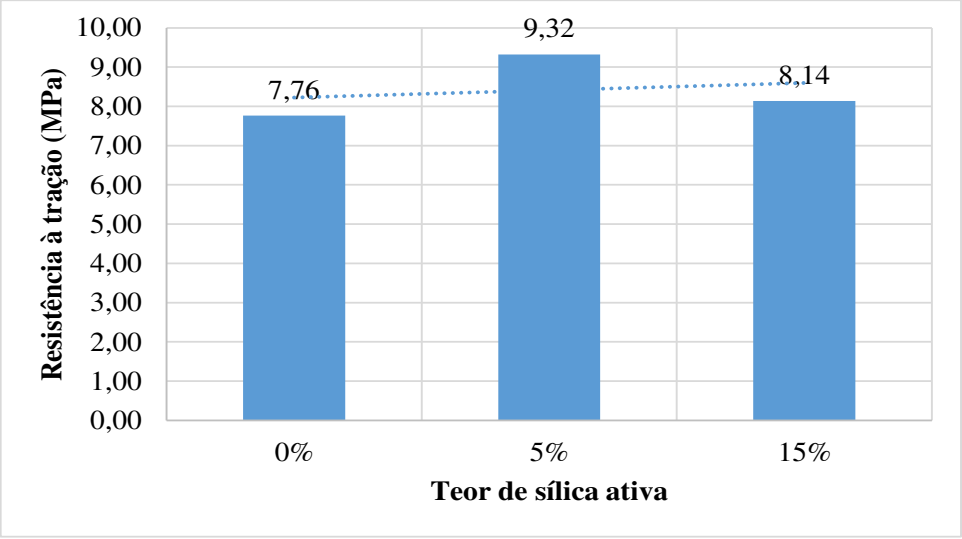


Figura 4: Resultados da resistência média à tração por flexão das argamassas.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 9 e na Figura 4 verificou-se o aumento da resistência à tração na flexão para todos os teores de adição de sílica ativa como substituição da massa de cimento (5% e 15%) em 20% e 5% respectivamente em relação a argamassa de referência. Tendo com maior aumento de resistência à tração da argamassa, a substituição de 5%.

Segundo Mazza (2010) a resistência à tração na flexão da argamassa de reparo deve ser superior a do concreto do substrato. Desta maneira observa-se que ambas as porcentagens de substituições em sílica ativa nas argamassas são satisfatórias para o uso desta no reparo estrutural em peças de concreto.

3.3 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade das argamassas foi determinado na idade de 28 dias e de acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2008), a Tabela 10 e a Figura 5 mostram os resultados obtidos do módulo de elasticidade.

Tabela 10: Resultados das médias dos valores do módulo de elasticidade das argamasas.

Teor de adição	Módulo de elasticidade (GPa)
0%	29,18
5%	38,73
15%	33,48

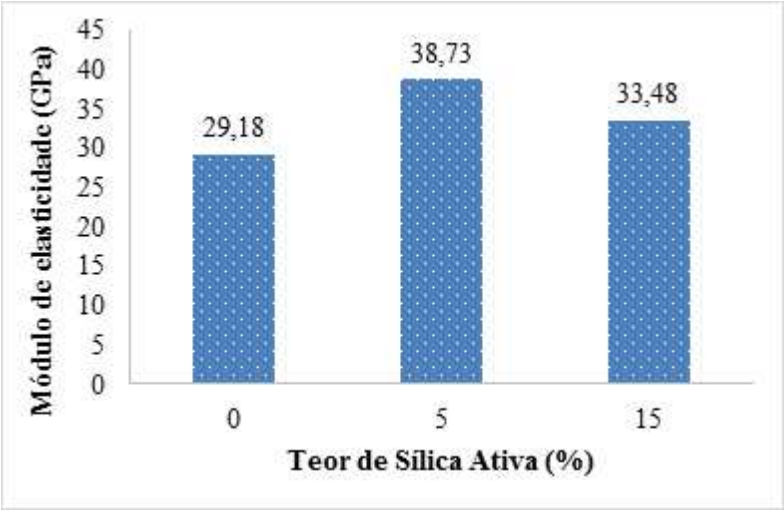


Figura 5: Resultados do módulo de elasticidade das argamassas.

De acordo com os resultados é possível verificar que a adição de sílica ativa como substituição da massa de cimento incrementou o módulo de deformação das argamassas em 33% e 15% respectivamente. A substituição de 5% foi a que melhor incrementou o módulo de elasticidade da argamassa.

A maioria dos pesquisadores no tema, defende o uso de materiais de reparo com módulo de elasticidade próximo ao do concreto da estrutura reparada para evitar problemas de compatibilidade. A utilização de argamassas de reparo com módulos de elasticidade muito altos pode resultar na atração de cargas muito elevadas, do mesmo modo em que o uso de materiais com módulos muito baixos deve ser evitado (GRULLÓN PEÑA, 2004).

Portanto a adição de Sílica Ativa nas argamassas incorpora o módulo de elasticidade da argamassa permitindo uma melhor compatibilidade com o substrato de concreto, esse conjunto de características faz com que a argamassa-substrato possa se comportar de forma monolítica, o que a deixa mais adequada para um emprego como material de reparo.

Ambas as porcentagens de substituição do cimento pela Sílica Ativa, não desfavorece seu módulo de elasticidade em relação a argamassa de referência, sendo que a adição em substituição de 15% melhor se aproxima da argamassa de referência, o que permite um maior valor de redução do consumo de cimento na argamassa sem perdas mecânicas.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados experimentais obtidos para verificação das propriedades mecânicas das argamassas com adição de sílica ativa, concluiu-se que no estado fresco todas as argamassas com adição de sílica ativa em substituição a massa de cimento apresentaram um manuseio satisfatório e adequado para uma argamassa de reparo, sua consistência permitia que as argamassas fossem satisfatoriamente moldáveis com a mão. Já no estado endurecido concluiu-se que a substituição de porcentagens de cimento por sílica ativa confere às argamassas com teores de substituição do cimento pela sílica ativa apresentam aumento em suas propriedades mecânicas comparada a de referência.

Entretanto, quando analisados os benefícios atribuídos pela substituição do subproduto é vantajosa no caso de reparos estruturais a adoção da substituição de 15% de sílica ativa em detrimento da massa de cimento. Pois, além de apresentar os requisitos de resistência a compressão axial mínimos permite menor rigidez em relação a argamassa com 5% de substituição, podendo atingir maiores deformações sem provocar fissurações.

Portanto a adição de 15% de sílica ativa além de consumir menos cimento que os outros traços, torna a utilização desta em substituição uma excelente alternativa para produção de argamassas de reparo, onde seria utilizada menor quantidade de cimento em razão do aproveitamento de um subproduto, contribuindo economicamente e ambientalmente, diminuindo o consumo de energia e emissão de gás carbônico à atmosfera proveniente da fabricação de cimento.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **NM 15**: Cimento Portland – Análise química – Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **NM 43**: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2002. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **NM 76**: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine). Rio de Janeiro, 1996. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2011. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007. 221p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – especificação. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75μ (nº 200). Rio de Janeiro, 2012. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582**: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade Le Chatelier. Rio de Janeiro, 2012. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de pareces e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de pareces e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13956**: Sílica ativa uso com cimento Portland em concreto, argamassa e pasta parte 1 – Requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14656**: Cimento Portland e matérias-primas – Análise química – Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

CARVALHO, GABRIEL; GOMES, MURILO; SIMÕES, VICTOR. **Efeito da Adição de Sílica Ativa, Nanotubos de Carbono e Nanossílica na Retração de Argamassas de Reparo de Cimento Portland**. UFPR, Curitiba, 2013, p.14.

DAL MOLIN, D. C. C.; SCHULER, A. Estudo a respeito da aderência de argamassas com adição de microssílica sobre o concreto endurecido, suas propriedades mecânicas e possibilidade de uso em reforços estruturais. **Relatório de Pesquisa**. CPGEC, UFRGS, 1993.

GRULLÓN PEÑA, M. R. **Estudo da fissuração associado à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto**. 2004. 107 f.. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAILVAGANAM. N. P.; DEANS, J. J. **Materials, selection, and handling**: repair and protection of concrete structures. Boca Raton: CRC Press, 1992.

MAZZA, S. de C. **Estudo das propriedades mecânicas e da aderência do sistema argamassa de reparo com cimento geopolimérico/substrato de concreto com cimento Portland**. 2010. 188 f.. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010.

RIPPER, T., SOUZA, V. C. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª ed. São Paulo: Editora Pini, 1998.

VASKE, N. R.; CAMPAGNOLO, J. L.; DAL MOLIN, D. C. C.; Aplicação da argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 77-93, set. 2008.