

ARGAMASSAS FRACAMENTE HIDRÁULICAS PARA REPARAÇÃO DE REBOCOS

A influência da granulometria dos agregados

A. R. Lobato¹
arp.lobato@campus.fct.unl.pt

P. Faria²
paulina.faria@fct.unl.pt

V. Rato³
vasco.rato@iscte.pt

V. Silva⁴
vmd.silva@fct.unl.pt

Resumo

A classificação e as características das cais hidráulicas naturais (NHL) sofreram uma alteração com a entrada em vigor da nova versão da norma europeia referente às cais de construção. Atualmente existem três classes de NHL: NHL2, NHL3.5 e NHL5. Estas cais apresentam quantidades decrescentes de hidróxido de cálcio na sua constituição e, quando utilizadas em argamassas, conduzem a características crescentes de hidraulicidade. Portugal é um dos poucos países a nível mundial que produz cais hidráulicas naturais. É importante conhecer as características obtidas com a cal NHL2 que recentemente surgiu no mercado.

Para além do ligante, o agregado, e nomeadamente a sua distribuição granulométrica, também desempenha um papel muito importante nas características das argamassas.

Por estas razões formularam-se e caracterizaram-se, no estado fresco e endurecido, argamassas ao traço volumétrico 1:3 com NHL2 com três granulometrias distintas de agregados siliciosos: uma areia média, uma areia fina e uma mistura de areias com distribuição granulométrica semelhante à areia CEN. As características obtidas foram comparadas com as de argamassas realizadas com agregado idêntico mas formuladas com uma cal aérea CL90. Os ensaios mecânicos foram realizados aos 28 dias.

Os resultados obtidos mostram que as argamassas com NHL2 estudadas, para o mesmo traço em volume, necessitam de uma quantidade mássica menor de água que as argamassas de cal aérea CL e têm resistências mecânicas mais elevadas mas que parecem adequadas para aplicação na reparação de edifícios antigos. As argamassas produzidas com a mistura de areias próxima da areia CEN obtiveram resistências mecânicas mais elevadas que as argamassas produzidas com as areias monogranulares.

Palavras chave: Cal hidráulica natural, cal aérea, agregado, granulometria, argamassa

¹ Mestranda de Eng. Civil, FCT, Universidade Nova de Lisboa; Caparica; Portugal

² Prof. Associada, FCT, Universidade Nova de Lisboa; Caparica; Portugal

³ Prof. Auxiliar, ISCTE-IUL, ISTAR-IUL; Lisboa; Portugal

⁴ Bolseiro, FCT, Universidade Nova de Lisboa; Caparica; Portugal

1 Introdução

O crescimento do mercado da conservação e reabilitação de edifícios torna importante o estudo de materiais que sejam adequados para este tipo de obras. É necessário utilizar ligantes que sejam compatíveis com as argamassas e as alvenarias pré-existentes [1].

A recente versão da norma NP EN 459-1: 2011 redefiniu os constituintes das cais hidráulicas naturais (NHL), que têm agora que cumprir um conjunto adicional de requisitos, nomeadamente isenção de adições e teores mínimo de hidróxido de cálcio e máximo de sulfato. Esta alteração deu origem a que algumas das cais que antigamente eram classificadas como NHL passassem a ser classificadas como cais hidráulicas (HL) ou como cais formuladas (FL) [2].

O endurecimento das cais aéreas dá-se através do contacto com o dióxido de carbono atmosférico e progride lentamente em ambientes muito húmidos. As cais hidráulicas naturais diferem das cais aéreas por endurecerem mesmo em contacto com a água, incluindo em total imersão. Portugal é um dos poucos países no mundo que produz cais hidráulicas naturais, a temperaturas inferiores a 900°C, semelhantes às utilizadas para a produção de cal aérea [2]. Nos últimos três anos têm vindo a ser disponibilizadas no mercado novas NHL, no caso a NHL5, a NHL3.5 e, muito recentemente, a NHL2.

Os agregados utilizados nas argamassas podem também constituir-se como um fator decisivo no comportamento das argamassas. De facto, têm uma influência significativa na sua estrutura porosa e nas propriedades reológicas, físicas e mecânicas. Torna-se pois crucial que a sua escolha seja rigorosa e adequada às utilizações previstas [3,4].

Com o objetivo de se avaliarem as características de argamassas produzidas com a nova NHL2 e compará-las com as características de argamassas com cal aérea foram formuladas diferentes argamassas com esta NHL2 e com uma cal aérea usando o mesmo traço volumétrico. Para avaliar a influência da granulometria do agregado foram utilizadas diferentes areias. As argamassas foram caracterizadas no estado fresco e, aos 28 dias, em termos mecânicos.

2 Preparação das argamassas

Na produção das argamassas utilizaram-se como ligantes cal hidráulica natural NHL2 da Secil Argamassas e cal aérea hidratada em pó CL90 da Lusical, classificadas de acordo com a norma NP EN 459-1:2011. Segundo esta norma, uma NHL2 tem de apresentar uma percentagem de Ca(OH)_2 superior a 35% e de sulfato inferior a 2%. Como agregado, foram utilizadas duas areias monogranulares siliciosas de média e fina granulometria, respetivamente APAS20 (MS) e APAS60 (FS), e uma mistura de areias siliciosas (Mix) que se aproxima da areia CEN de referência [3]. A mistura Mix é composta pelas areias monogranulares APAS13, APAS20 (MS), APAS 30 e FPS120 nas percentagens, em massa, de 32%, 18%, 29% e 21%, respetivamente. Todas as areias são siliciosas quartzosas da Areipor e têm origem em areiros na região de Salvaterra de

Magos. A curva granulométrica de cada um dos agregados utilizados e da mistura está apresentada na Figura 1, determinada de acordo com a NP EN 933-1:2000.

Na Tabela 1 é apresentada a baridade de todos os materiais, determinada com base na NP EN 1097-3:2002. Todas as argamassas foram preparadas com o traço volumétrico 1:3 (ligante:agregado).

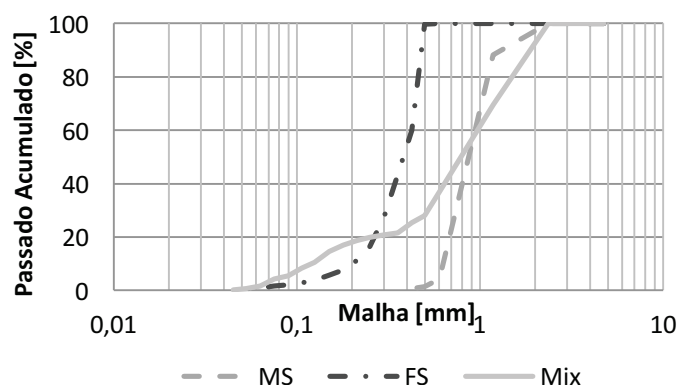


Figura 1: Curvas granulométricas do agregado utilizado nas argamassas: areia média MS, areia fina FS e resultante de mistura de areias Mix.

Tabela 1: Baridade dos constituintes das argamassas.

Material	NHL2	CL	MS	FS	Mix
Baridade (g/cm ³)	0.683	0.361	1.377	1.335	1.624

A execução das argamassas teve como base a NP EN 196-1:2006, mas foi propositadamente mais prolongada, com base em procedimentos de investigações anteriores [5, 6]. Em primeiro lugar, os constituintes secos das argamassas foram homogeneizados manualmente e colocados na cuba da misturadora mecânica de laboratório. Foi adicionada a quantidade de água necessária nos primeiros 20 segundos de amassadura. O período de tempo de amassadura foi de 150 segundos seguido de uma paragem de 30 segundos, na qual se procedeu à integração do material que estava nos bordos do recipiente, seguindo-se mais 30 segundos de amassadura. A quantidade de água adicionada a cada mistura foi definida de forma a obter argamassas trabalháveis e com um espalhamento de 165±5 mm. Os provetes prismáticos de 40x40x160 mm foram preparados em moldes metálicos e compactados mecanicamente com 20 pancadas em cada uma das duas camadas com que os moldes foram preenchidos. Todos os provetes permaneceram durante sete dias dentro de sacos de polietileno fechados, antes e após desmoldagem. Ao sétimo dia, foram retirados dos sacos e colocados em ambiente condicionado a 65±5% de humidade relativa e 20±2°C de temperatura até aos 28 dias.

3 Procedimentos de ensaio e resultados

A influência da água na argamassa fresca foi avaliada através do ensaio de consistência por espalhamento, realizado de acordo com a EN 1015-3:1999. A massa volúmica no estado fresco, realizada segundo a EN 1015-6:1998/A1, foi determinada pelo quociente entre a massa da argamassa e o volume do recipiente que essa massa ocupa. O teor em ar incorporado foi determinado de acordo com a EN 1015-7:1998 e a retenção de água das argamassas no estado fresco foi determinada com base no *draft* da norma prEN 1015-8:1999. Os resultados obtidos, em termos de valor médio e desvio-padrão, resultantes de três ensaios realizados, estão apresentados na Tabela 2. No estado endurecido foram determinados o módulo de elasticidade dinâmico segundo a NP EN 14146:2006 e as resistências à tração por flexão e à compressão, de acordo com a EN 1015-11:1999. Os resultados obtidos, resultantes da média e desvio-padrão de seis ensaios realizados, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2: Designação das argamassas, traço em massa, relação mássica água/ligante, consistência por espalhamento, massa volúmica no estado fresco, teor em ar e retenção de água.

Argamassa	Traço em massa	Relação água/lig.	Consistência [mm]	Massa Vol. [kg/m ³]	Teor em ar [%]	Retenção de água [%]
NHL2_MS	1:6	1,3	169±1,4	1949,6	5,4	78,2±0,6
NHL2_FS	1:5,9	1,6	167±1,2	1864,6	6,0	78,8±0,6
NHL2_Mix	1:7,1	1,2	170±1,2	2036,5	5,0	84,2±0,3
CL_MS	1:11,4	2,6	171±0,9	1893,7	4,8	85,4±3,8
CL_FS	1:11,1	3,1	166±0,9	1851,7	4,8	82,4±0,2
CL_Mix	1:13,5	2,6	170±0,7	2035,7	3,0	84,1±0,6

Tabela 3: Módulo de elasticidade (Ed), resistências à tração por flexão (Rt) e à compressão (Rc).

Argamassa	Ed [MPa]	Rt [MPa]	Rc [MPa]
NHL2_MS	2620±43	0,34±0,02	0,60±0,01
NHL2_FS	2215±75	0,37±0,01	0,37±0,01
NHL2_Mix	3499±82	0,41±0,02	0,75±0,12
CL_MS	1349±32	0,13±0,01	0,16±0,01
CL_FS	1430±35	0,19±0,02	0,27±0,02
CL_Mix	2559±34	0,27±0,02	0,37±0,00

4 Análise e discussão dos resultados

A quantidade de água necessária para o espalhamento desejado nas argamassas com NHL2 é cerca de metade da necessária para as argamassas com CL. As misturas com agregado constituído por areia fina FS necessitam de uma quantidade de água superior, apresentando todavia valores de espalha-

mento ligeiramente menores. As diferenças na quantidade de água de amassadura devem-se muito provavelmente à maior superfície específica das partículas da cal aérea e do agregado mais fino [3,7].

A massa volúmica no estado fresco é superior nas argamassas com NHL2, para todos os agregados. Independentemente do ligante, as argamassas com o agregado resultante da mistura de areias (Mix) apresentam massas volúmicas superiores e argamassas com areia fina (FS) apresentam os valores mais baixos. Comparando a massa volúmica no estado fresco com a relação água/ligante e com o teor em ar verifica-se que apresentam uma relação inversamente proporcional.

O teor em ar das argamassas com NHL2 é superior ao das argamassas com CL. As misturas com areia fina são as que obtiveram os valores mais elevados de teor em ar e as argamassas com a mistura de areias (Mix), os valores mais baixos. Comparando a retenção de água das argamassas no estado fresco, observa-se que, nas misturas com areias média e fina, os valores são superiores nas argamassas que têm CL como ligante, o que é consistente com a variação na quantidade de água necessária para um espalhamento similar. Por outro lado, nas argamassas com o agregado Mix, os valores de retenção são mais aproximados, embora a influência da cal CL seja perceptível. Na argamassa com NHL2 a argamassa com menor teor em ar é a que tem mais retenção.

Os valores do módulo de elasticidade dinâmico (Ed) obtidos nas argamassas com NHL, tal como na resistência à tração, correspondem a cerca do dobro dos obtidos nas argamassas com CL, para as areias MS e FS. Nas argamassas com NHL2 a mistura com FS conduz ao valor de Ed mais baixo, sendo o mais alto registado com o agregado Mix, seguindo a tendência da resistência à compressão. As argamassas com CL apresentam maior capacidade de deformação quando comparadas com as argamassas com cal hidráulica natural; mas podem existir situações em que as resistências das argamassas CL, nomeadamente a curto prazo, não sejam adequadas. Relativamente à resistência à tração, verifica-se que as argamassas com NHL2 e as areias média e fina obtêm resistências que correspondem aproximadamente ao dobro dos valores das argamassas semelhantes em termos de traço em volume mas com CL como ligante. Nas argamassas com o agregado Mix esta diferença é um pouco mais reduzida. Entre as argamassas com o mesmo ligante, verifica-se que a argamassa com valores mais elevados de Rt é a que tem a mistura de areias (Mix), enquanto a que apresenta valores mais baixos é a que foi realizada com areia MS.

Quanto à resistência à compressão, as argamassas com NHL2 têm valores mais elevados independentemente do agregado. Nestas argamassas o agregado resultante de mistura de areias confere o valor mais elevado, sendo o mais baixo registado com a areia fina monogranular.

Veiga et al. [1] apresenta uma gama indicativa de características para argamassas para reparação de edifícios antigos [1], recomendando, aos 90 dias, valores de Ed entre 2000-5000 MPa, 0,2-0,7 MPa para resistência à flexão e 0,4-2,5 MPa para resistência à compressão de argamassas para rebocos e de Ed entre 3000-6000 MPa, 0,4-0,8 MPa para resistência à flexão e 0,6-3,0 MPa para resistência à compressão de argamassas para refechamento de juntas. Muito

embora com base apenas nos valores obtidos a 28 dias, as argamassas com NHL2 ensaiadas indiciam ter um comportamento mecânico adequado para serem utilizadas como rebocos de edifícios antigos e, pelo menos as com agregado resultante de mistura, também para refechamento de juntas.

5 Conclusões

Aos 28 dias as argamassas com NHL2 são claramente mais resistentes que as argamassas com cal aérea CL. A quantidade de água necessária para a obtenção de consistência semelhante na amassadura das argamassas com NHL2 é muito inferior à necessária nas argamassas com cal aérea face à massa de ligante. O uso de uma areia bem graduada parece ser bastante vantajoso, particularmente em termos de consistência e comportamento mecânico.

Embora se tenha de avaliar a evolução das características mecânicas das argamassas com NHL2 aos 90 dias e ampliar a sua caracterização, nomeadamente em termos de comportamento face à ação da água, na forma líquida e de vapor, estas argamassas indiciam ter um comportamento mecânico adequado para serem utilizadas como reboco e refechamento de juntas de alvenarias de edifícios antigos.

6 Bibliografia

- [1] Veiga, M. et al. Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. *Int. J. Architectural Heritage*, 2010, 4 (2), pp. 177–195.
- [2] Faria, P. et al. Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural. *CIREA2012 - International Conference Rehabilitation of Old Mansions*, 2012, pp. 29–38.
- [3] Rato, V. *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, 2006.
- [4] Gonçalves, J. et al. Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. *Cement and Concrete Research*, 2007, 37 (6), pp. 924–932.
- [5] Grilo, J. et al. Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions. *Construction and Building Materials*, 2014, 51, pp. 287-294.
- [6] Gameiro, A. et al. Physical and chemical assessment of air lime-metakaolin mortars: Influence of binder:aggregate ratio. *Cement and Concrete Composites*, 2014, 45, pp. 264-271.
- [7] El-Turki, A.; Carter, M. A microbalance study of the effects of hydraulicity and sand grain size on carbonation of lime and cement. *Construction Building Materials*, 2009, 23 (3), pp.1423–1428.