CBPAT 2020 ANAIS
CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
DE 15 A 17 DE ABRIL | FORTALEZA - CE
http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.216
ISBN 978-65-86819-05-2

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS DE SUBSTITUIÇÃO À BASE DE CAL SUBMETIDAS AO ENVELHECIMENTO NATURAL E ARTIFICIAL

OBRZUT, LAUREN
Estudante de Mestrado
Instituto Politécnico de Bragança
Portugal
lauren_obrzut@hotmail.com

MEDEIROS, ARTHUR
Professor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paraná, Brasil
arthur.med@gmail.com

LUSO, EDUARDA
Professor
Instituto Politécnico de Bragança
Portugal
eduarda@ipb.pt

RESUMO

Aplicações de revestimentos em reabilitações de edifícios antigos devem ter compatibilidade física, química e mecânica com o suporte, pois são diferentes dos edifícios e aplicações contemporâneos. Se feitas erroneamente, essas intervenções geram danos ao património cultural e perdas científicas. Quando se trata de argamassas de reboco esta compatibilidade é alcançada através da presença da cal como ligante, já que a mesma traz características como baixa retração e maior elasticidade. Já a adição de cimento ou pozolânas, em altos teores, podem comprometer estas propriedades. Desenvolveu-se, a partir destas motivações, um estudo de caracterização e análise de três composições diferentes de argamassas de cal, evidenciando seu comportamento quando expostas à ensaios de envelhecimento. Todas as variedades foram submetidas simultaneamente a ensaios de envelhecimento naturais decorridos na primavera do município de Bragança em Portugal, uma estação com grandes amplitudes climáticas e artificiais, em 1008 horas de ciclos de intemperismos em uma QUV Accelerated Weathering Tester, um equipamento referência neste tipo de simulação. Os resultados mostram justamente a compatibilidade de argamassas de cal a aplicações de reabilitação e a falta dela quando a cal não é o ligante principal na composição, já que valores de resistência mecânica superiores aos adequados foram encontrados. Os ensaios de envelhecimento apresentaram duas linhas de tendência, sendo a degradação superior em um fator 1:2 na metodologia artificial, porém em termos de resistência, ambas as metodologias se mostraram crescentes, provenientes de uma aceleração e potencialização da carbonatação da cal.
Palavras-chave: Argamassas; Reboco; Reabilitação; Cal; Envelhecimento.

ABSTRACT

Cladding applications in rehabilitation of older buildings should have physical, chemical and mechanical compatibility with the support as they are different from contemporary buildings and applications. If done wrong, these interventions cause damage to cultural heritage and scientific loss. When it's about rendering mortars, this compatibility is achieved through the presence of lime as a binder, as it brings characteristics such as low retraction and greater elasticity. The addition of cement or pozzolans at high levels may compromise these properties. From these motivations, a characterization and analysis study of three different limes mortars compositions was developed, evidencing their behavior when exposed to aging tests. All varieties were simultaneously subjected to natural aging tests in the spring of the Bragança city in Portugal, a season with large climatic amplitudes and artificial, in 1008 hours of artificial weathering cycles in a QUV Accelerated Weathering Tester, a reference equipment of this type of simulation. The results show precisely the compatibility of lime mortars to rehabilitation applications and the lack thereof when lime is not the major binder in the composition, since higher mechanical strength values than adequate were found. The aging tests presented two trend lines, being the degradation superior in a factor 1: 2 in the artificial methodology, but in terms of resistance, both methodologies increased, due to an acceleration and potentiation of lime carbonation.
Keywords: Mortars; Rendering; Rehabilitation; Lime; Aging test.

ISBN 978-65-86819-05-2

1. INTRODUÇÃO

As argamassas de reboco têm a função de proteger alvenarias e estruturas da degradação que pode ocorrer por meio da ação de agentes externos, auxiliando os mesmos no isolamento térmico e acústico, assim como na estanqueidade à água. Um reboco também deve suportar os esforços que as paredes são submetidas, além de conferir acabamento e estética ao edifício (Sousa, 2010).

Até o advento do concreto armado, em meados do século XX, a tipologia construtiva de paredes exteriores de edifícios em Portugal e em toda a Europa, era constituída maioritariamente por alvenarias de pedras e adobe com materiais de ligação e revestimento mais porosos e deformáveis que os atuais, cujas as capacidades de resistência e proteção eram asseguradas essencialmente através da espessura (Veiga, 2009).

E, de forma a se utilizar materiais compatíveis com estas alvenarias, o uso da cal era comum. Porém, as argamassas com utilização deste ligante podem apresentar alguns fatores peculiares, podendo ser considerados negativos ou positivos, dependendo da aplicação. As argamassas de cal têm tempo de presa mais lento, atinge menores valores de resistência mecânica, baixa coesão interna e elevada porosidade, porém garantem uma boa trabalhabilidade, impermeabilidade, durabilidade e também são economicamente mais viáveis (Souza, 2010).

A pintura feita com uma leitada de cal é chamada de caiação, podendo ser simples ou com o incremento de pigmentos. Esta foi uma técnica muito utilizada nas edificações no sul de Portugal até meados do século XX, quando se teve a ascensão de tintas pré-fabricadas à base de polímeros (Aguiar, 2005).

Ao se utilizar tais técnicas mais atuais, como o cimento como ligante ao invés da cal em argamassas, perde-se não somente as propriedades da argamassa com a incompatibilidade dos materiais aplicados a estrutura existente, como também valor histórico e cultural de uma região. O que, de fato, aconteceu em muitos lugares em Portugal.

O mercado da construção civil, diante da necessidade cada vez maior de reabilitar o que já está edificado, exige da indústria produtos satisfatórios para essas aplicações, sendo comercializado as argamassas chamadas industriais, que podem aparecer como uma solução alternativa. A indústria responde com uma crescente apresentação de soluções que atendam esta demanda. O que torna ainda mais importante a constante pesquisa e aumento dos conhecimentos nesta área, focando essencialmente em matérias-primas e métodos sustentáveis aliados a produtos de boa qualidade, compatíveis com diversas necessidades e economicamente viáveis.

Porém, esses materiais disponíveis no mercado ainda podem resultar em incompatibilidades quando aplicados ao restauro e à reabilitação, visto que ainda é evidenciado a utilização de cimento, por exemplo. Um estudo destas argamassas industriais que aponta que as formulações apresentadas nas fichas técnicas dos produtos disponíveis no mercado português mostram a consonância da indústria com a comunidade científica em apresentar materiais sustentáveis, aponta também que os ligantes mais utilizados são a cal aérea, a cal hidráulica, ligantes hidráulicos (cimento ou cais hidráulicas) e pozolanas (Rodrigues, 2016).

Diante de maus resultados estéticos e não duráveis, volta-se a buscar os materiais e técnicas usados anteriormente nos edifícios antigos, buscando-se reintroduzir os acabamentos originais à base de cal. Os estudos sobre esta área, englobando não somente a utilização da cal, como também o âmbito de reabilitação, por mais que poucos, têm sido cada vez mais desenvolvidos, dando destaque aos realizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (Gil et al., 2006).

Evidenciando a importância cultural de aplicações coloridas, são encontrados exemplos em várias localidades de Portugal, em regiões do centro, sul e ilhas de Portugal. Nas Figura 1 e 2 estão retratados exemplos em locais diferentes.



Figura 1 – Casas na Praia da Costa Nova em Aveiro com utilização de acabamentos coloridos

Na Ilha Terceira nos Açores são registrados 71 Impérios como o representado na Figura 2, que são pequenos templos de arquiteturas peculiares, onde se veneram o Espírito Santo em épocas de festividade. Muitos destes 71 apresentam pinturas com leitada de cal pigmentadas, refletindo a grande utilização da técnica na cultura portuguesa (Noé, 2012).

ISBN 978-65-86819-05-2



Figura 2 – Império do Espírito Santo – Ilha Terceira, Açores com utilização de acabamentos coloridos

1.1 Cal nas edificações

A cal é um dos materiais construtivos com registros mais antigos de utilização na humanidade. Há evidências da sua utilização em zonas da atual Turquia que indicam serem entre os anos 12000 a 5000 A.C. (Miller, 1999). Há também indícios da utilização em Pirâmides do Tibet como estabilizador do solo argiloso da região, cerca de 5000 A.C., ou seja, com inúmeras aplicações além da incorporação em argamassas (Coelho et al. 2009).
A civilização grega também foi essencial no desenvolvimento da utilização da cal, sendo que após constatarem as propriedades hidráulicas da mesma na confecção de argamassas, puderam desenvolver suas atividades portuárias expressivamente. O arquiteto romano Vitruvius (séc I A.C.), autor do tratado *De Architettura,* refere-se nesta sua obra as argamassas produzidas pelos gregos como *"*nem a água as dissolvia, nem as ondas as quebravam*"* (Alvarez, 2007). Na mesma época edificou-se os aquedutos Pont du Gard no sul da França (Figura 3a) e no século seguinte o Coliseu de Roma (Figura 3b), ambos monumentos famosos até os dias de hoje mostrando a durabilidade das argamassas de cal (Coelho et al., 2019).



Figura 3 – Pont du Gard no sul da França, ano 20 A.C. (a) Coliseu de Roma, ano 70-80 A.C. (b)

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL DE SUBMISSÃO AO ENVELHECIMENTO

As causas de degradação de argamassas de reboco podem ser consideradas exógenas, quando provenientes de fatores externos, ou endógenas, quando provenientes de processos de envelhecimento do próprio material. O mais comum é a combinação destes fatores em causas mistas (Veiga, 2009).
Quando se trata do estudo da durabilidade do material, pode-se considerar vários fatores e inúmeras combinações para se avaliar como o mesmo irá se comportar. A própria caracterização comumente realizada em argamassas com ensaios de comportamento mecânico pode indicar alguns comportamentos que geram causas endógenas de degradação. Porém, quando se procura estabelecer os parâmetros das causas exógenas, várias dificuldades são encontradas. A medição de causas exógenas pode ser considerada empírica, se aplicando a situações particulares.
Neste estudo buscou-se caracterizar as consequências das principais causas exógenas climáticas, tais como a precipitação, a variação de temperatura e umidade, e a influência de raios ultravioleta. Estes parâmetros foram observados em duas metodologias: a natural e a artificial. Sendo possível, desta forma, relacionar qual o tempo real em que uma máquina de envelhecimento acelerado, utilizado na metodologia artificial, simula em determinado ciclo. E quando se busca essa relação que se encontra tamanha particularidade, já que cada região apresenta características climáticas diferentes e havendo variações na própria região quando comparadas as mesmas estações de anos diferentes. Há também a falta de linearidade entre os parâmetros observados, observando-se que certos aspectos variam com maior intensidade.

ISBN 978-65-86819-05-2

Esta relação permite um estudo do comportamento de materiais não aplicados a edificações, visto que em intervenções de manutenção e reabilitação, quando a argamassa já está aplicada, são necessários alguns processos de identificação diferentes para se diagnosticar possíveis anomalias e se caracterizar o estado de manutenção de uma argamassa, obtendo assim conclusões sobre a sua durabilidade.

2.1 Materiais utilizados

Com o objetivo de se evidenciar as diferenças em composições de argamassas de cal pigmentadas explicitamente distintas, desenvolveram-se três composições. A primeira, referenciada neste trabalho como argamassa de referência, possuiu somente areia, cal em pasta e pigmento. A segunda e a terceira diferenciam-se pela adição de cimento e metacaulim, respectivamente. Para se produzir as três composições desenvolvidas utilizou-se areia, cal em pasta, cimento, metacaulim, pigmento azulado e água, sendo esta última proveniente de um sistema próprio de captação da instituição de ensino.
A areia, chamada de "areia espanhola", era uma areia natural média com módulo de finura 2,56 e massa específica 2,49 g/cm³. A cal utilizada foi uma cal aérea em pasta, de uma indústria portuguesa. Foi utilizado um cimento Portland branco CEM II/B-L 32,5R, fabricado em Portugal. O cimento branco dá um aspecto final com estética interessante, visto que permite que o pigmento ganhe mais destaque. Na terceira composição utilizou-se metacaulim fabricado nos USA, com tamanho médio de partícula de 1,4 μm, teor de sílica de 51,8% e de alumina de 43,4% Nas três composições, foi utilizado pigmento, optou-se a utilização do pigmento em pó da cor azul para o desenvolvimento das argamassas, visto que a cor é frequentemente utilizada neste tipo de aplicação em Portugal. Detalhes adicionais sobre os materiais utilizados neste trabalho podem ser vistos em Obrzut (2019).
Para definir as composições de argamassa que foram utilizadas neste estudo, optou-se por fixar um determinado espalhamento, além da afinação da cor. O ensaio de espalhamento é definido pela norma EN 1015-3 (European Committee For Standardization, 1999) e tem por objetivo determinar a consistência da argamassa fresca. Esta pode fornecer também, através de análise visual, algumas características quanto à capacidade de resistência à segregação e exsudação da argamassa (Frazão e Gonçalves, 2014). Foram realizadas 18 composições piloto para se buscar o ideal não somente dos resultados de espalhamento como também a quantidade equivalente para cada composição de pigmento, sendo analisadas visualmente para que chegassem na mesma coloração. Essas composições piloto foram aplicadas em tijolos. Através desta aplicação, percebeu-se que resultados próximos de 165 mm para o ensaio de espalhamento foram valores adequados para trabalhabilidade, buscando-se, portanto, esta aproximação para as três composições. O resultado encontrado no trabalho é condizente com o que Haach et al. (2010) apontam como uma boa trabalhabilidade para argamassas de reboco.
As composições finais adotadas e seus resultados médios no ensaio de espalhamento se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 – Composições das argamassas estudadas e espalhamento médio.

Composição	Cal em pasta (g)	Cimento (g)	Metacaulim (g)	Pigmento (g)	Água (ml)	Espalhamento
1	300	-	-	15	45	166,2
2	150	150	-	12	90	165,5
3	150	-	150	30	230	167,5

Observa-se, já a partir destes resultados, que o cimento fez com que a argamassa incorporasse melhor a quantidade de pigmento, sendo necessário 20% a menos em massa do mesmo, enquanto o metacaulim fez o processo inverso, consumindo 100% a mais para se chegar em tonalidades parecidas. Ambas as composições 2 e 3 apresentaram uma necessidade maior de água, sendo o dobro para a com cimento e mais de 5 vezes mais para com metacaulim.
Utilizou-se a norma EN1015-2 (European Committee For Standardization, 2000) para se realizar o preparo de todos os corpos de prova de argamassa utilizados neste estudo, sendo estes prismáticos de 40 x 40 x 160 mm.

2.2 Envelhecimento natural

Bragança é um município localizado ao extremo nordeste de Portugal, semi-cercada pela Serra de Montesinho a norte e pela Serra da Nogueira a Oeste. A cidade possui uma altimetria complexa e variante, podendo-se notar, no seu interior, diferenças de 200 m de altitude em pequenas distâncias. O espaço urbano é constituído, basicamente, por bairros residenciais de edifícios plurifamiliares e outros com moradias unifamiliares, contendo grandes áreas verdes.
A região não sofre influências marítimas devido as regiões montanhosas que a cercam. A radiação solar é mais intensa no mês de julho e menos intensa no mês de dezembro, assim como a temperatura que atinge Bragança. Os níveis de

ISBN 978-65-86819-05-2

precipitação são mais concentrados nas estações frias e mais escassos nas estações quentes, caracterizando a cidade com um clima mediterrâneo (Menezes, 2017).
Destaca-se que, mesmo envolvida por regiões agrícolas e florestais, as diferenças climáticas entre a região urbana e rurais são expressivas. Menezes (2017) evidenciou diferenças médias de 1,27°C e máxima de 7,57°C nos verões entre 2012 e 2016. Portanto, a particularidade de dados climáticos, evidenciada entre as fronteiras de um mesmo munícipio, deve ser considerada de forma maximizada quando se trata de regiões ainda mais distantes.
A metodologia de envelhecimento natural de corpos de prova de argamassas desenvolvidas neste estudo consistiu em submeter os mesmos à estação da primavera europeia de 2019, tendo início no dia 21 de março e final no dia 20 de junho. A metodologia optada para o envelhecimento natural foi a seguinte: um total de 18 corpos de prova, sendo seis repetições para cada uma das três composições foram alocados, na idade de 90 dias, no terraço da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do IPB. Estes foram colocados em posição horizontal, sob pequenos apoios circulares, que permitissem que a face inferior fosse atingida, mesmo que em menor grau, pelas intempéries, além de evitar o acúmulo de água nesta região. A disposição dos corpos de prova é mostrada na Figura 4a e os apoios utilizados na Figura 4b.



Figura 4 – corpos de prova prismáticos expostos a envelhecimento natural

Os corpos de prova não foram rotacionados, com o objetivo de se atingir a maior degradação possível à face superior exposta diretamente às intempéries. Durante o período da primavera do ano de 2019, de 21 de março a 20 de junho, os corpos de prova permaneceram expostos. Os dados climáticos deste período, onde os corpos de prova ficaram naturalmente expostos, podem ser encontrados em Obrzut (2019).

2.3 Envelhecimento acelerado

Para o envelhecimento acelerado foi utilizado o equipamento QUV *Accelerated Weathering Tester* (Figura 5), fabricado pela empresa Q-Lab, fundada em 1956, especialista em intemperismo simulado. A sede se localiza em Cleveland, Ohio, USA, porém os equipamentos são fabricados e distribuídos em vários países do globo (Q-Lab Corporation, 2019).
Este equipamento é, atualmente, o mais utilizado para ensaios de envelhecimento acelerado. Isso deve-se à sua fácil instalação e utilização, baixo custo de operação e baixa manutenção, além de bons resultados quando comparados com as outras alternativas no mercado. A câmara de intemperismo acelerado QUV é capaz de reproduzir os efeitos causados pela chuva, orvalho e a luz solar, atingindo os materiais ensaiados em poucos dias ou semanas com as agressões registradas em anos de exposição ao ar livre (Q-Lab Corporation, 2019).



Figura 5 – QUV *Accelerated Weathering Tester*

ISBN 978-65-86819-05-2

De maneira simplificada, a luz solar é simulada através de lâmpadas especiais UV fluorescentes e a chuva e orvalho são simulados através da condensação de umidade e spray de água.
A máquina possui um suporte padrão de amostras de espessuras de até 20 mm (Figura 6a), sendo possível a fixação através de anéis metálicos que se adequam a diversas formas de amostras.
O modelo utilizado neste estudo é o QUV/Spray, que possui o sistema *Solar Eye* que faz um preciso e automático controle da intensidade da luz UV, através de um ciclo de realimentação compensando o envelhecimento da lâmpada. Este sistema proporciona irradiância controlada, maior tempo de vida da lâmpada, resultados mais rápidos, maior repetibilidade e reprodutibilidade nos testes.
As lâmpadas fluorescentes UV (Figura 6b) são mais estáveis que outros tipos de lâmpada, além de possuírem um espectro consistente e estável, já que este não se altera ao longo da vida útil da lâmpada.



Figura 6 – Suporte padrão para amostras (a) e lâmpadas fluorescentes UV do equipamento QUV (b)

Foi utilizada a lâmpada UVA-340, que possui a melhor simulação da luz solar, com ondas de comprimento curtos de 295 nm a 365 nm, sendo estes os comprimentos considerados críticos. A comparação entre a irradiância e o comprimento de onda entre a lâmpada UVA-340 e a luz solar é apresentada na Figura 7 (Q-Lab Corporation, 2016).

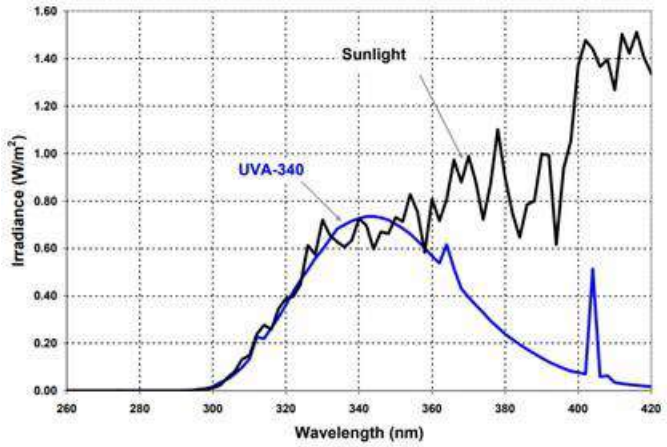


Figura 7 – Lâmpada UVA-340 versus luz solar

A câmara também possui um mecanismo de condensação para simular as agressões da umidade ao ar livre. Este funciona a partir de um reservatório no fundo da câmara de teste que é aquecido produzindo vapor e gerando um ambiente com 100% de humidade relativa. A diferença de temperatura com o exterior cria um ambiente propício para a condensação de água líquida naturalmente destilada, aumentando a reprodutibilidade dos resultados de testes.

2.3.1 Procedimento do ensaio acelerado

Três corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm, de cada uma das três composições, foram submetidos na idade de 90 dias, ao QUV *Accelerated Weathering Tester*. Não havendo ciclos normatizados pré-estabelecidos para argamassas, buscou-se que o ciclo aplicado fosse adequado a materiais de revestimento, utilizando-se, portanto, o ciclo estabelecido pela norma EN 927-6 (European Committee For Standardization, 2018), que estabelece o procedimento de ensaio para submissão de tintas e vernizes à intemperismo artificial usando lâmpadas UV fluorescentes e água.

ISBN 978-65-86819-05-2

O ciclo ocorre em diferentes etapas descritas a seguir. Primeiramente a condensação: temperatura de 45 ± 3ºC com duração de 24h. Em seguida 48 subciclos de 3h cada, totalizando 144h. Neste subciclo de 3h, as primeiras 2,5h são de radiação UV, a uma temperatura de 60 ± 3ºC, com irradiância de 0,89 W/m²nm a 340 nm. Os últimos 30 minutos consistem em um spray de 6 a 7 litros água destilada, com o ultravioleta desligado e sem imposição de temperatura.
O equipamento QUV *Accelerated Weathering Tester* é adequado a testes de tintas, vernizes e polímeros, não sendo disponibilizado originalmente uma adaptação para elementos de espessuras maiores. Desta forma, desenvolveu-se um dispositivo acoplável que permite a submissão destes elementos de dimensões maiores aos ensaios disponíveis pela máquina. Este dispositivo acoplável, assim como as medidas aproximadas do mesmo são apresentados na Figura 8. Destaca-se que este possui um espelho que permite a reflexão dos raios UV nas faces traseiras dos provetes, assim como orifícios que permitem o escoamento da água projetada pela máquina.



Figura 8 – Dispositivo acoplável ao QUV *Accelerated Weathering Tester*

Os corpos de prova foram posicionados neste acoplamento, de forma vertical e espaçados em cerca de 8 cm. Os mesmos não foram rotacionados, com o objetivo de se atingir a maior degradação possível à face exposta diretamente aos ciclos de intemperismos.
Durante 6 semanas os corpos de prova foram submetidos a um total de 6 ciclos completos de 168 horas cada, totalizando 1008 horas de ensaio.

3 RESULTADOS

A partir da identificação visual dos corpos de prova tornou-se possível a análise de alterações e uniformidade de cor. Os corpos de prova feitos apenas com cal, água, areia e pigmento estão apresentadas nas Figuras 9 e 10, nas situações antes e depois do envelhecimento, natural e artificial.



(a) (b)

Figura 9 – Composição 1 antes do envelhecimento (a) e depois do envelhecimento (b); envelhecimento natural

ISBN 978-65-86819-05-2



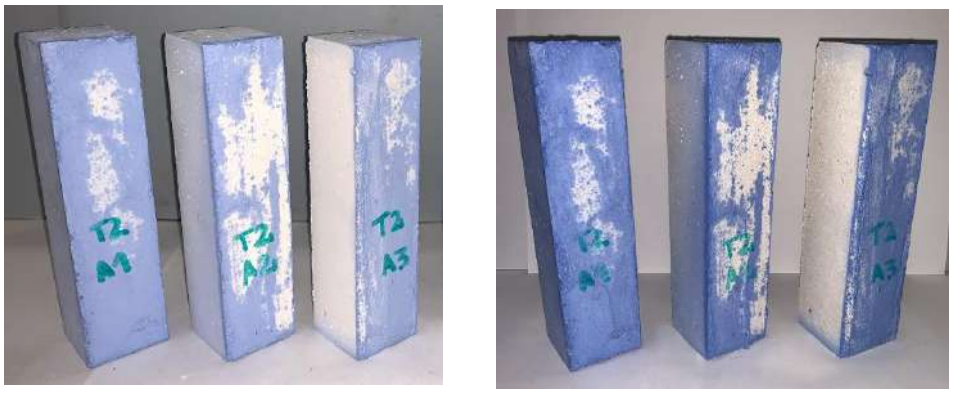
(a) (b)

Figura 10 – Composição 1 antes do envelhecimento (a) e depois do envelhecimento (b); envelhecimento artificial

Nota-se, a partir das **Erro! Fonte de referência não encontrada.**9 e 10, que nas condições (a), antes da submissão aos ensaios de envelhecimento, que esta composição apresentava a face superior do provete com uma pequena camada mais frágil e com maior incidência de fissuras. Isto se deve, possivelmente, ao fato de ser a face que curou sem a delimitação do molde. Já após aos ensaios de envelhecimento, se percebe que esta camada se desgasta, principalmente no ensaio artificial, onde chega-se a notar grandes áreas superficiais onde se perde a característica colorida.

Pode-se concluir que o processo de secagem movimentava o pigmento, e, como nos ensaios de envelhecimento os corpos de prova foram várias vezes umedecidos e secados, esta movimentação se acentuou. Nos corpos de prova submetidos à metodologia natural (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**9-b), de forma mais uniforme, enquanto que na metodologia artificial criando as áreas despigmentadas. Este também pode ter sido a razão pelo qual se observou o acentuamento da intensidade da cor após os ensaios.

Os corpos de prova feitos apenas com cal e cimento, além de água, areia e pigmento estão apresentadas nas Figuras 11 e 12, nas situações antes e depois do envelhecimento, natural e artificial.



(a) (b)

Figura 11 – Composição 2 antes do envelhecimento (a) e depois do envelhecimento (b); envelhecimento natural

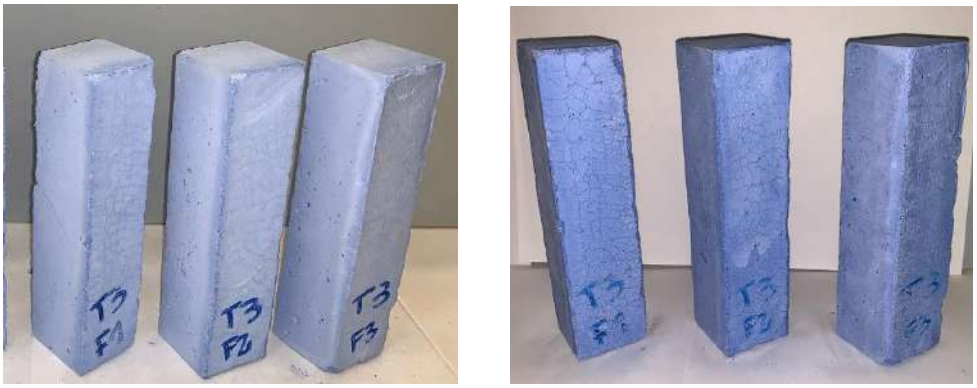
ISBN 978-65-86819-05-2



(a) (b)

Figura 12 – Composição 2 antes do envelhecimento (a) e depois do envelhecimento (b); envelhecimento artificial

A partir das Figuras 11 e 12, dos corpos de prova com cimento e cal, observa-se que anteriormente aos ensaios de envelhecimento, nas condições (a), estes já apresentavam grandes áreas despigmentadas. E, assim como ocorreu na composição 1, a movimentação dos pigmentos também pode ser observada. Nos corpos de prova submetidos ao envelhecimento natural (Figura 11-b) de forma pouco acentuada, permanecendo as mesmas áreas despigmentadas e em na Figura 12-b, onde os corpos de prova foram submetidos à metodologia artificial, observou-se que esta movimentação foi maior, com mais áreas despigmentadas. Isto pode ter ocorrido, possivelmente, ao fato da degradação destes ter sido muito mais acentuada, sendo possível observar, inclusive, a perda da superfície lisa que esta composição apresentava anteriormente. Observou-se que esta composição não apresentava fissuras nem na camada superior, o que se deve ao bom comportamento mecânico do cimento presente nesta composição.
Os corpos de prova feitos apenas com cal e metacaulim, além de água, areia e pigmento estão apresentadas nas Figuras 13 e 14, nas situações antes e depois do envelhecimento, natural e artificial.



(a) (b)

Figura 13 – Composição 3 antes do envelhecimento (a) e depois do envelhecimento (b); envelhecimento natural



ISBN 978-65-86819-05-2

(a) (b)

Figura 14 – Composição 3 antes do envelhecimento (a) e depois do envelhecimento (b); envelhecimento artificial

A composição 3 apresentada nas Figuras 13 e 14 foi a que apresentou maior grau de fissuração, de forma mais acentuada na face superior dos corpos de prova, que curou sem a delimitação do molde. Esta foi a composição com maior número de corpos de prova com fissurações que comprometiam sua integridade, sendo constatado quebra de alguns destes já no processo de desmolde.

A pigmentação desta composição foi a que se apresentou de melhor forma, não sendo notado áreas despigmentadas mesmo após os ensaios de envelhecimento, permanecendo com intensidade semelhante de cor.

É possível observar que assim como nas outras composições, o envelhecimento artificial foi muito mais rigoroso, fazendo com que os provetes apresentados na Figura 14-b não apresentassem mais a camada com fissurações superficiais.

Para observar a pigmentação dos corpos de prova internamente, os mesmos foram partidos ao meio, em ensaio de flexão por três pontos, conforme a Figura 15.

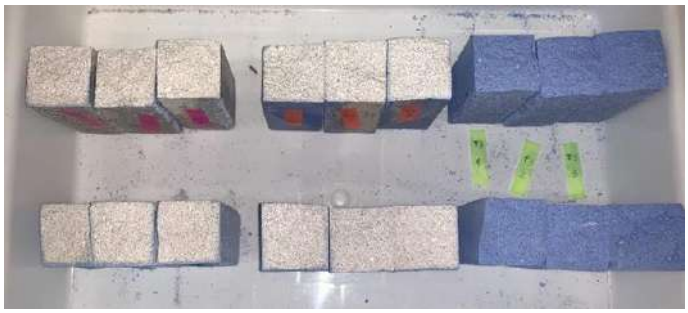


Figura 153 – Face interior dos provetes submetidos ao envelhecimento das duas metodologias, sendo os três primeiros provetes respectivos a primeira composição, seguidos por três provetes da composição 2 e 3 respectivamente.

A partir da Figura 15 é possível observar que nas composições 1 e 2 o pigmento não permaneceu uniforme no seu interior, sendo, portando, conduzido às faces no processo de secagem e evaporação da água. Já na composição 3, com metacaulim, o provete permaneceu todo pigmentado e com maior intensidade.

4. CONCLUSÕES

As argamassas de cal, utilizadas há milhares de anos, apresentam qualidades evidenciadas quando aplicadas ao campo de manutenção e reabilitação de edifícios. As mesmas apresentam compatibilidade com alvenarias antigas, já que são mais porosas e deformáveis, com boa trabalhabilidade e durabilidade. Porém, a utilização do cimento, tão crescente no último século, fez com que neste campo da reabilitação, se perdessem características essenciais às construções antigas, através não só do surgimento de anomalias como a perda de características históricas. Portanto, conclui-se a importância de se conhecerem os materiais utilizados e cada tipo de aplicação, já que características tão diferentes podem ser requeridas e adquiridas.

A utilização do pigmento de caráter artificial, buscando-se dar as argamassas uma característica colorida muito importante culturalmente em várias regiões de Portugal, apresentou-se ineficiente. A intensidade de cor foi perdida em períodos relativos curtos de tempo, assim como a movimentação do mesmo e o aparecimento de regiões totalmente despigmentadas, apresentando melhor resultado apenas quando em contato com metacaulim.

Quanto ao estudo do envelhecimento, permitiu-se concluir a quantidade de causas de degradação climáticas influenciadoras e as particularidades das mesmas. Ao se comparar uma estação do ano com um ciclo de cerca de 1000 horas de envelhecimento artificial, foi necessário levar em consideração a ação das temperaturas, umidades relativas do ar, velocidade do vento, precipitação e radiação. Assim como as variáveis aplicadas pelo ciclo artificial, de temperatura, umidade e radiação. Os resultados quando comparados a degradação dos materiais com relação à pigmentação, os corpos de prova perdem mais quando submetidos ao envelhecimento artificial

Não se concluiu, portanto, um fator de comparação absoluto entre as duas metodologias de envelhecimento, mas se concluiu que em todos os aspectos a metodologia de envelhecimento artificial acelerado foi mais agressiva. Esta se mostrou um método muito eficiente para se simular as degradações reais que as argamassas de reboco sofrem, dando em tempos muito mais curtos resultados que permitem a busca por materiais melhores e mais duráveis.

ISBN 978-65-86819-05-2

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. **Cor e a cidade histórica: estudos cromáticos e conservação do Património.** FAUP - Faculdade de Arquitectura da Universidade Porto. 2005.

ALVAREZ, J. A. S. **Alvenarias e Argamassas anteriores ao Império Romano**. 2007

COELHO, A. Z., PACHECO, T. F., & SAID, J. **A Cal na Construção.** Universidade do Minho, – Guimarães, Portugal. 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 927-6: **Paints and varnishes – Coating materials and coating systems for exterior wood – Part 6: Exposure of wood coating to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water**. 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1015-3: **Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)**. 1999

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1015-12: **Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength to hardened rendering and plastering mortars on substrates**. 2000.

FRAZÃO, C. M. V, & GONÇALVES, D. M. F. **Caraterização Experimental das propriedades de durabilidade de argamassas de base cimenticia reforçada com fibras sintéticas.** Universidade do Minho, – Guimarães, Portugal 2014.

GIL, M., RIBEIRO, I., CARVALHO, M. L., RIBEIRO, I. **Caiações caseiras e profissionais no Alentejo : Identificação e diferenciação dos pigmentos tradicionalmente empregues**. Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. (2006).

HAACH, V., VASCONCELOS, G., & MOHAMAD, G. **Influence of the Mortar on the Compressive Behavior of Concrete Masonry Prisms**. Revista Da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões, 18, 79–84. 2010.

MENEZES, G. DE O. **Análise do Clima Urbano da Cidade de Bragança (2012-2016): Estudo da Ilha de Calor .** Tese de Mestrado – Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal. 2017.

MILLER, B. M. M. **Lime.** U.S. Geological Survey Minerals Yearbook, USA. 1999.

NOÉ, P. **Os Impérios do Espírito Santo na Ilha Terceira.** SIPA - Sistema de Informação para o Património Arquitetónico. Sacavém, Portugal. 2012.

OBRZUT, L. Q. **Caracterização experimental de argamassas coloridas à base de cal submetidas ao envelhecimento.** Tese de Mestrado – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal.2019

Q-LAB CORPORATION. **BOLETIM TÉCNICO LU-8160 - Uma Escolha de Lâmpadas para o QUV**. 2016.

Q-LAB CORPORATION. **Q-Lab Corporation - Product Summary L-4061**. 2019.

RODRIGUES, A. **Argamassa Industrial para a Reabilitação de Rebocos Antigos**. Tese de Mestrado – Técnico Lisboa, Lisboa. 2016.

SOUSA, A. J. C. DE. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias**. Tese de Mestrado – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal. 2010.

VEIGA, M. DO ROSÁRIO. **Conservação e Reparação de Revestimentos De Paredes De Edifícios Antigos - Métodos e Materiais.** In Colecção: Teses e Programas de Investigação LNEC. 2009.

ISBN 978-65-86819-05-2