



Tema 3 – Caracterización de materiales

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE METACAULIM NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS INORGÂNICAS

João Manoel Freitas Mota^{1,a}, Romilde Almeida de Oliveira^{2,b}, Aluízio Caldas e Silva^{3,c}, Anderson Gustavo Feitosa^{4,d}, Warlla Wilson Santos^{5,e}, David Williams da Gloria Simão^{6,f}

- (1) FAVIP – Faculdade do Vale do Ipojuca, Av. Adjar da Silva Casé, 800, Indianópolis, Caruaru, Recife – PE, Brasil.
- (2) Rua Caio Pereira, 226, Cep. 52041-010, Rosarinho, Recife-PE, Brasil.
- (3) FAVIP – Faculdade do Vale do Ipojuca, Av. Adjar da Silva Casé, 800, Indianópolis, Caruaru, Recife – PE, Brasil.
- (4) FAVIP – Faculdade do Vale do Ipojuca, Av. Adjar da Silva Casé, 800, Indianópolis, Caruaru, Recife – PE, Brasil.
- (5) FAVIP – Faculdade do Vale do Ipojuca, Av. Adjar da Silva Casé, 800, Indianópolis, Caruaru, Recife – PE, Brasil.
- (6) FAVIP – Faculdade do Vale do Ipojuca, Av. Adjar da Silva Casé, 800, Indianópolis, Caruaru, Recife – PE, Brasil.

^ajoao@vieiramota.com.br, ^bromildealmeida@gmail.com, ^caluizio.caldas@favip.edu.br,
^dandersonfeitosa25@hotmail.com, ^ewarllawilson@hotmail.com,
^fdavidwgsimao@yahoo.com.br

Palavras-chave: deterioração, patologia, argamassa, pozolana, metacaulim

Resumo

Em argamassas de revestimento, as patologias de fachadas são as mais freqüentes. Observa-se que o descolamento é a principal causa que influencia o desempenho (questões relativas ao estado de serviço e durabilidade). Ocorre que a retração acima de limites aceitáveis, bem como a desagregação superficial, com repercussão no descolamento de ladrilhos cerâmicos, gera patologias dos revestimentos argamassados com elevado custo de reparação. Sabe-se que os revestimentos que apresentam a durabilidade comprometida, advêm, de forma geral, do elevado índice de poros conectados, repercutindo desde a interface até a superfície. As investigações acerca dos aspectos que influenciam a redução dos poros, de forma mais substancial, na interface argamassa/base se torna importante devido ao fato deste efeito ser determinante para a vida útil. Nessa ótica, várias pesquisas mostraram que a adição de pozolanas em materiais com matriz cimentícia, provoca um maior empacotamento da mistura deixando-a mais densa, provocando uma maior extensão de aderência, gerando, por conseguinte, uma redução da porosidade na interface. Devem ser considerados, nas reações pozolânicas, aspectos físicos e químicos, desde a interface devido ao efeito parede, até a superfície.



O presente trabalho objetiva avaliar o incremento de propriedades de argamassas inorgânicas com adição de metacaulim por meio de estudos experimentais efetuados em laboratório. São consideradas amostras contendo adição de metacaulim em 10%, 15% e 20% em relação a massa do cimento, bem como a própria amostra de referência. Os resultados mostraram que a adição de Metacaulim contribui no incremento das propriedades mecânicas.

Introdução

É consagrado que o principal aspecto das patologias em revestimentos, fundamentalmente, nos revestimentos externos, é uma reduzida extensão de aderência na interface base/argamassas (demasiado grau de porosidade na interface). Essa deficiência leva ao destacamento das argamassas e, ou, das placas cerâmicas [1]

As figuras “a” (destacamento de revestimento em casario no Recife antigo), “b” (descolamento de revestimento externo em edifício) e “c” (descolamento generalizado na fachada do edifício em Florianópolis) apresentam patologias com predominância na deficiência de aderência.

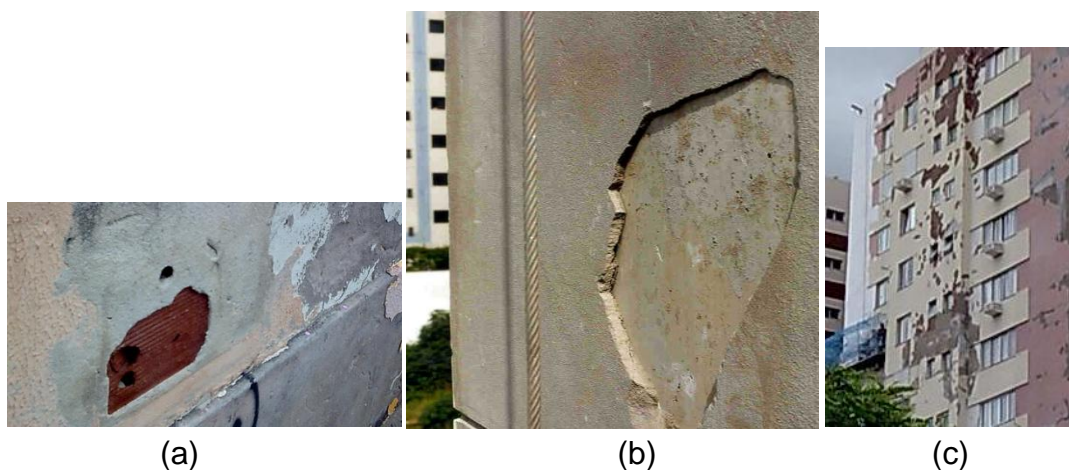


Figura 1 – Patologias concernentes a revestimentos de fachada

No contexto histórico dos estudos relativos a interface, pode-se dizer que Voss [2] observou na interface bloco cerâmico/argamassa (através de análise petrográfica e cristalográfica) uma camada de hidróxido de cálcio, onde se concluiu que a resistência de aderência é inversamente proporcional ao teor dessa camada.

Entretanto, estudos realizados por [3, 4] através da microscopia eletrônica de varredura, mostraram que a aderência base/argamassa com o povoamento de cálcio nos poros das bases, eleva-se, tendo em vista o aumento da extensão de aderência devido a maior cobertura do substrato pelas partículas finas da cal. Esses autores concluíram que laços de CSH (silicato de cálcio hidratado) sobre a superfície e interior dos poros, são os principais responsáveis pela aderência (Figura 2).

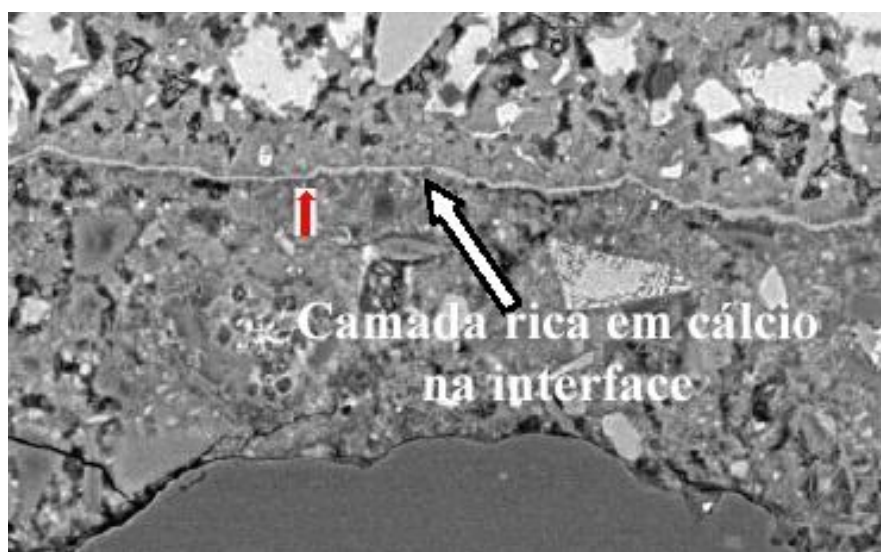


Figura 2 - Ampliação da região indicada pelo círculo na micrografia [5]

Identifica-se que, na interface pasta/bloco cerâmico, argamassas à base de cimento e cal, apresentam duas camadas, a saber: uma próxima da superfície do substrato (rica de cálcio, onde precipita hidróxido de cálcio em forma de placas) e outra camada que contém CSH e etringita [6].

Esses autores destacam que, em substratos saturados quando comparados com os secos, os produtos de hidratação encontravam-se em maiores proporções na interface, observando muito pouca presença no interior dos poros. Sabe-se que o grau de penetração dos compostos gerados é inversamente proporcional à dimensão dos poros e à saturação da base.

A aderência mecânica da argamassa ao substrato, ou seja, o efeito de intertravamento dos produtos de hidratação do cimento e da cal nos poros do substrato - através da dissolução ou estado coloidal dos componentes do aglomerante que resulta em cristais de etringita, representa um ponto relevante no sentido de garantir um bom desempenho da resistência por aderência [7].

Desta forma, faz-se necessário investigar possíveis aspectos influenciadores na redução dos poros na interface, uma vez que esse aspecto é importante para a durabilidade. Diversas pesquisas mostraram que a adição de pozolanas em materiais com matriz cimentícia, provoca um maior empacotamento da mistura deixando-a mais densa, gerando uma redução



natural da porosidade desde a interface, devido ao efeito parede, até a superfície [8].

A ação benéfica da adição de pozolanas na interface argamassa/substrato pode ser explicada através do efeito proporcionado pela reação entre a sílica da pozolana e o hidróxido de cálcio produzido na hidratação do cimento, formando o C-S-H, composto responsável pela resistência da matriz cimentícia, concomitantemente com o próprio efeito filler, reduzindo de forma extremamente benéfica a elevada relação água/cimento na interface [5, 9].

Verificam-se que, dentre os principais benefícios da adição da pozolana em argamassas, estão a maior trabalhabilidade, menor exudação e permeabilidade, elevação da resistência mecânica a longas idades, maior proteção em meios agressivos e meios expansivos. A figura 3 apresenta de forma esquemática os benefícios da adição de pozolana na zona de transição.

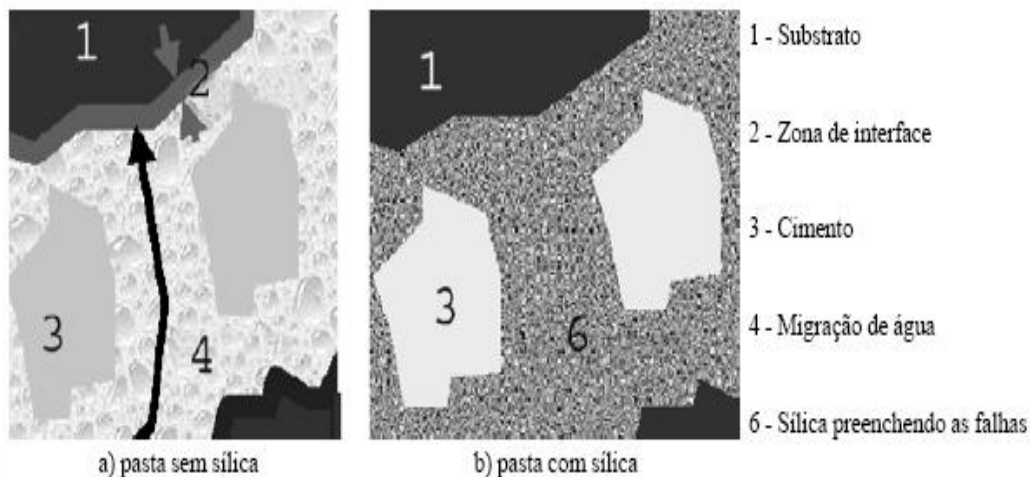


Figura 3 – Representação esquemática da zona de interface pasta/substrato [5]

Argamassas com adição tendem a incrementar as resistências mecânicas [10]. No entanto, o cimento governa o aumento dessas propriedades. A relação água/cimento é inversamente proporcional às resistências à compressão, fato que não se pode afirmar quanto à aderência.

A Figura 4 apresenta compostos presentes na interface argamassa/base, com destaque para os cristais de etringita.

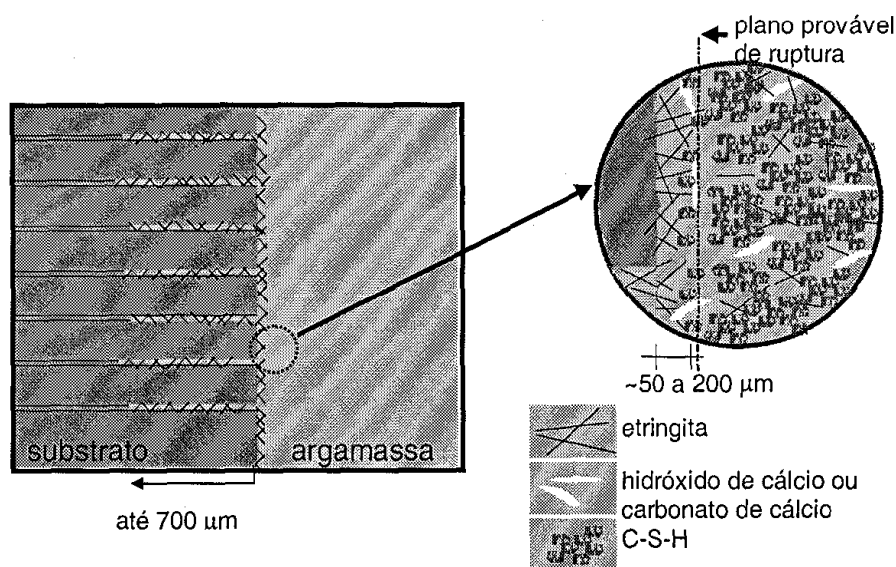


Figura 4 – Representação esquemática do modelo de aderência entre argamassas de cimento e cal sobre blocos cerâmicos [11]

A resistência mecânica das argamassas inorgânicas mistas com adição de pozolana aumenta em até 175% [12].

Ainda, avaliando a influência de pozolanas como Metacaulim e sílica ativa em argamassas, as que tiveram adições tiveram melhorias consideráveis nas propriedades mecânicas e as relacionadas com a durabilidade, quando comparadas com argamassa de referência, mista de cimento, cal e areia [13]. Sabe-se que, em diversos casos, as argamassas com Metacaulim se sobressaíram na propriedade de aderência.

Resultados mostram substanciais incrementos na aderência de chapiscos e argamassas com adição de sílica extraída da casca de arroz se encontram em [5, 16]. Chapiscos e pastas de baixa relação água/cimento, apresentam ganhos significativos na aderência. Portanto, os ensaios mostraram que chapiscos com a adição mineral na ordem de 5% possibilita uma maior compacidade, gerando ligações mais efetivas entre o chapisco e a base.

A Figura 5 apresenta detalhe desta deficiência na zona de transição argamassa/substrato cerâmico.

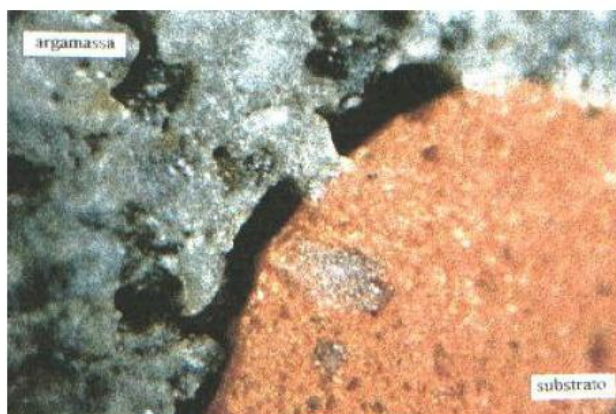


Figura 5 - Região da interface entre argamassa e substrato cerâmico [14]

O presente trabalho objetiva avaliar o desempenho técnico de argamassas inorgânicas adicionadas com metacaulim por meio da análise de propriedades mecânicas e as relacionadas com a durabilidade.

METODOLOGIA E MATERIAIS

Metodologia

Com o intuito de verificar o objeto principal do estudo, ou seja, avaliação do incremento proporcionado pela adição de metacaulim nas argamassas de revestimento, foram realizados ensaios para caracterização de algumas propriedades mecânicas e relativa a durabilidade de diferentes famílias com percentuais crescentes de adição.

O trabalho foi efetuado em quatro amostras de argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia, com percentuais de 0%, 10%, 15% e 20% de adição de metacaulim em substituição a massa de cimento. Para cada caso foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, nos quais foram investigadas propriedades mecânicas (compressão axial, tração por compressão diametral) e algumas relacionadas com a durabilidade (absorção de água por imersão e absorção de água por capilaridade).

Todos os trabalhos foram executados no Laboratório de Engenharia Civil – LEC, da Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP (Caruaru, Pernambuco), haja vista fazer parte das pesquisas científicas desenvolvidas, ato contínuo, na instituição.



Caracterização das amostras estudadas

Durante a preparação das amostras, foi mantida constante a trabalhabilidade da argamassa, medida a partir da mesa de consistência (flow table) num valor de (200 ± 20) mm. Assim, as quantidades proporcionais dos materiais empregados está apresentada a seguir:

- **amostra 1** (referência - 0% de metacaulim) – 1:1:6:1,5 (cimento:cal:areia: relação água/cimento);
- **amostra 2** (com 10% de metacaulim em substituição de cimento) – 1:1:6:1,5;
- **amostra 3** (com 15% de metacaulim em substituição de cimento) – 1:1:6:1,5
- **amostra 4** (com 20% de metacaulim em substituição de cimento) – 1:1:6:1,5.

Para a avaliação da influência do metacaulim no desempenho mecânico das argamassas foram realizados os ensaios descritos a seguir. Para cada caso foram realizados ensaios aos 28 dias e 90 dias, utilizando-se, em ambos os casos, as mesmas quantidades de amostras:

- **Propriedades mecânicas:** resistência à compressão (15 réplicas – corpos-de-prova - por amostra para cada idade – 28 dias e 90 dias), resistência à tração por compressão diametral (3 réplicas) – NBR 13279 e NBR 7222;
- **Propriedades relacionadas com a durabilidade:** absorção de água por imersão (3 réplicas por amostra para cada idade – 28 dias e 90 dias), absorção por capilaridade (3 réplicas) – NBR 9778.

Todos os corpos-de-prova para ensaiar à compressão foram capeados nas duas faces com enxofre.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam corpos-de-prova dos ensaios realizados.



Figuras 6, 7 e 8 – Representam CP's dos ensaios à compressão, absorção total e por capilaridade.



MATERIAIS

Cimento Portland, Cal Hidratada e Metacaulim

Utilizou-se os aglomerantes, cimento CP II-F-32 e cal hidratada CH-I. O metacaulim também foi utilizado nas amostras 2, 3 e 4. Sabe-se que os fabricantes desses materiais são líderes em venda na Região.

Agregado Miúdo

O Agregado miúdo foi uma areia natural de natureza quartzosa amplamente encontrada na Região. Esse material foi caracterizado pela densidade de massa específica e aparente, determinação da curva granulométrica e coeficiente de uniformidade de acordo com o método de Allen-Hazem. Este método relaciona $C=d_{60}/d_{10}$, significando a equivalência da porcentagem passante de material [15].

A Tabela 1 mostra características da areia natural, bem como a Figura 5 apresenta a curva da distribuição granulométrica.

Tabela 1 – Características da areia natural

Dimensão Máxima Característica	2,36
Módulo de finura	2,15
Densidade aparente (g/cm ³)	1,63
Massa específica (g/cm ³)	2,56
Coeficiente de uniformidade	1,2

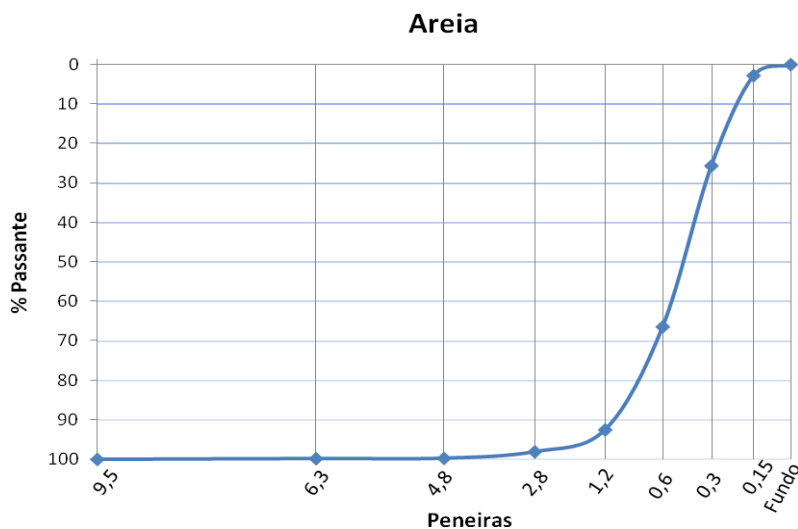


Figura 5 – Gráfico da curva granulométrica da areia



Água

A água utilizada foi proveniente da rede de abastecimento da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). Verificou-se que o pH da água no ato de sua utilização estava próximo de 6,5.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Resistência à compressão

A Tabela 2 mostra resultados de resistência à compressão axial das argamassas estudadas.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de resistência média à compressão (MPa)

Amostras	Idade do ensaio	
	28 dias	90 dias
1 (referência)	4,99	6,40
2 (adição 10%)	4,25	6,47
3 (adição 15%)	5,25	5,60
4 (adição 20%)	6,06	8,55

Verificou-se que, houve um incremento da amostra de referência em relação a amostra 4 na resistência à compressão axial aos 28 dias em 21,44% e para 90 dias em 33,60%. Observa-se que, o incremento máximo em relação a amostra de referência (amostra 1) foi a amostra 4, denotando assim que adições com proporção de 20% foi a mais eficiente das proporções estudadas.

Tração por compressão diametral

A tabela 3 apresenta resultados de tração por compressão diametral.

Tabela 3 – Resultados médios dos ensaios por compressão diametral (MPa)

Amostras	Idade do ensaio	
	28 dias	90 dias
1 (referência)	0,54	1,75
2 (adição 10%)	0,76	1,03
3 (adição 15%)	0,55	0,76
4 (adição 20%)	0,97	1,22



Verificou-se um incremento da amostra de referência (amostra 1) em relação a amostra 4 aos 28 dias de 79,62%, sendo que aos 90 dias não houve nenhum aumento, ao contrário verificou-se uma redução. Todavia, o aumento dos 28 dias em relação aos 90 dias da amostra 4, que ofereceu os maiores resultados, foi de 25,77%.

Absorção total

A Tabela 5 apresenta os resultados da absorção total.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios da média da absorção total (%)

Amostras	Idade do ensaio	
	28 dias	90 dias
1 (referência)	9,11	9,09
2 (adição 10%)	9,12	9,12
3 (adição 15%)	9,13	9,12
4 (adição 20%)	9,13	9,13

Os resultados dos ensaios dessa propriedade, mostraram que não houve diferenças substanciais entre as amostras aos 28 dias e aos 90 dias. Pode-se inferir que, as reações pozolânicas ocorrem em longos períodos, não se verificando, portanto, em 90 dias, incrementos relacionados a durabilidade (refinamento dos poros). Ademais, pode-se ainda ponderar que, caso se utilize aditivos plastificantes com o intuito de proporcionar a redução da relação água/cimento, a porosidade tenderá a se reduzir drasticamente.

Absorção por capilaridade

A Tabela 6, mostra os resultados dos ensaios de absorção por capilaridade

Tabela 6 – Resultados dos ensaios da média da absorção por capilaridade (%)

Amostras	Idade do ensaio	
	28 dias	90 dias
1 (referência)	9,04	9,03
2 (adição 10%)	9,09	9,06
3 (adição 15%)	9,04	9,03
4 (adição 20%)	9,03	9,04

Conforme verificado na absorção total, o ensaio de absorção por capilaridade não mostrou resultados entre as amostras, seja aos 28 dias como aos 90 dias. É cabível sublinhar que, a mesma ponderação apresentada na absorção total, pode ser atribuída nessa propriedade.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados experimentais colhidos em laboratório, podem-se concluir que:

▶ Verificou-se que na resistência à compressão o incremento máximo de 33,60% aos 90 dias (amostra 4 em relação a amostra 1, de referência). Com essa verificação poder-se-á inferir quanto a melhor aderência, considerando a relação direta entre essas duas propriedades.

▶ Quanto à tração por compressão diametral, verificou-se um incremento, da amostra de referência em relação à amostra 4, de 79,62% aos 28 dias. Entretanto, não se verificou incremento aos 90 dias. Ao contrário, houve redução. Contudo, o incremento máximo verificado (amostra 4) dos 28 dias em relação aos 90 dias foi de 25,77%. Pode-se dizer que para idades maiores, as reações pozolânicas agiriam de forma mais eficiente, uma vez que, em idades menores, quem governa é, de fato, o aglomerante.

▶ Absorção total e por capilaridade não se verificou diferenças relevantes, observando parâmetros bem similares. Sabe-se que as reações pozolânicas ocorrem a longo prazo. Por conseguinte, em períodos maiores poderá se observar incrementos relevantes.

▶ Vale destacar que, nesse trabalho não se utilizou aditivos tensoativos. Portanto, sugere-se novas pesquisas utilizando esse aditivo plastificante, objetivando redução da relação água/cimento para obtenção de maiores incrementos nas propriedades de argamassas com adição de pozolana.

REFERÊNCIAS

[1] COSTA e SILVA, A. J. **Descolamento dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo, 2001.

[2] VOSS, W. C. **Permeability of brick masonry walls: an Hypothesis** American Society for Testing Materials. **Proceedings**. Philadelphia, 1933.

[3] CHASE, G. W. **The effect of pretreatments of clay brick on brick-mortar bond strength**. In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 3rd., Arlington, June 1985.



- [4] SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. **Avaliação do efeito da sílica extraída da casca do arroz na aderência de argamassas e chapiscos.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de argamassas. São Paulo, 2005.
- [5] SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L. **Análise microestrutural da interface chapisco/argamassa.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2003.
- [6] LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. **An experimental study of the interface brick and mortar.** In: North American Masonry Conference. Los Angeles, 1987.
- [7] CARVALHO JR., A. N.; BRANDÃO, P. R. G.; FREITAS, J. M. C. **Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros dos blocos cerâmicos.** In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Florianópolis, 2005.
- [8] MOTA, J. M. F. **Influência da Argamassa de Revestimento na Resistência à Compressão Axila em Prisma de Alvenaria Resistente de Blocos Cerâmicos.** Universidade Federal de Pernambuco – Dissertação de Mestrado. Recife, 2006.
- [9] CARNEIRO, A. M. P. **Notas de Aula da Disciplina: Tecnologia das Argamassas – Mestrado de estruturas,** UFPE - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2005.
- [10] PEREIRA et al. **Teor de cimento ou R a/c: Quem exerce maior influência na resistência de aderência.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.
- [11] CARASEK, H.; CASCUDO, O. & SCARTEZINI, L. M. **Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassas.** In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Brasília, 2001.



[12] TAHA, M. M. R.; SHRIVE, N. G. **The use of pozzollans to improve bond and bond strength.** 9th Canadian masonry symposium. Canadá, 2001.

[13] GALVÃO, S. P. **Avaliação do desempenho de argamassas de reparo estruturais à base de cimento Portland modificadas por polímeros e contendo adições minerais.** Dissertação de Mestrado (UFG), 2004).

[14] CARASEK, H. **Aderência de argamassa à base de cimento portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese de Doutorado, USP. São Paulo, 1996.

[15] CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações.** Academia do Saber. Rio de Janeiro, 1983.

[16] SILVA, V. S.; LIBORIO, J. B. L.; SILVA, C. R. **Argamassas de revestimento com o emprego de pozolanas de argila calcinada.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória - ES, 1999.