



## Argamassa para reforço estrutural com adição de metacaulim

José Thadeu Soares dos Santos Júnior<sup>1</sup>, Italo David Galvão da Silva<sup>1</sup>, Edilberto Vitorino de Borja<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduandos do curso de Tecnologia em Construção de Edifícios – IFRN. e-mail: [sgdi2@yahoo.com.br](mailto:sgdi2@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor Doutor, Diretoria Acadêmica de Construção Civil – IFRN. e-mail: [edilberto.borja@ifrn.edu.br](mailto:edilberto.borja@ifrn.edu.br)

**Resumo:** Este trabalho procura avaliar o desempenho de argamassas para reforço estrutural com adição mineral. Para tanto, foram elaborados três proposições de argamassa com diferentes teores de adição de metacaulim, em substituição ao cimento (5%, 10% e 15%). Realizaram-se ensaios nos estados fluido, de modo a avaliar o comportamento reológico das proposições, e endurecido, para verificar a resistência das mesmas aos 28 dias. Também foi realizado o ensaio para determinação da massa específica na condição saturada seca. Para cada traço de argamassa, foram moldados 6 (seis) corpos-de-prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm). Os resultados referentes à fluidez e consistência revelam que a argamassa com maior teor de adição necessitou de uma maior quantidade de aditivos para atender as características pré-determinadas, o que a tornaria, de um modo geral, inviável para aplicação em obras, já que o aditivo químico é insumo de elevado valor comercial na construção civil. Quanto as demais, todas se adequaram aos parâmetros propostos. No que tange aos ensaios no estado endurecido, concluiu-se que o melhor desempenho quanto à resistência mecânica à compressão foi o da argamassa com teor de adição de 10% em substituição ao cimento e que a menor resistência foi percebida na argamassa com teor de adição de 15% de substituição, muito embora esta ainda tenha superado a resistência da argamassa de referência, produzida sem nenhuma adição, para fins de comparação. Observa-se, dessa forma, que em todas as argamassas com adição de metacaulim, incidiu o efeito microfíler, ou seja, o índice de vazios diminuiu, uma vez que o metacaulim preencheu ou refinou os poros da argamassa, que terminou por adquirir mais densidade e, conseqüentemente, mais resistência.

Palavras-chave: argamassa, metacaulim, reforço estrutural

### 1. INTRODUÇÃO

Toda e qualquer edificação é passível de deterioração. O desgaste é um fenômeno inerente a todos os materiais. No entanto, quando se trata de estruturas de concreto, é impossível não se referir às chamadas “Manifestações Patológicas” (AZEVEDO, 2011), alterações que se apresentam sob diversas formas, tais como rachaduras, lixiviação, manchas, entre outros problemas que, de uma forma ou de outra, desvalorizam a edificação e, em casos extremos, podem comprometer a estabilidade da construção.

Como fatores responsáveis por esse tipo de problema, podemos citar a falta de acuidade no projeto estrutural, erros de cálculo de traço, falhas na execução decorrentes de mão-de-obra não qualificada e uso indevido (ou não previsto) da estrutura (RIPPER & SOUZA, 1998). Também é importante lembrar que algumas patologias são verificadas apenas em longo prazo, como é o caso da Reação Álcali-Agregado, e que no Brasil há diversas construções já bastante antigas. Além disso, a execução desse serviço ainda depende da experiência dos profissionais de obra, que partem de um conhecimento mais empírico e que não utilizam essa técnica com tanta regularidade (REIS, 2001). O



fato é que os serviços de reparo/reforço em estruturas de concreto são cada vez mais recorrentes, ensejando estudos acadêmicos em crescente quantidade.

O presente artigo apresenta resultados obtidos através um estudo sobre argamassas para reparo/reforço estrutural com adição de metacaulim, no que concerne a elaboração ou método de dosagem, aplicação e desempenho dessas argamassas, avaliando suas características reológicas, resistência mecânica e composição micro-estrutural. Paralelamente, foram estudadas as melhores combinações ou proporções entre os materiais constituintes das argamassas nos traços previstos. Ao todo, foram realizadas quatro composições de argamassa, sendo uma referencial, sem qualquer adição, e as demais com a adição do metacaulim em 5%, 10% e 15%, em substituição do cimento.

## 1. 1. REFERENCIAL TEÓRICO

Elementos estruturais em concreto comumente necessitam de reparos/reforços para sanar determinadas patologias, restaurando sua resistência original ou incrementando mais resistência ainda a peça degradada.

Diversas técnicas de reparo/reforço foram desenvolvidas, a exemplo do concreto com fibras de aço, poliméricas ou de carbono; argamassas reforçadas com resina epóxi, auxílio de chapas de aço, camisas de reforço, adições minerais, entre outros (VASKE et al., 2008 ). Dentre as técnicas citadas, destaca-se aqui a utilização das adições minerais, especificamente do metacaulim, cujos benefícios trazidos às argamassas para reforço/reparo ainda não são totalmente conhecidos. Além disso, esse tipo de técnica apresenta baixo custo e, principalmente, fácil execução, o que é de fundamental importância, em virtude de ser este último fator o maior causador de patologias em construções no Brasil, como mostra a figura 1.

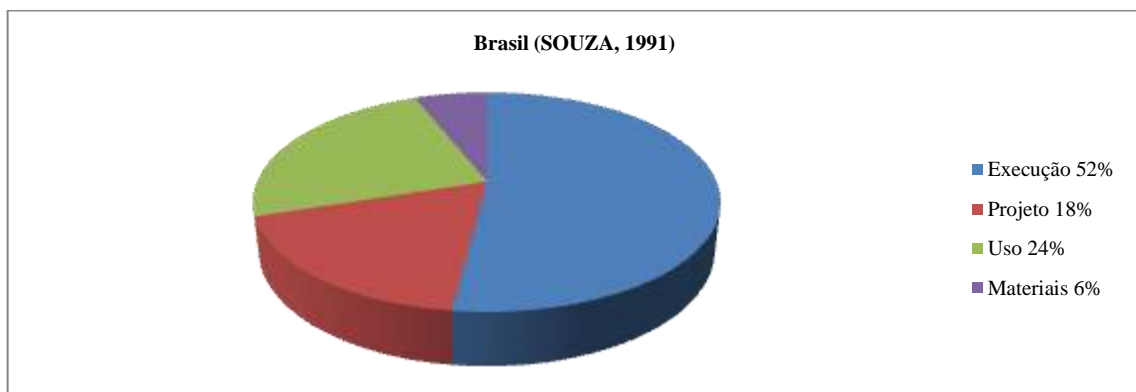


Figura 1: Principais causas de patologias em construções no Brasil. Fonte: (Reis, 1998)

No mundo da construção civil, tem-se buscado, através de pesquisas, novos materiais que sejam duráveis e de baixo custo. Todavia, esses materiais devem, primeiramente, manter características mecânicas apropriadas para o uso previsto. A adição do metacaulim em argamassas para reparo/reforço exige estudos aprofundados que possam garantir que esse material atenderá satisfatoriamente o comportamento desejado.

As argamassas utilizadas em reparos estruturais devem atender a alguns critérios de desempenho, quais sejam: fluidez, impermeabilidade, resistência, proteção contra corrosão e durabilidade (SHANNAG, 2000). Neste trabalho procurou-se atender alguns desses critérios por meio de ensaios de caracterização dos materiais componentes da argamassa (cimento, areia e metacaulim), avaliação do comportamento reológico da argamassa por meio do “*Funil de Marsh*” e do “*Slump Flow Test*”, e avaliação do comportamento da argamassa no estado endurecido, no que diz respeito à sua resistência à compressão e à tração, absorção de água, massa específica e absorção de água por capilaridade.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Após análise da literatura referente a argamassas para reparo/reforço e o uso de adições minerais, ficou estabelecida a confecção de quatro traços, sendo um deles de referência, sem adições minerais, e os demais com adições de metacaulim em substituição parcial do cimento em 5%, 10% e 15%. A quantidade de materiais utilizados nos traços está apresentada na tabela 1, bem como a nomenclatura de cada traço. Nas dosagens elaboradas, manteve-se constante o fator a/mc (água/materiais cimentícios) em 0,45. Já o consumo de aditivos plastificantes e super plastificantes variou conforme adequação da argamassa às características reológicas pretendidas, não ultrapassando, em todo caso, 0,92% da massa dos materiais cimentícios.

Tabela 1 - Quantidade dos Materiais e Nomenclaturas dos traços.

Nomenclatura	Descrição (% das adições)	C (g)	M (g)	A (g)	Água (g)	P (g)	SP (g)
AREF_00M	0% de METACaulim	1706,42	0,0	1519,2	767,88	5,08	5,04
ARG_05M	5% de METACaulim	1621,1	85,32	1519,2	767,88	5,04	10,8
ARG_10M	10% de METACaulim	1535,76	170,64	1519,2	767,88	5,04	10,8
ARG_15M	15% de METACaulim	1450,44	255,96	1519,2	767,88	12,96	7,56

C – Cimento, M – Metacaulim, A – Areia fina, P – Aditivo Plastificante, SP – Aditivo Super plastificante.

Para a confecção das argamassas utilizou-se o cimento Portland do tipo CP-II F 32, cuja caracterização das propriedades físicas, assim como das do metacaulim, está disposta na tabela 2, a seguir:

Tabela 2 – Massa Específica e Massa Unitária dos materiais constituintes das argamassas.

	Cimento	Metacaulim
Massa Unitária (kg/m <sup>3</sup> )	1100	560
Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	3090	2560

A amostra de metacaulim utilizada nesta pesquisa é proveniente da calcinação de argilas caulínicas e encontra-se comercialmente disponível no Brasil. A areia utilizada é proveniente de leito de rio. A classificação granulométrica (NBR NM 248, apresentando módulo de finura igual a 1,41, classificada como areia muito fina, massa específica igual a 2620 kg/m<sup>3</sup> (NBR NM 45, 2006) e massa unitária de 1570 kg/m<sup>3</sup> (NBR NM 52, 2009). A curva granulométrica encontra-se ilustrada na figura 2.

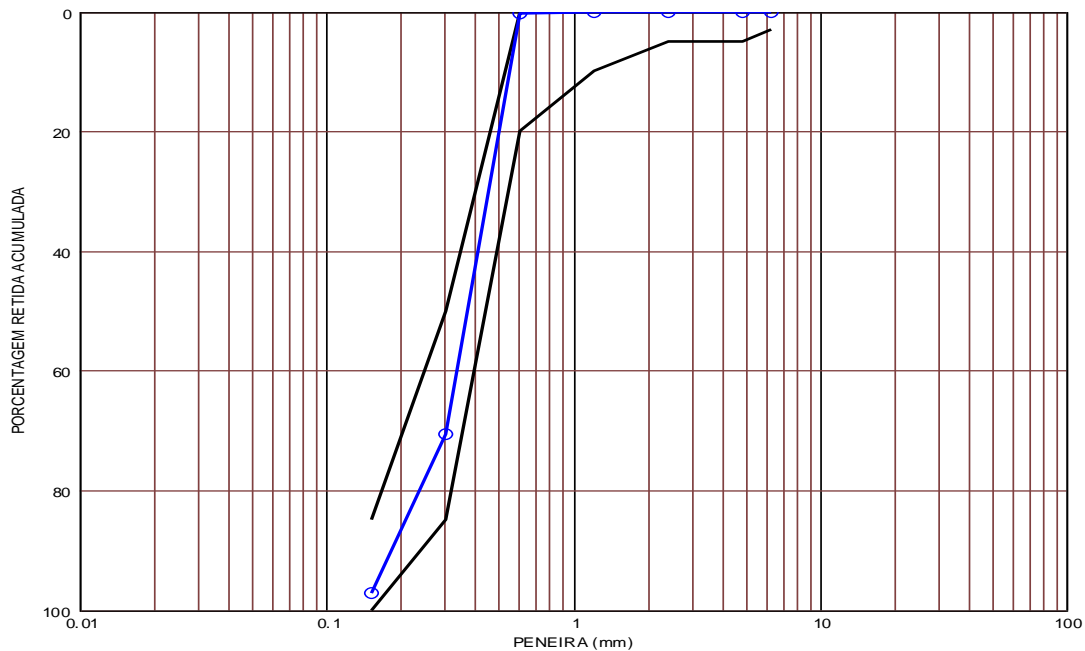


Figura 2 – Curva granulométrica da areia.

Para a mistura das argamassas, foi utilizado um misturador mecânico de argamassa (argamassadeira). As etapas para a mistura obedeceram às seqüências normativas sendo, portanto, colocada a água de amassamento por etapas e o aditivo químico misturado a uma quantia da água, ao final do processo. Para cada um dos traços foram confeccionados seis corpos-de-prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm).

Decorrido 24h, procedeu-se a desfôrma das amostras. Em todos os corpos-de-prova foi determinada a massa específica na condição superfície saturada seca (NBR 9778, 2005) e o módulo de elasticidade dinâmico, através de medidor de velocidade de pulso ultrassônico, modelo 58 – E0048, em acordo com a NBR 15630 (2008).

A combinação dos aditivos químicos plastificante (Mastermix 390N) e super plastificante (Glenium 218) resulta da observação da aplicação desses produtos em pesquisas anteriores. Esta combinação vem conferindo as argamassas a fluidez desejada e sua ação também é objeto de análise.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3. 1. NO ESTADO FRESCO

Para verificar o comportamento reológico das argamassas produzidas foram realizados os ensaios de escoamento e de espalhamento. Na tabela 3 estão registrados os diâmetros médios de espalhamento e o tempo de escoamento das argamassas pelo Funil de Marsh para preenchimento de recipiente volumétrico de 1 litro. Os valores constantes na tabela foram obtidos através da variação na dosagem de aditivos plastificantes e super plastificantes, pelo método de tentativas e erros. Convencionou-se que os parâmetros para o ensaio de espalhamento, referente ao diâmetro, seriam entre 260mm e 330mm e para o tempo de escoamento da amostra no Funil de Marsh, inferior a 90 segundos. Pode-se verificar que os resultados de todas as argamassas foram satisfatórios, embora o traço ARG\_15M tenha exigido uma quantidade maior de aditivos. Nenhum dos traços apresentou exsudação ou segregação dos materiais.

Tabela 3: Resultados do ensaio de espalhamento e tempo de escoamento.



Nomenclatura	Escoamento (seg)	Diâmetro de espalhamento (mm)	Plastificante MX 390N(g)	Super plastificante Glenium 218 (g)
AREF_00M	18	275	5,04	5,04
ARG_05M	24	260	5,04	10,8
ARG_10M	28	262	5,04	10,8
ARG_15M	31	273	12,96	7,56

### 3. 2. NO ESTADO ENDURECIDO

Na tabela 4 apresentam-se os resultados das massas específicas na condição superfície saturada seca (sss) das argamassas para 1, 7, 14, 21 e 28 dias. Os resultados apresentados representam a média aritmética de seis determinações, uma vez que se trata dos valores obtidos em seis corpos-de-prova prismáticos, para cada idade analisada.

Tabela 4 – Massas específicas na condição superfície saturada seca (kg/m<sup>3</sup>)

Traço	1 dia	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
AREF00M	2139	2169	2172	2175	2177
ARG05M	2101	2124	2128	2131	2133
ARG10M	22067	2095	2095	2098	2100
ARG15M	2126	2153	2155	2156	2157

Para o ensaio de resistência à compressão, utilizou-se as metades dos corpos-de-prova, resultando num total de 12 (doze) amostras para cada traço realizado. Os resultados do ensaio de resistência à compressão, executado conforme a NBR 13279 (2005) estão disponíveis na figura 3 e representam a média aritmética das 12 (doze) determinações. Com base nesses resultados, pode-se concluir que o traço de melhor desempenho no que tange a resistência à compressão a ARG\_10M, na qual se substituiu 10% de cimento pelo metacaulim, aumentando a resistência em aproximadamente 27%. O traço ARG\_15M novamente apresenta o pior desempenho entre as argamassas com adição, contudo, ainda assim sua resistência supera a da argamassa referencial.

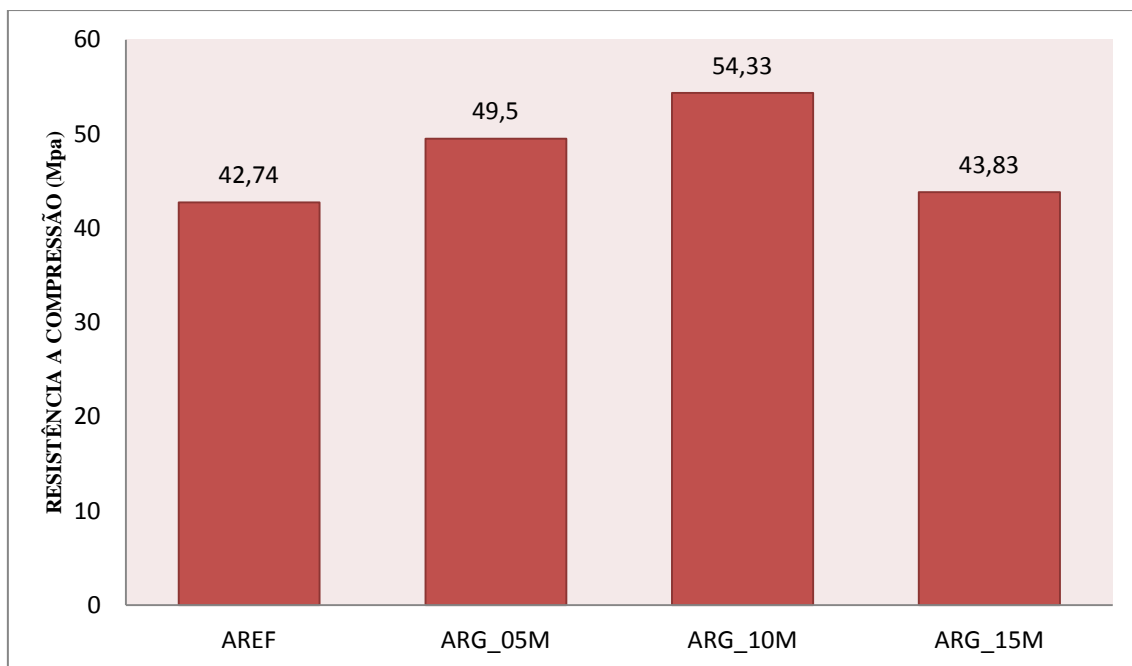


Figura 3: Resistência à compressão

#### 4. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos é possível afirmar que a argamassa que apresentou melhores resultados foi a ARG\_10M, tendo em vista que seu comportamento reológico atendeu aos pré-requisitos estabelecidos na pesquisa e que superou as demais composições no que tange à resistência à compressão. Por outro lado, a argamassa de pior desempenho foi a ARG\_15M, que necessitou de uma quantidade de aditivos maior para atingir um diâmetro aceitável no ensaio de espalhamento, o que a torna economicamente mais onerosa, além de ter apresentado a menor das resistências dentre os traços com adição. Observa-se, por fim, em todos os traços, a redução da porosidade pelo efeito microfíler ocasionado pelas partículas do metacaulim, refinando os poros da argamassa, deixando-a mais densa e, conseqüentemente, mais resistente.

Ainda há muito que explorar no que se refere às aplicações de argamassas para reparo/reforço. As limitações da presente pesquisa impossibilitam análises sobre a durabilidade dessas argamassas em períodos de tempo mais longos. Também a falta de equipamentos apropriados, como prensa hidráulica para ensaios de resistência mecânica próprios para vigas e pilares impedem que este artigo ofereça dados que comprovem o poder de aderência das argamassas às estruturas de concreto. Sugere-se, então, que essas lacunas sejam exploradas em trabalhos futuros.



## REFERÊNCIAS

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

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52** – Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e Concreto Endurecidos: Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda-ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

AZEVEDO, M. T. de. **Patologia das Estruturas de Concreto**. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Florianópolis, 2011. pp. 1095 – 1128.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adições Minerais**. In: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, Florianópolis, 2011. pp. 261 – 309.

REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Belo Horizonte. 2001. Dissertação de Mestrado.

RIPPER, T. & SOUZA, V. C. M. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto** - São Paulo : Pini, 1998.

VASKE, Nei Ricardo. **Contribuição ao estudo da argamassa com adição de sílica ativa em reforços de elementos comprimidos de concreto**. Porto Alegre, 2005. Dissertação de Mestrado.

\_\_\_\_\_. et al. Aplicação da argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 77-93, jul./set. 2008.

SHANNAG, M. J. High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume. Department of Civil Engineering, Jordan University of Science and Technology, Irbid 22110, Jordan. **Cement e Concrete Composites**, n. 22, p. 399-406, 2000.