

Efeito dos aditivos expensor e incorporador de ar em matrizes cimentícias para pilares mistos preenchidos

Effect of expansive agent and air-entraining admixture in cement-based composites for concrete-filled steel tubes

Juliana Fadini Natalli (1), Tainá Varela de Melo (2), Wanna Carvalho Fontes (3), Aline Santana Figueiredo (2), Arlene Maria Cunha Sarmanho (4) Ricardo André Fiorotti Peixoto (4)

(1) Mestrando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.

(2) Graduando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.

(3) Doutorando(a), Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil.

(4) Professor D.Sc, Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Materiais de Construção Civil, Escola de Minas, Campus Morro do Cruzeiro. Ouro Preto, Brasil. CEP 35400-000. E-mail: juliananatali@hotmail.com

Resumo

Os sistemas mistos passaram a ser uma nova alternativa para a associação aço-concreto nas edificações desde o início do século XX. A combinação de perfis de aço preenchidos com concreto, compondo pilares, tornou-se uma forma de potencializar as vantagens de dois materiais aliando benefícios técnicos e estruturais. Para que haja resistência frente às forças atuantes, a aderência e o efeito de confinamento entre o aço e o concreto nos pilares mistos devem ser garantidos. Com a finalidade de produzir matrizes cimentícias que contribuam para uma melhor interação aço-concreto, este artigo propõe o estudo do efeito de aditivo expensor e incorporador de ar nas matrizes. Através de análises da variação volumétrica e ensaios de resistência à compressão de protótipos de argamassas, buscou-se compreender a atuação desses aditivos nas matrizes e determinar a melhor dosagem a ser empregada. O objetivo dos testes foi obter a relação entre expansão máxima com perda mínima de desempenho mecânico. De acordo com os resultados obtidos, os teores ótimos de aditivos encontrados corresponderam a 1,0% de expensor e 0,1% de incorporador de ar.

Palavras chaves: Pilar misto preenchido, aderência, confinamento, aditivo expensor, aditivo incorporador de ar.

Abstract

The concrete-filled steel tube (CFT) systems have become a new alternative to the steel-concrete association in buildings since the beginning of the 20th century. The combination of steel profiles filled with concrete, composing pillars, has become a way of enhancing the advantages of two materials, combining technical and structural benefits. To resist the forces acting on the concrete, the adhesion and confinement effect between the steel and the concrete in the mixed pillars must be guaranteed. In order to produce cement-based composites that contribute to a better steel-concrete interaction, this paper proposes the study of the effect of expansive agent and air-entraining admixture on the concrete. Through analysis of the volumetric variation and compressive strength of mortars prototypes, the admixture action in the matrices was analyzed and an optimum dosage was determined. The objective of the tests was to obtain a relationship between maximum expansion and minimum loss of mechanical performance. According to the results obtained, the optimum mix proportion corresponds to 1.0% of expansive agent and 0.1% of air-entraining admixture.

Keywords: concrete-filled steel tube, adhesion, confinement, expansive agent, air-entraining admixture.

1 Introdução

O intenso processo de industrialização da construção civil, nos últimos anos, está associado à busca por sistemas estruturais e construtivos que visem o ganho de velocidade produtiva, eliminação de perdas e aumento da qualidade dos materiais empregados. A utilização de pilares mistos preenchidos tem mostrado um grande potencial nesse novo cenário, devido a sua rapidez de execução e vantagens técnicas, como elevada resistência, rigidez e ductilidade (DE NARDIN, 1999; HATZIGEORGIOU, ET AL., 2005; MIRMOMENI, ET AL., 2016). Esses benefícios estruturais requerem íntima interação entre os materiais aço-concreto de forma a garantir transferência de esforços e a compatibilização de deformações. Portanto, dois aspectos muito importantes na avaliação do comportamento de um sistema misto é a análise da aderência e do efeito de confinamento entre os materiais constituintes.

A aderência é a propriedade responsável pela transferência de tensões de cisalhamento na interface aço-concreto (SILVA, 2006), por meio de três mecanismos distintos: adesão, aderência mecânica e atrito (JOHANSSON, 2002). Dentre os fatores que influenciam a intensidade desses mecanismos, destacam-se: retração do núcleo de concreto de preenchimento (ROEDER, ET AL., 1999), grau de rugosidade da superfície interna do tubo (VIRDI & DOWLING, 1980) e efeito de confinamento (JOHANSSON & GYLLTOFT, 2002).

O efeito de confinamento é caracterizado pela restrição do tubo de aço à expansão do núcleo de concreto (OLIVEIRA, ET AL., 2009). Esse efeito é pronunciado quando a força axial aplicada na seção mista atinge a resistência uniaxial do concreto, a qual provoca intenso processo de microfissuração e consequente expansão do material, a ponto de solicitar o tubo de aço (SAKINO, ET AL., 2004; SHANMUGAM & LAKSHMI, 2001; SUSANTHA, ET AL., 2001; JOHANSSON & ÅKESSON, 2002). O confinamento proporciona aumento da capacidade resistente da seção e melhora a ductilidade do concreto, que em condições normais apresentaria comportamento frágil e ruptura brusca (LIEW, ET AL.). Concretos com menores módulos de elasticidade apresentam maiores deformação e expansão quando submetidos à cargas axiais, mobilizando em maiores escalas tensões de aderência e confinamento. (RODRIGUES, 2016).

Aditivos vêm sendo utilizados com a finalidade de melhorar características tecnológicas de interesse em matrizes cimentícias. Comercialmente, existem mais de 20 tipos de aditivos (MEHTA & MONTEIRO, 2014), dentre eles os incorporadores de ar e os expansores.

Os aditivos incorporadores de ar, compostos por substâncias surfactantes, são largamente empregados em países com invernos rigorosos, em situações onde as matrizes são submetidas a ciclos de gelo-degelo (CORR, ET AL., 2004). Os microporos introduzidos ao concreto por esse aditivo funcionam como reservatórios onde a água pode se solidificar sem causar fissuração da peça estrutural. Além disso, permitem a obtenção de matrizes mais leves, mais coesas e com menor módulo de elasticidade (DU

& FOLLIARD, 2005). Mendes et al. (2017) estudou a viabilidade do uso do Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS), princípio ativo dos detergentes lava-louças, como agente incorporador de ar. Os resultados obtidos apontaram que esse produto alternativo produz um sistema de espuma bastante eficiente, que garante manutenção do teor de ar incorporado do estado fresco para o estado endurecido, melhorando significativamente a trabalhabilidade da matriz no estado fresco e reduzindo a tendência de segregação.

Os aditivos expansores compensam a retração do concreto evitando fissurações e redução da durabilidade da peça estrutural (KAI-CHENG, ET AL., 2011). Os dois tipos principais, são à base de sulfoaluminato de cálcio, que induzem a formação de etringita (CAS), e à base de óxido de cálcio, que estimulam a cristalização da portlandita (CH) (MORIOKA, ET AL., 2003). Os dois tipos promovem a incorporação de pequenas bolhas de ar às matrizes cimentícias melhorando a fluidez das misturas. Estudos demonstram que o agente expensor evita o encolhimento do núcleo de concreto empregado no preenchimento de seções mistas, fortalecendo o vínculo na interface entre os materiais da seção, e induz tensões na direção radial do tubo durante o endurecimento do concreto, promovendo pressão de confinamento e melhora da aderência (KAI-CHENG, ET AL., 2011; XU, ET AL., 2009; CARBALLOSA, ET AL., 2015).

Dessa forma, este estudo busca o melhor entendimento do comportamento dos aditivos propostos, visando à produção de matrizes cimentícias que proporcionem uma maior compatibilização com perfis de aço a serem empregadas como núcleos de preenchimento na composição de pilares mistos preenchidos.

2 Materiais e Métodos

A presente proposta de trabalho caracteriza-se como pesquisa experimental e de aplicação em engenharia.

2.1 Materiais

Nesta pesquisa, utilizou-se cimento Portland pozolânico CP IV-32 RS, com massa específica de 3,01 g/cm³ e resistência à compressão de 32,4 MPa aos 28 dias, de acordo com o teste padrão NBR 7215 (ABNT, 1996). O agregado miúdo para a produção das argamassas foi a areia natural quartzosa proveniente do Rio do Peixe (Ponte Nova, MG). Observa-se na Tabela 1 as características físicas desse agregado.

Tabela 1 – Características físicas do agregado miúdo.

Propriedade	Valor
Massa específica (g/cm ³)	2,67
Massa unitária (g/cm ³)	1,62
Módulo de finura	2,17
Dimensão máxima característica (mm)	2,4
Teor de material pulverulento (%)	0,76
Absorção de água (%)	0,8

Duas adições químicas foram usadas nesta pesquisa: uma mistura expansiva à base de sulfoaluminato de cálcio e um agente incorporador de ar alternativo baseado em Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio (LAS).

2.2 Argamassas

As argamassas foram executadas utilizando-se o traço padrão para a determinação da resistência à compressão de cimentos Portland NBR 7215 (ABNT, 1996). O fator água/cimento preconizado por essa norma foi ajustado conforme o Índice de Consistência NBR 13276 (ABNT, 2005) que estabelece abertura ideal de espalhamento igual a 260 ± 5 mm. Após a correção, o traço 1:3:0,74 (cimento: agregado miúdo: relação água/cimento) foi estabelecido para os diferentes tipos de dosagem com e sem aditivo. Observa-se na Tabela 2 a identificação das argamassas e a dosagem dos aditivos das misturas.

Tabela 2 – Dosagem do traço das argamassas.

Argamassa	Aditivo	Dosagem Aditivo (%)
SD	Padrão (sem aditivo)	-
L1	LAS	0,05
L2	LAS	0,1
L3	LAS	0,15
EX1	Expansor	0,1
EX2	Expansor	0,5
EX3	Expansor	1,0

Para cada argamassa projetada foram produzidos 4 corpos-de-prova cilíndricos 5 x 10 cm (diâmetro x altura) para testes de resistência à compressão NBR 5739 (ABNT, 2007), e, 3 protótipos para a análise da variação volumétrica do material. Os corpos-de-prova foram produzidos usando moldes metálicos e colocados em câmara úmida para cura inicial de 24 h. Posteriormente, foram desmoldados e mantidos em câmara úmida por mais 27 dias.

2.3 Protótipos

Para a elaboração dos protótipos, foram utilizadas membranas látex preenchidas com aproximadamente 100 ml de argamassa (Figura 1). As membranas foram usadas como material de revestimento, por permitirem, a expansão/contração da matriz cimentícia com mínima restrição. Assim como os corpos-de-prova cilíndricos, os protótipos foram curados em câmara úmida e retirados somente no momento da realização dos ensaios.

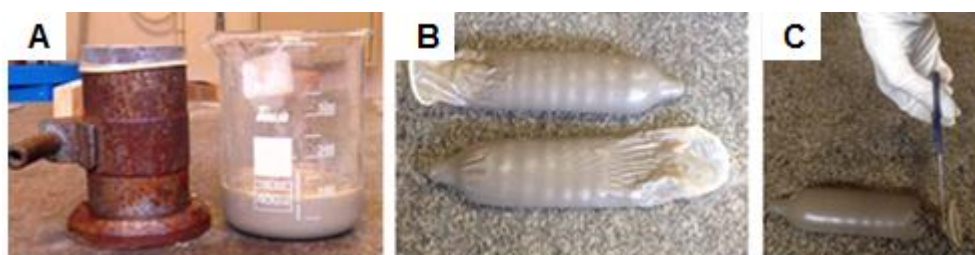


Figura 1 – Produção dos protótipos para análise da variação volumétrica: a) moldagem; b) aspecto da membrana antes de ser fechada por um nó; c) remoção do excesso de material da membrana.

2.4 Análise da variação volumétrica

A variação volumétrica dos protótipos foi obtida por meio da técnica de pesagem hidrostática. As determinações das massas das amostras (m), e das massas submersas (m_{sub}) foram realizadas após a moldagem e a cada 24 h durante 28 dias. A temperatura da água foi aferida no momento de cada pesagem para a determinação da massa específica da água (d_f). Os volumes das amostras (v_s) foram calculados de acordo com a Equação 1:

$$v_s = \frac{m - m_{sub}}{d_f} \quad \text{(Equação 1)}$$

3 Resultados e Discussão

3.1 Resistência à compressão das argamassas

Observa-se na Figura 2 os resultados obtidos para a resistência à compressão das argamassas executadas.

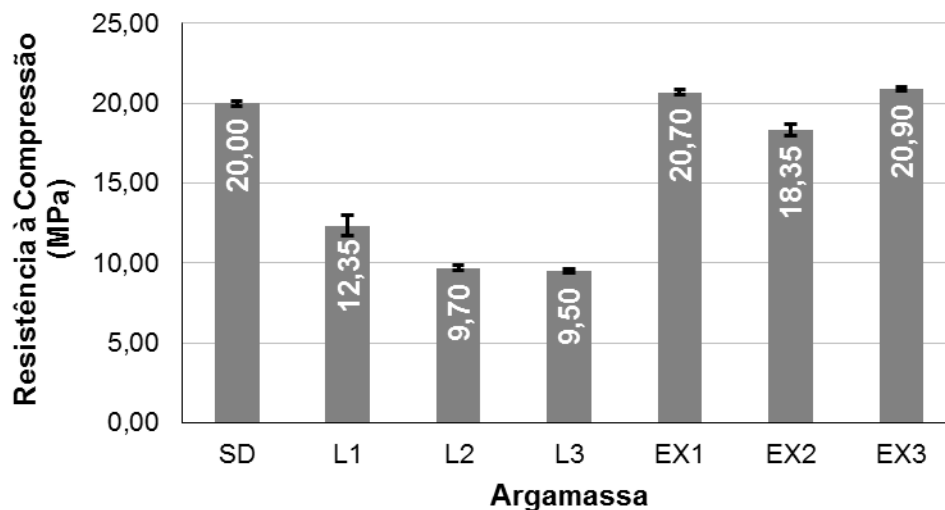


Figura 2 – Resistência à compressão das argamassas.

De acordo com os resultados, verifica-se que a adição de incorporador de ar reduz consideravelmente a resistência das matrizes cimentícias. Esse decréscimo é derivado do aumento da porosidade da matriz e foi comprovado por Mendes et al. (2017) com análise microestrutural e índice de vazios em argamassas aditivadas com LAS.

As matrizes dosadas com expansor apresentaram resistências mais próximas com a de referência (SD). De acordo com Carballosa et al. (2015) os expansores à base de sulfoaluminato não alteram em grande escala a resistência das matrizes, o que de fato foi observado nesse estudo. Segundo os mesmos autores, os valores de resistência à compressão não dependem do conteúdo de aditivo, o que não foi verificado com o teste executado, uma vez que com a dosagem intermediária observou-se uma redução não

desprezível. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de que em pequenas dosagens, um relativo acréscimo de etringita pode levar a um ganho de resistência, uma vez que o teor de ar incorporado pelo aditivo é bastante reduzido. Na dosagem intermediária, a taxa de ar incorporado foi superior, ao passo que a formação de etringita pôde não ter sido suficiente para preencher os vazios de modo a compensar esse efeito. Na dosagem superior, no entanto, a quantidade desse produto de hidratação foi suficiente para compensar os vazios incorporados pelo aditivo. Todavia, uma investigação mais aprofundada desse comportamento seria útil para comprovação dessa hipótese.

3.2 Análise da variação volumétrica das argamassas

Os volumes dos protótipos foram obtidos durante 28 dias por meio da metodologia especificada, e dessa forma, foi possível determinar a variação volumétrica das argamassas estudadas ao longo do período (Figuras 3 e 4).

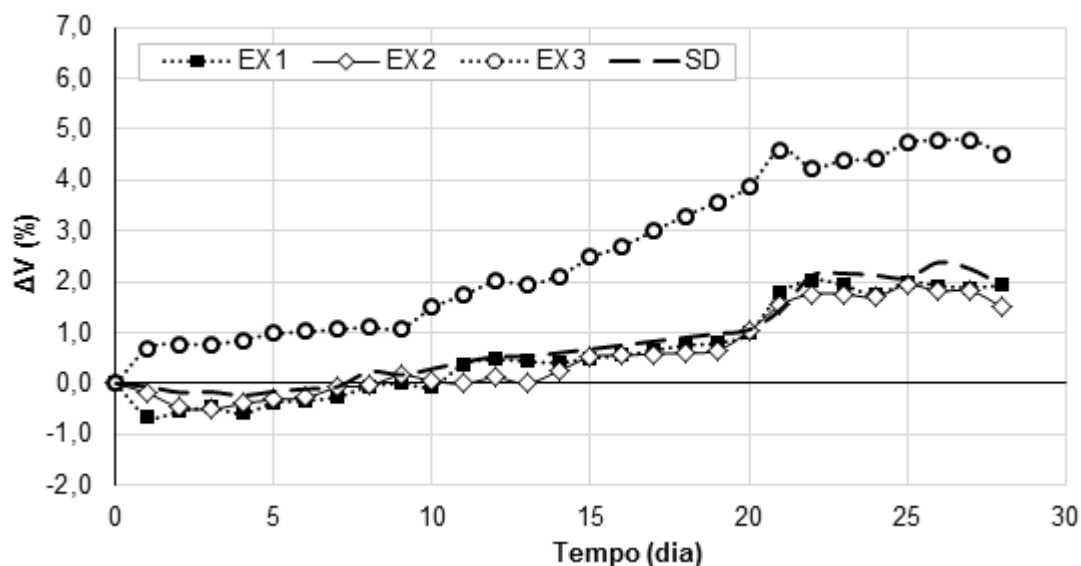


Figura 3 – Variação volumétrica das argamassas dosadas com expansor.

De acordo com a Figura 3, observa-se que os protótipos EX3 apresentaram expansão durante todo o período de cura. Aos 28 dias, o aumento de volume correspondeu a aproximadamente 4,5%. Os protótipos EX1 e EX2 tiveram um comportamento bastante similar. Durante os primeiros dias experimentaram certa retração e a partir do décimo dia foi verificada expansão das argamassas. Percebe-se que esses modelos apresentaram desempenho próximo ao dos protótipos SD ao longo do período, obtendo praticamente os mesmos aumentos de volume aos 28 dias, cerca de 2,0%. Portanto, a menor dosagem e a dosagem intermediária de expansor não provocaram mudanças significativas em termos de expansão ao serem comparadas com as amostras usadas como referência.

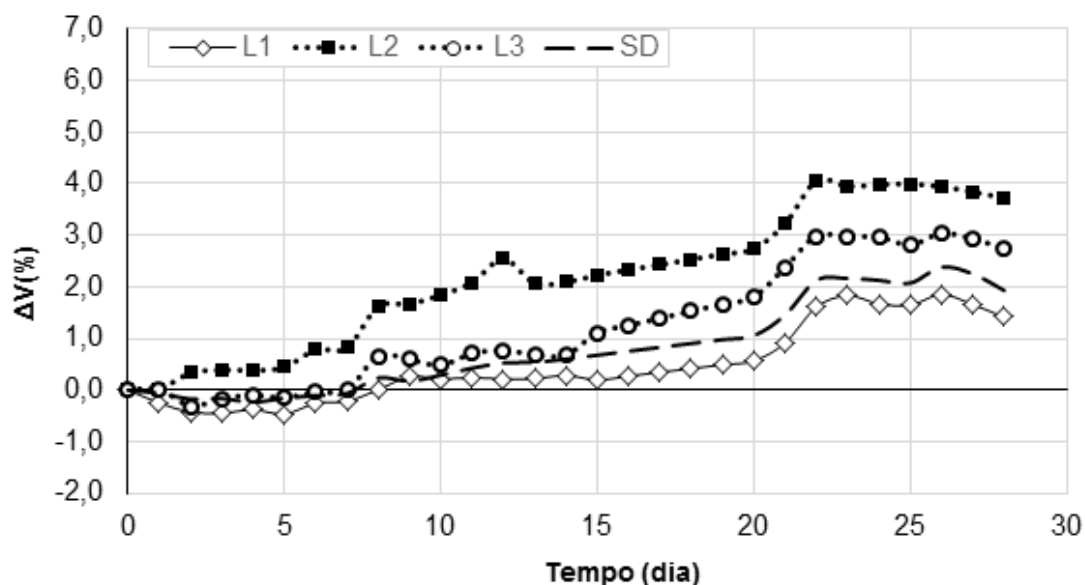


Figura 4 – Variação volumétrica das argamassas dosadas com LAS.

Observa-se na Figura 4 que os protótipos L2 apresentaram comportamento bastante semelhante às amostras EX3, expandiram durante os 28 dias e obtiveram a maior variação volumétrica comparada às demais dosagens, aproximadamente 3,7%. Por outro lado, as amostras L1 e L3 tiveram desempenhos próximos aos dos modelos EX1 e EX2, com retração nos primeiros dias e posterior expansão. Ao longo de todo o período, a expansão das argamassas L1 foi menor em relação à das argamassas de referência, podendo-se inferir que a menor dosagem de LAS não alcançou o objetivo esperado.

3.3 Definição das dosagens ótimas dos aditivos

O objetivo dos testes realizados em argamassas foi a obtenção das dosagens ótimas de expensor e LAS que proporcionem expansão máxima com perda mínima de desempenho mecânico. As Figuras 5 e 6 relacionam os valores de resistência à compressão, variação volumétrica das argamassas e porcentagem dos aditivos propostos para melhor avaliação.

De acordo com a Figura 5 verifica-se que a dosagem de 1,0% de expensor é bastante adequada para se obter expressiva expansão com elevada resistência mecânica da matriz cimentícia. Observa-se na Figura 6, que há um indicativo de 0,065% como sendo a dosagem adequada de LAS. No entanto, para esse percentual não há expressiva variação volumétrica, é um ponto de transição onde se finaliza a retração e se inicia a expansão da argamassa. A dosagem mais apropriada é a de 0,1% de LAS, através da qual se obtém significativo aumento de volume mesmo apresentando resistência reduzida.

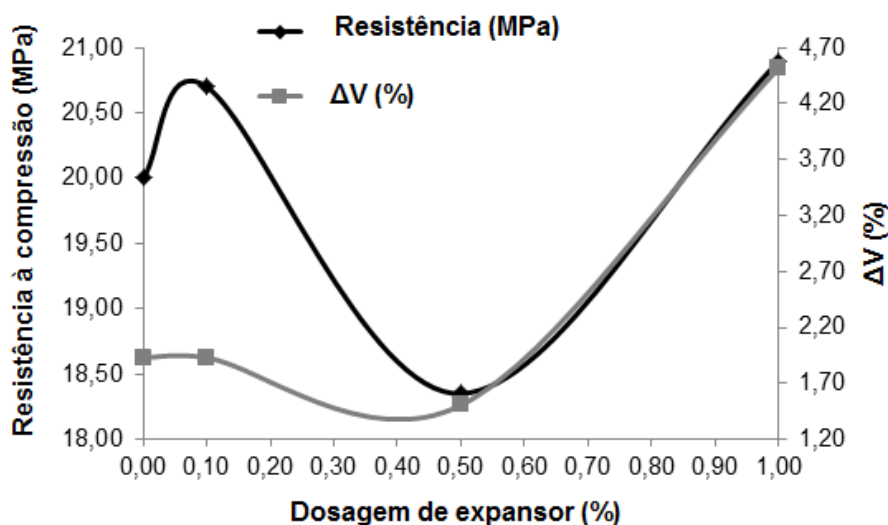


Figura 5 – Relação entre resistência à compressão e expansibilidade para diferentes dosagens de expansor.

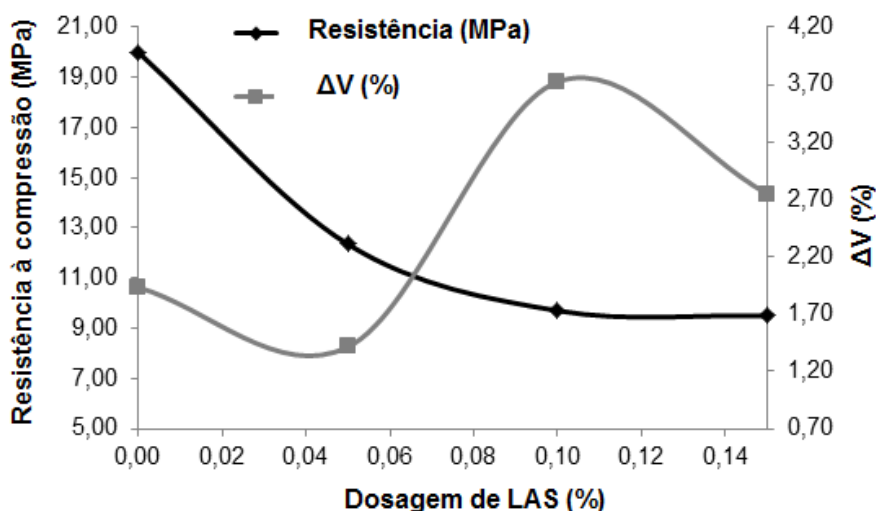


Figura 6 – Relação entre resistência à compressão e expansibilidade para diferentes dosagens de LAS.

4 Conclusão

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que as dosagens de 1,0% de expansor e de 0,1% de LAS melhoraram o desempenho das matrizes cimentícias em relação ao objetivo proposto. Dessa forma, essas porcentagens de aditivos em relação à massa de cimento poderão ser utilizadas na execução de matrizes de preenchimento que contribuam para uma melhor interação aço-concreto.

5 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer as instituições FAPEMIG, CAPES, Fundação Gorceix, UFOP e CNPq pelo apoio financeiro para a realização e apresentação dessa pesquisa. Também somos gratos pela infraestrutura e colaboração do Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos - RECICLOS - CNPq.

6 Referências

ABNT. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência**, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2005.

ABNT. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2007.

ABNT. NBR 7215: **Concreto – determinação da resistência à compressão**, Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 1996.

CARBALLOSA, P.; CALVO, J. L. G.; REVUELTA, D.; SÁNCHEZ, J. J.; GUTIÉRREZ, J. P. **Influence of cement and expansive additive types in the performance of self-compacting concretes for structural elements**. Construction and Building Materials, v.93, p.223-229, 2015.

CORR, D. J.; JUENGER, M. C. G.; MONTEIRO, O. J. M.; BASTACKY, J. **Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy**. Cement & Concrete Composites, v.26, p.1007-1012, 2004.

DE NARDIN, S. **Estudo teórico-experimental de pilares mistos compostos por tubos de aço preenchidos com concreto de alta resistência**. São Carlos: Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado), 1999.

DU, L. & FOLLIARD, K. J. **Mechanisms of air entrainment in concrete**. Cement and Concrete Research, v. 33, p. 1463-1471, 2005.

HATZIGEORGIU, G. D.; BESKOS, D. E. **Minimum cost design of fibre-reinforced concrete-filled steel tubular columns**. Journal Construction Steel Research, v. 61, p. 167-282, 2005.

JOHANSSON, M. **The efficiency of passive confinement in CFT columns**. Steel and Composite Structures, v.2, n.5, p.379-396, 2002.

JOHANSSON, M.; ÅKESSON, M. **Finite element study on concrete filled steel tubes using a new confinement sensitive concrete compression model**. Nordic Concrete Research, v.2/2001, n.27, p.43-62, 2002.

JOHANSSON, M.; GYLLTOFT, K. **Mechanical behavior of circular steel-concrete composite stub columns**. Journal of Structural Engineering, v.128, n.8, p.1073-1080, 2002.

KAI-CHENG, X.; MENG-CHENG, C.; FANG, Y. **Confined expansion and bond property of micro-expansive concrete-filled steel tube columns**. The Open Civil Engineering Journal, v.5, p.173-178, 2011.

LIEW, J. Y. R.; XIONG, M.; XIONG, D. **Design of concrete filled tubular beam-columns with high strength steel and concrete**. Structures, v.8, p.213-226, 2016.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MENDES, J. C.; MORO, T. K.; FIGUEIREDO, A. S.; DEFÁVERI, K. C. S.; SILVA, G. C.; SILVA, G. J. B.; PEIXOTO, R. A. F. **Mechanical, rheological and morphological analysis of cement-based composites with a new LAS – based air entraining agent**. Construction and Building Materials, v.145, p.648-661, 2017.

MIRMOMENI, M.; HEIDARPOUR, A.; ZHAO, X.; AL-MAHAIDI, R. **Size-dependency of concrete-filled steel tubes subject to impact loading**. International Journal of Impact Engineering, v.100, p.90-101, 2016.

MORIOKA, M.; SAKAI, E.; DAIMON, M. **Influence of preparation method on performance of expansive additive containing free – lime, haulyne and anhydrite**. Concrete Research and Technology, v.14, n.2, p.43-50, 2003a.

OLIVEIRA, W. L. A.; DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. **Dimensionamento de pilares preenchidos de seção circular submetidos à compressão simples, segundo a NBR 8800:2008 e Eurocode 4:2004: comparação com resultados experimentais**. Revista Escola de Minas, v.62, n.1, p.73-85, 2009.

RODRIGUES, B. H. **Estudo da aderência ao aço dos concretos convencional, leve e com ar incorporado em seções mistas de perfis tubulares**. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto (Dissertação de Mestrado), 2016.

ROEDER, C. W.; CAMERON, B.; BROWN, C. B. **Composite action in concrete filled tubes**. Journal of Structural Engineering, v.125, n.5, p. 477-484, 1999.

SAKINO, K.; NAKAHARA, H.; MORINO, S.; NISHIYAMA, A. **Behavior of centrally loaded concrete-filled steel-tube short columns**. Journal of Structural Engineering, ASCE, v.130, n.2, p.180-188, 2004.

SHANMUGAM, N. E.; LAKSHMI, B. **State of the art report on steel-concrete composite columns**. Journal of Constructional Steel Research, v.57, n.10, p.1041-1080, 2001.



Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2017
Outubro-Novembro / 2017



@ 2017 - IBRACON - ISSN 2175-8182

SILVA, R. D. **Estudo da aderência aço-concreto em pilares mistos preenchidos.** São Carlos: Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado), 2006.

SUSANTHA, K. A. S.; GE, H. B.; USAMI, T. **A capacity prediction procedure for concrete filled steel columns.** Journal of Earthquake Engineering, v.5, n.4, p.483-520, 2001.

VIRDI, K. S.; DOWLING, P. J. **Bond strength in concrete filled steel tubes.** IABSE – International association for bridge and Structural Engineering, n.03, p.125-137, 1980.

XU, C.; CHENGKUI, H.; DECHENG, J.; YUANCHENG, S. **Push-out test of pre-stressing concrete filled circular steel tube columns by means of expansive cement.** Construction and Building Materials, v.23, p.491-497, 2009.