

PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

UTILIZAÇÃO DE POZOLANA EM ARGAMASSAS DE REFORÇO PARA ALVENARIAS RESISTENTES

João Manoel Freitas Mota (1); Romilde Almeida de Oliveira (2); Karina Cordeiro de Arruda Dourado (3)

(1) *Professor Mestre e Coordenador da Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP; Doutorando, UFPE. E-mail: joao@vieiramota.com.br*

(2) *Professor Doutor Titular da Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP; Professor Permanente, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - UFPE
E-mail: romildealmeida@gmail.com*

(3) *Professora Mestre da Pós graduação da Faculdade do Vale do Ipojuca, Doutoranda, UFPE. E-mail: kcadourado@gmail.com*

RESUMO

Registra-se que na Região Metropolitana do Recife diversos edifícios tipo “caixão”, foram construídos com alvenaria resistente (de vedação com função estrutural) com até quatro pavimentos. Sabe-se que, essas construções não apresentavam embasamento tecnológico, nem tão pouco se fundamentavam em normas técnicas pertinentes. Os materiais utilizados, fundamentalmente os blocos, não apresentam desempenho satisfatório, implicando na insuficiência da capacidade de suporte das paredes desse tipo de edifício. Entretanto, várias pesquisas foram desenvolvidas a fim de se entender melhor o comportamento desse conjunto, para estabelecer uma forma de reforço objetivando um desempenho em serviço estável e durável. Nessa premissa, trabalhos científicos apresentam argamassa de revestimento armada como reforço, haja vista elevação da rigidez das paredes. Todavia, esse trabalho propõe a utilização de pozolana para incremento do desempenho em serviço e durabilidade satisfatória dessas argamassas. O presente trabalho objetiva avaliar a influência da pozolana metacaulim em argamassas por meio de estudos experimentais. Avaliaram-se propriedades mecânicas e outras relacionadas com a durabilidade. Os resultados indicam que a adição da pozolana metacaulim nas argamassas incrementa benefícios nas propriedades estudadas.

Palavras-chave: Alvenaria resistente, Argamassa armada, Argamassa com pozolana.

INTRODUÇÃO

Na Região Metropolitana do Recife foram erguidos diversos edifícios tipo “caixão” a partir da década de 70. Essas construções apresentam essa nomenclatura, tendo em vista seu formato arquitetônico, uma vez que as paredes são contínuas em todo

perímetro e ao longo dos pavimentos - predominantemente térreo mais três. Sabe-se que, esses edifícios foram construídos sem fundamentação técnica e que foram empregados materiais e processos sem controle adequado para atenderem funções estruturais (MOTA, 2006).

Observa-se próximo de 6.000 edifícios “caixão” na Região Metropolitana do Recife, onde abrigam cerca de 250.000 pessoas (OLIVEIRA, 2004).

Esses edifícios foram largamente concebidos devido seu menor custo em relação aos convencionais de concreto, rapidez na construção e a abundância da produção em Pernambuco dos blocos de concreto e principalmente cerâmico (OLIVEIRA e PIRES SOBRINHO, 2006).

Portanto, nesses edifícios construídos sem metodologia normalizada apresentaram diversas manifestações patológicas, tendo como resultados dezenas de empreendimentos interditados e, ou, ruídos.

Diversas pesquisas mostraram que as paredes mais carregadas não atendem às exigências de segurança estabelecidas pelas normas técnicas pertinentes, fundamentalmente, por conta dos blocos que não conferem requisitos de resistência, espessuras, retração, absorção, dentre outros aspectos. Entretanto, edificações com mais de 30 anos de serviço continuam em operação (MOTA; OLIVEIRA, 2007).

Edifícios tipo “caixão” tiveram como causa mais predominante de colapso, a deterioração das paredes de fundação situadas acima das sapatas corrida de concreto, devido a agressividade das águas do subsolo (OLIVEIRA, 2004). A Figura 1 mostra esquema que caracteriza esses edifícios.

Buscando-se estabelecer modelos de reforço para edifícios tipo “caixão”, alguns pesquisadores se aprofundaram em estudos objetivando conhecer de uma forma holística como se comportava a estrutura para, a um só tempo, apresentar alternativas para estabilidade.

Pires Sobrinho et. al (2009) ensaiaram 145 paredinhas em alvenaria de blocos cerâmicos de oito furos (9x19x19) cm - nas dimensões 0,09m x 0,60m x 1,20m com argamassa mista de cimento, cal e areia, na dosagem volumétrica de 1:1:6. Nessa pesquisa concluiu-se que: o revestimento de argamassa aumenta a rigidez das paredes, sendo este acréscimo proporcional a espessura e ao módulo de elasticidade da argamassa; o revestimento não modifica a forma de ruptura das alvenarias, que acontece de forma brusca, porém sendo constatado que há uma efetiva participação do revestimento no comportamento compressivo das paredes; o reforço com tela, com perfeito travamento no revestimento, eleva a capacidade de resistente das paredes, e, fundamentalmente, produz mudança significativa na forma de ruptura, conduzindo à um comportamento plástico, abaixo do patamar de ruptura, possibilitando redistribuição de esforços e deformações entre elementos de uma estrutura.

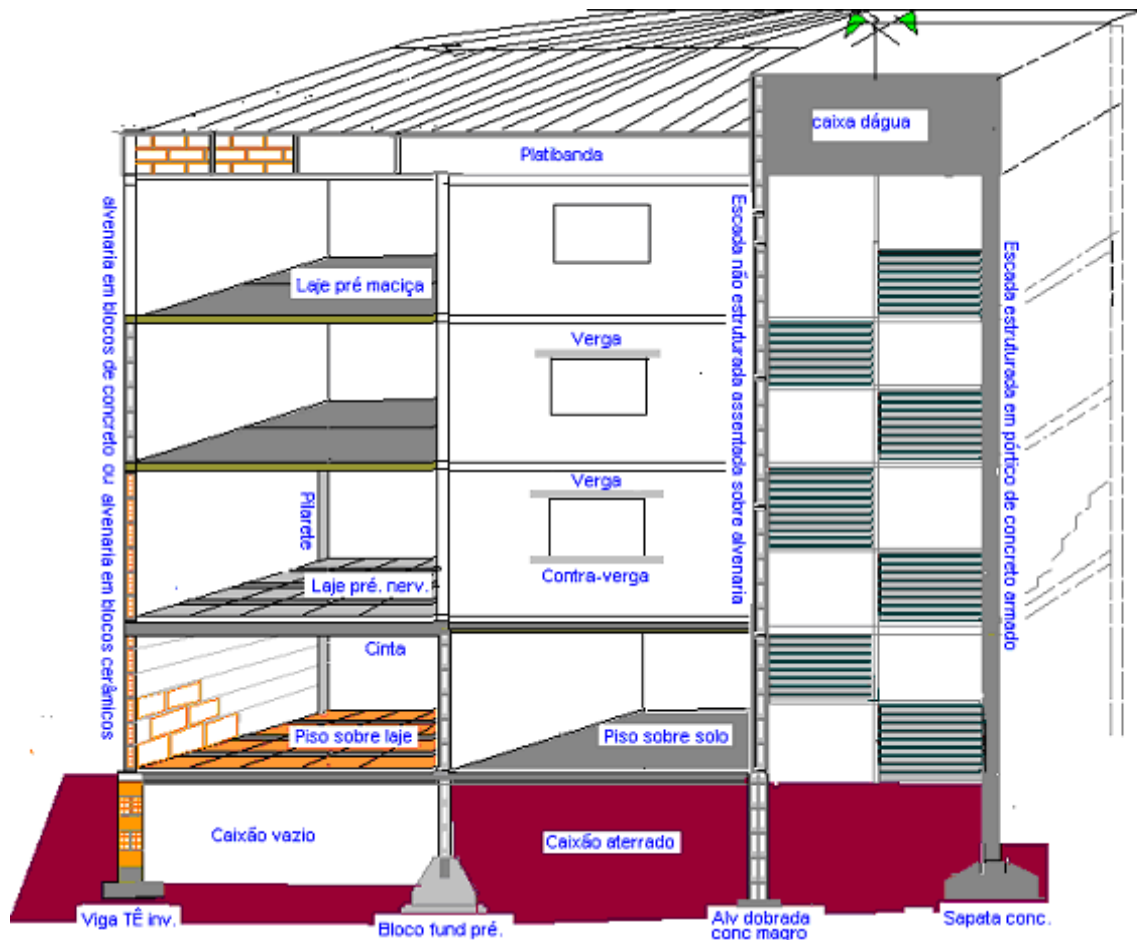


Figura 1- Detalhe esquemático de uma edificação em alvenaria resistente (OLIVEIRA; SILVA; PIRES SOBRINHO, 2008)

Oliveira et. al (2008) ensaiaram prismas de alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto de vedação com finalidade estrutural. Planejaram-se prismas sem revestimentos e com revestimentos; prismas com tela de aço no interior da argamassa de revestimento com e sem conectores (barras transversais) que interligam as capas de revestimentos dos dois lados dos prismas.

Portanto, os autores obtiveram resultados, a saber: em prismas de blocos cerâmicos o revestimento contribui na capacidade de suporte em até 335% na carga; em que pese rupturas diversas, predominantemente, verificou-se ruptura devido a tração lateral dos septos dos blocos, provocando o desequilíbrio do estado de confinamentos da argamassa de assentamento; não se verificou acréscimo substanciais de carga quando se ensaiou prismas com tela sem conectores. Em prismas blocos de concreto verificou-se acréscimo no suporte devido a capa de revestimento em até 72%. Todavia, o acréscimo ocorreu à patamares de até 159% quando se utilizou aço; a tela uniformiza no interior do revestimento a distribuição da carga com conseqüente influência na ruptura; quando utilizou-se camada dupla de argamassa armada o incremento do suporte chegou acerca de 300%; os conectores

elevaram em 65% a capacidade de suporte axial; os prismas com três centímetros de revestimento armado com conectores elevaram 180% na capacidade de suporte.

Entretanto, a capa de revestimento armado com dois, três ou mais centímetros de espessura, independente da riqueza do traço, apresenta uma porosidade inerente a materiais cuja matriz é cimentícia. Nessa ordem, deve-se imperativamente reduzir o teor de poros para que a armadura tenha maior barreira física, com o cunho de dificultar ataques de sulfatos, névoa salina (íons cloretos), dióxido de carbono, umidade, dentre outros agentes deletérios.

Pode-se dizer que a adição de pozolanas em materiais cuja matriz é cimentícia provoca um maior adensamento da mistura gerando uma redução natural da porosidade desde a interface (devido ao efeito parede) até a superfície (NEVILLE, 1997).

Avaliando a influência de pozolanas como Metacaulim em argamassas, Galvão (2004) verificou que as argamassas adicionadas elevaram consideravelmente as propriedades mecânicas e as relacionadas com a durabilidade, quando comparadas com argamassa mista sem adição (referência). Sabe-se que, em diversos casos, as argamassas com Metacaulim se sobressaíram na propriedade de aderência.

A importância da pozolana torna-se de tal ordem que sua finura permite se posicionar entre as partículas de cimento, preenchendo os vazios (efeito físico – *filler*), e proporciona a transformação em C-S-H (efeito químico) quando a sílica da pozolana combinada com o hidróxido de cálcio do cimento. O fenômeno físico explica a diminuição do teor de vazios, pois ocorre enquanto não se iniciam as reações pozolânicas, tendo em vista preenchimento dos espaços existentes que seriam ocupados pelo ar (MOSEIS; ROJAS; JOSEPH COBRERA, 2001).

Em pesquisa com pozolana, concluiu-se que a adição desse material em argamassas tende a incrementar o desempenho mecânico em até 2,75 vezes, em especial na resistência de aderência de argamassas inorgânicas (TAHA, 2001).

O presente trabalho objetiva avaliar a influência da pozolana metacaulim em argamassas de revestimentos com o cunho de incrementar propriedades mecânicas e propriedades relacionadas com a durabilidade. É imperativo buscar melhorias significativas acerca da argamassa, sabendo que a argamassa armada apresenta-se como forma importante e determinante para reforço dessas edificações, sendo invariavelmente porosa e com espessura pequena.

METODOLOGIA E MATERIAIS

Toda pesquisa foi executada no Laboratório de Engenharia Civil – LEC, da Faculdade do Vale do Ipojuca – FAVIP (Caruaru, Pernambuco), haja vista fazer parte das pesquisas científicas desenvolvidas na instituição.

Metodologia

Preparou-se quatro amostras de argamassas mistas inorgânicas contendo cimento, cal hidratada, areia e relação água/ligante – com todas na proporcionalidade em volume de 1:1:6:1,5).

- ▶ Família 1 – sem adição da pozolana metacaulim, chamada de referência.
- ▶ Família 2 – com 5% de metacaulim em substituição a massa de cimento.
- ▶ Família 3 – com 10% de metacaulim em substituição a massa de cimento.
- ▶ Família 4 - com 15% de adição de metacaulim em substituição a massa de cimento.

Ensaiou-se resistência à compressão axial; tração por compressão diametral; absorção total – todos com corpos de prova cilíndricos de 5 cm x 10cm; resistência de aderência à tração, e, permeabilidade (absorção pelo método do “cachimbo”) – sendo 2 ensaios nas famílias de referência (família 1) e na família 3, obtendo uma leitura na face do bloco e outro na junta, todas aos 30 (trinta) dias.

Concernente à absorção pelo método do “cachimbo”, pode-se relatar que o CSTC – Centre Scientifique et Technique de la Construction - propõe o ensaio para avaliação da permeabilidade à água dos revestimentos nas paredes. O ensaio conhecido como “Método do Cachimbo” baseia-se em fixar um tubo padronizado de vidro com formato em “L”, graduado em décimos de mililitro. Sua borda circular fixa com selante no revestimento e preenchida com água até a referência (observa-se que a pressão inicial sobre uma pequena área da parede ($5,31 \text{ cm}^2$), de 92 mm de coluna de água, simula uma ação estática do vento com velocidade de 140 Km/h). Por fim, efetua-se a cada 5 minutos a leitura da diminuição do nível de água em cm^3 , até que o nível da água atinja a marca de 4 cm^3 ou se completem 15 minutos de ensaio.

Almeida; Carasek (2003) afirmam que o ensaio de permeabilidade pelo método do cachimbo é simples e de rápida execução, pode ser realizado em laboratório e campo, apresenta um custo baixo e o ensaio é não destrutivo.

Na compressão axial, tração por compressão diametral e resistência de aderência à tração utilizou-se 15 corpos-de-prova por idade por família, sendo todos ensaiados aos 28 e 90 dias. Excetua-se na resistência de aderência à tração, que apenas foi ensaiado aos 90 dias. Na absorção total foram 6 corpos-de-prova nas idades 28 e 90 dias.

Na resistência de aderência à tração, realizou-se o corte quadrado de 10cm x 10cm na argamassa com posterior colagem com epóxi das chapas metálicas. A ruptura ocorreu após 24 horas da colagem das chapas.

Executou-se o substrato em alvenaria de blocos cerâmicos de vedação, e sobre esta alvenaria aplicou-se chapisco, sendo que em uma das faces da alvenaria o chapisco

foi tradicional (proporcionalidade 1:3:1, cimento:areia grossa:relação água/ligante, em volume) e na outra face aplicado o chapisco com uma adição de 5% de metacaulim em substituição ao cimento.

Materiais

- Aglomerantes: Utilizou-se cimento CP II-F-32 e cal hidratada CH-I, amplamente utilizadas na região;
- Adições: A metacaulim utilizada é industrializada na Região Metropolitana do Recife, tendo como origem uma argila caulínica de alta reatividade, com as seguintes características básicas (fornecido pelo fabricante): cor branca; densidade de massa específica 2,49 g/cm³ e densidade de massa aparente – 0,43 g/cm³;
- Agregados miúdos: Utilizaram-se areia natural quartzosa amplamente encontrada na Região da Cidade de Caruaru – PE. 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 percentagem passante de material;

A Tabela 1 mostra características da areia natural, e a Figura 2 apresenta a sua curva da distribuição granulométrica.

Tabela 1 - Características da areia utilizada na pesquisa.

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

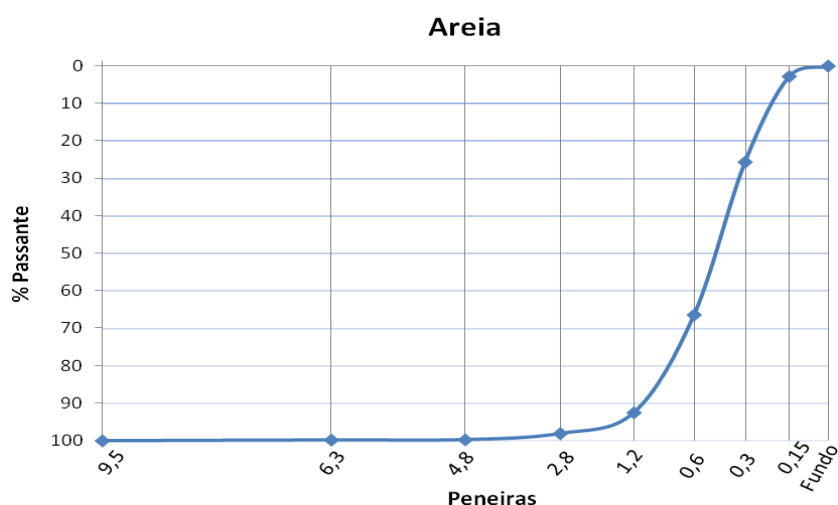


Figura 2 - Gráfico indicativo da curva granulométrica da areia

- Blocos: A base de alvenaria executado com blocos cerâmicos de vedação foi construída ao lado do laboratório e teve as seguintes características: medidas médias de comprimento, altura e largura (19,0cm; 9,5cm e 19,1cm); massa 2.510g; IRA (Initial Rate Absorption) 12,2 g/200cm²/min. e absorção total 12,3%;
- 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

As propriedades mecânicas verificadas nos ensaios realizados apresentam-se compiladamente na Figura 3.

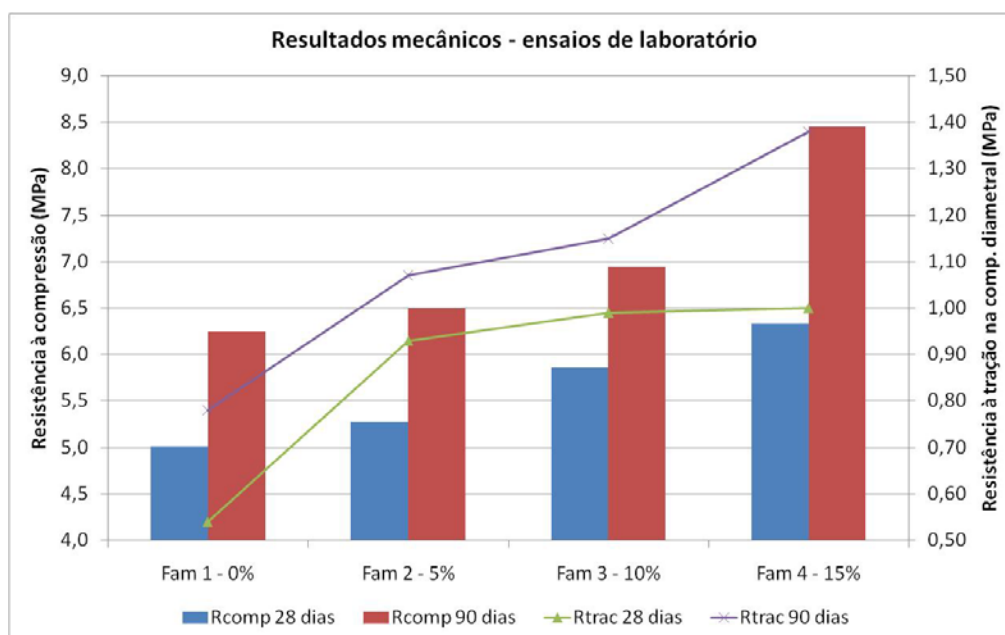


Figura 3 – Resultados de algumas propriedades mecânicas

Pode-se verificar a importante elevação da resistência à compressão para as amostras adicionadas com metacaulim, quando relacionadas com a família sem adição (referência). Na mesma ordem satisfatória - também verificou-se para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Evidencia que a variável tempo favorece de maneira diretamente proporcional o incremento das reações pozolônicas.

A resistência de aderência à tração está mostrada na Figura 4.

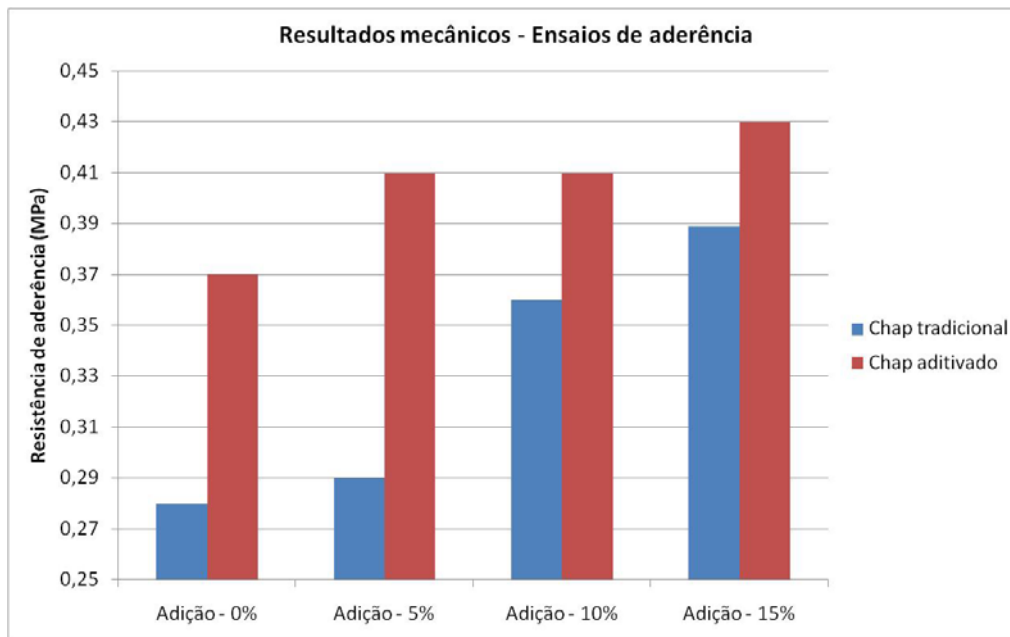


Figura 4 – Resultados da resistência de aderência à tração

Verifica-se um crescimento da resistência de aderência à tração diretamente proporcional ao teor da adição da pozolana. Também pode-se relatar que a adição da pozolana no preparo da base chapiscada deve reduzir o nível de porosidade, aumentando a extensão de aderência, uma vez que se obtêm maiores resistências.

Objetivando avaliar aspectos acerca da durabilidade, realizou-se ensaios de absorção de água por imersão total. A Figura 5 apresenta os resultados.

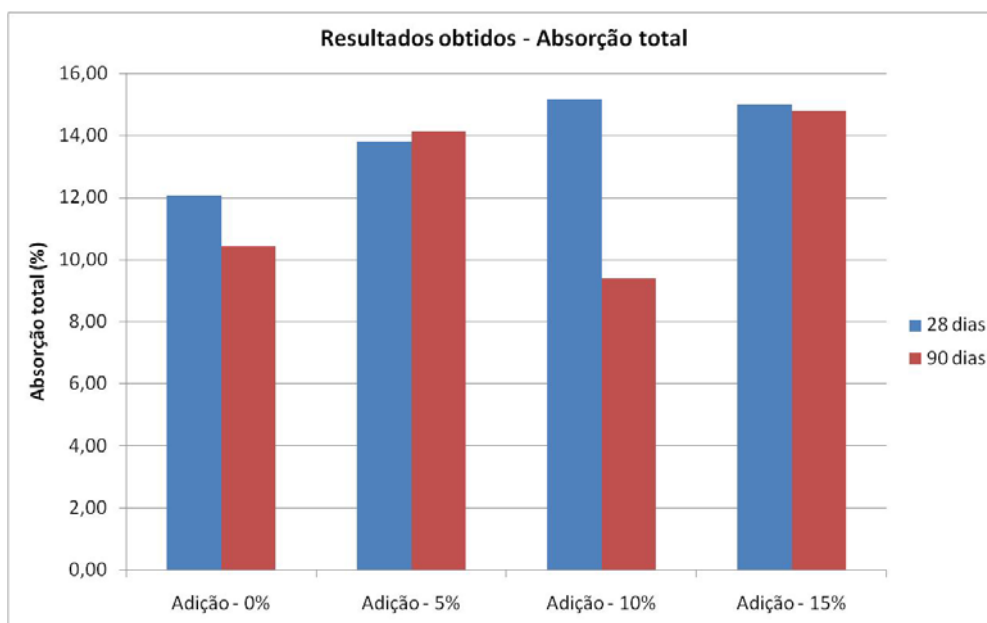


Figura 5 – Absorção total (média)

Não foi verificada redução relevante na absorção por conta das adições. Infere-se que as reações pozolânicas ocorrem em longos períodos. Entretanto, também se infere que os malefícios da redução do teor de cimento deve ter sido mais relevante do que os benefícios da adição, concluindo que essa redução tem limites que devem ser consideráveis. Contudo, muito provavelmente a utilização de aditivos tensoativos (plastificantes) reduzindo a relação água/cimento, concomitantemente com as reações pozolânicas, deve-se propiciar o refinamento dos poros de maneira mais acentuada.

No ensaio de permeabilidade no revestimento pelo método do “cachimbo” verificou-se a aplicação de 2 pontos por cada família estudada (família 1 e família 3), sendo uma na região da junta e outra na região da face do bloco. As Figuras 6 “a” (família de referência – 1) e “b” (família - 3) apresentam os respectivos gráficos. A Figura 7 mostra o ensaio (*in loco*).

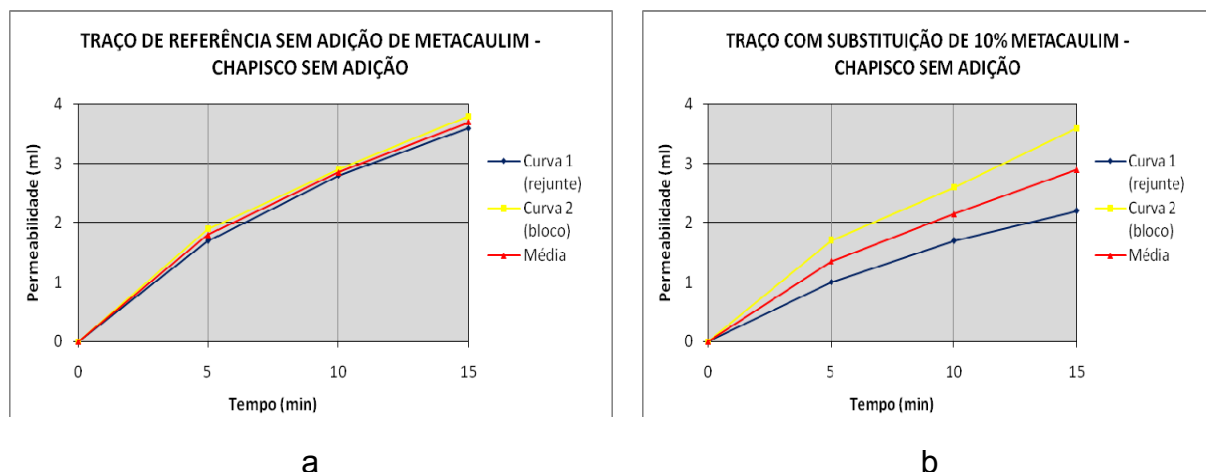


Figura 6 – Gráficos com os resultados de permeabilidade obtido através do método do “cachimbo”



Figura 7 – Ensaio de permeabilidade com o “cachimbo”

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados laboratoriais, apresentam-se a seguir as considerações concluintes:

- A resistência à compressão obteve o maior incremento quando comparou-se os 28 dias da família 1 em relação aos 90 dias da família 4, ou seja, aumentou 69,1%. A família 4 teve o maior incremento dos 28 dias em relação aos 90 dias, ou seja, elevou-se a resistência em 34,13%. Portanto, ocorreu aumento da resistência à compressão axial quando se aumentou o teor de substituição da metacaulim pela massa de cimento, bem como, em relação ao tempo do ensaio (quando se comparou 28 dias com 90 dias).

- Quanto à tração por compressão diametral, verificou-se um incremento da amostra de referência (aos 28 dias) em relação à família 4 (aos 90 dias) de 162,1%. Contudo, o incremento máximo verificado dos 28 dias em relação aos 90 dias foi na família 1, sendo 47,1%. Na mesma premissa, essa propriedade se eleva com a adição de pozolana.

- Na resistência de aderência à tração, verificou-se uma maior elevação de 39,5% quando se comparou a família 4 em relação à família de referência – isso para o preparo da base em chapisco convencional sem adição. Quando se analisou a resistência de aderência à tração do revestimento sobre chapisco com 5% de adição, a maior elevação foi de 16,5% (família 4 em relação a família de referência). Pode-se inferir que a interface chapisco/substrato governa a ruptura, haja vista maior proximidade dos resultados quando se chapiscou com adição. Contudo, avaliando todos os resultados (chapisco sem e com adição) a elevação foi de 53,5% quando se comparou a família 4 cujo chapisco teve adição, com a família 1 com chapisco, sem adição.

- Na absorção total, a maior elevação ocorreu em 40% quando se comparou a família 3 em relação à de referência. Ademais, de forma geral, verificou-se uma tendência de parâmetros similares entre as famílias. Sabe-se que as reações pozolânicas ocorrem a longo prazo. Portanto, em períodos maiores espera-se que sejam observados incrementos mais relevantes e lineares. Entretanto, utilizando aditivos plastificantes reduzindo a relação água/aglomerante, o refinamento da porosidade poderá ser ainda maior. Nessa premissa, sugere-se novas pesquisas com esse contexto para buscar identificar maiores incrementos nas propriedades de uma forma geral em argamassas com adição de pozolana.

- No ensaio com o cachimbo, observou-se redução (na curva média) da permeabilidade na família com adição quando comparada com a de referência. Essa constatação pode ser justificada, tendo em vista a ocorrência do efeito *filler*. Observou-se também que houve menor absorção nos pontos da região da junta em relação aos pontos situados na região da face do bloco. Nesse caso, pode-se ponderar que ocorre maior dificuldade de penetração de água nas juntas, existindo na face uma irradiação da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, D. L.; CARASEK, H. **Avaliação da permeabilidade e de absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método de cachimbo.** In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. São Paulo, 2003.

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).

MOSEIS; ROJAS; JOSEPH COBRERA. **The effect of temperature on the hydration rate and stability of the hydration phases of metakaolion – lime – water systems.** School of Civil Engineering. University of Leeds, 2001.

MOTA, J. M. F. **Influência da Argamassa de Revestimento na Resistência à Compressão Axial em Prismas de Alvenaria Resistente de Blocos Cerâmicos.** Dissertação de Mestrado. UFPE – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006. PE – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MOTA, J. M. F.; OLIVEIRA, R. A. **Formas de ruptura em prismas de Alvenaria resistente de blocos cerâmicos.** II Congresso Brasileiro de pontes e estruturas, Rio de Janeiro, 2007.

OLIVEIRA, R. A. **Notas de Aulas da Disciplina de Alvenaria Estrutural – Mestrado de Estruturas,** UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; PIRES SOBRINHO, C. W. **Edifícios construídos com alvenaria resistente em Pernambuco - Situação atual e perspectivas futuras.** In: Bernardo Silva Monteiro; José Afonso Pereira Vitório. (Org.). O Sinaenco-PE e a produção do conhecimento. 1a ed. Recife: Sinaenco, 2008, v. 1, p. 233-263.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2. ed. PINI. São Paulo, 1997.

OLIVEIRA, R. A. e PIRES SOBRINHO, C. W. A. **Acidentes com prédios construídos com alvenaria resistente na região metropolitana do Recife.** DAMSTRUC, João Pessoa – PB, 2006.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; SANTOS, L. V.; AZEVÊDO, A. C. **Comportamento Compressivo de Prismas de Blocos de Vedação Cerâmicos e de Concreto com e sem Adição de Argamassa Resistente.** Symposium (Recife), v. 12, p. 5-27, 2008.

Cinpar
2011

7º CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA
E REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS

7TO CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍA
Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS

7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON STRUCTURAL
DEFECTS AND REHABILITATION

FORTALEZA, 2 A 4 DE JUNHO DE 2011

PIRES SOBRINHO, C. W.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; ANDRADE, S. T. **INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO, SIMPLES E ARMADO, NO COMPORTAMENTO DE PAREDINHAS EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO.** In: 5º. CINPAR - Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Curitiba, 2009.

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