

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
RELATÓRO DE ATIVIDADES DO ESTÁGIO PÓS-DOCTORAL**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO FÍSICO E
MECÂNICO DA LIGAÇÃO ENTRE ESCORAMENTO
METÁLICO E ALVENARIAS ANTIGAS**

ROSANA MUÑOZ

Março 2015 a Fevereiro 2016

SUMÁRIO

RESUMO	3
1.INTRODUÇÃO	3
2.MATERIAIS UTILIZADOS	4
2.1 ARGAMASSAS	4
2.2 PEDRA	8
2.3 TIJOLO	8
3.CAMPANHA EXPERIMENTAL	9
3.1 DEFINIÇÃO DO NÚMERO E DAS DIMENSÕES DE PAREDES A SEREM ENSAIADAS	9
3.2 EXECUÇÃO DAS PAREDES	11
3.3 AS ANCORAGENS	12
3.4 DEFINIÇÃO E MONTAGEM DE SETUPS	13
3.5 FIXAÇÃO DE CONECTORES	15
3.5.1 Ancoragem mecânica	15
3.5.2 Ancoragem química	16
3.5.3 Ancoragem com conector metálico e <i>grout</i>	16
3.6 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM ALVENARIAS	17
3.6.1 Compressão diagonal	17
3.6.2 Compressão axial	18
3.6.3 <i>Pull out</i>	20
3.7 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM ARGAMASSAS	23
4. ANÁLISES DOS RESULTADOS	24
5. COMPATIBILIZAÇÃO DO CRONOGRAMA PROPOSTO E CRONOGRAMA REALIZADO	25
6. AGRADECIMENTOS	27
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS	29

RESUMO

A pesquisa do estágio pós-doutoral intitulado *Avaliação do comportamento físico e mecânico da ligação entre escoramento metálico e alvenarias antigas* objetivou aprofundar conhecimentos sobre o desempenho da ligação entre uma estrutura nova em aço e uma alvenaria antiga. O Estado da Bahia e, particularmente, sua capital, Salvador, detêm um dos maiores e mais expressivos patrimônios arquitetônicos da época colonial portuguesa. Preservá-los, torna-se um dever dos órgãos públicos, dos profissionais da área, dos proprietários dos imóveis e dos cidadãos que buscam perpetuar sua memória. Muitos edifícios encontram-se danificados e outros em estágio avançado de degradação, podendo chegar à ruína. Diversas técnicas são utilizadas para o restauro de elementos arquitetônicos e estruturais; uma delas trata da estabilização de fachadas que, na maioria das vezes, é feita com a utilização de suporte definitivo em estrutura metálica. A ligação dessa contenção com a alvenaria, feita por meio de diversos tipos de conexões, tem sido pouco estudada e apresenta-se como um entrave do projeto estrutural. Nesse sentido, foram desenvolvidas atividades experimentais na Universidade do Minho, em Guimarães, Portugal, de março de 2015 a fevereiro de 2016, para avaliar o comportamento físico e mecânico de três tipos de ligações – ancoragem mecânica, química e com *grout* – objetivando fundamentar a escolha a ser utilizada em intervenções restaurativas, imprescindíveis para a conservação do vasto patrimônio arquitetônico nacional.

1. INTRODUÇÃO

O estágio pós-doutoral intitulado *Avaliação do comportamento físico e mecânico da ligação entre escoramento metálico e alvenarias antigas* foi realizado na Universidade do Minho, no Departamento de Engenharia Civil, no período compreendido entre março de 2015 a fevereiro de 2016, e foi supervisionado pelo Prof. Dr. Paulo Lourenço.

As atividades desenvolvidas nos laboratórios de materiais e estruturas foram guiadas pelo atendimento ao objetivo proposto no projeto apresentado à CAPES em 2014, descrito da seguinte forma: **avaliar o comportamento físico e mecânico dos materiais da ligação direta com ancoragem metálica entre escoramento permanente em estrutura metálica e alvenaria (de pedra e de tijolo), em relação à durabilidade, através de ensaios experimentais.**

Para atender ao objetivo proposto, foram estudados três tipos de ligações mais comuns: ancoragem mecânica e química – fornecidas pela empresa Hilti Portugal, e ancoragem com

grout de base cimentícia; e foram realizados ensaios de *pull out* em paredes de alvenaria de pedra e de tijolo, confeccionadas no laboratório e mencionadas neste relatório como paredes testes. Ressalta-se que por uma questão de tempo e de disponibilidade de tanques não foram executados ensaios de durabilidade.

Todas as atividades desenvolvidas durante o período de estágio pós-doutoral na Universidade do Minho estão descritas e ilustradas no presente relatório, que apresenta também alguns resultados já avaliados.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa teórica em artigos científicos e normas técnicas relativa ao tema em questão e definidos os materiais e ensaios a serem executados. Observa-se que a escolha dos materiais foi fundamentada no objetivo de se trabalhar com alvenarias antigas, portanto foram escolhidos aqueles que apresentassem baixa resistência.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

De forma geral, os materiais usados para o desenvolvimento da pesquisa foram: cal hidráulica natural, areia e água, para elaboração de argamassas; pedras e tijolos para execução das alvenarias. A contextualização e a caracterização física e mecânica destes materiais encontram-se descritas a seguir.

2.1 ARGAMASSAS

Em relação às argamassas de assentamento de pedras e tijolos, sabe-se que as de cal aérea são as que apresentam a constituição mais próxima das composições antigas, no entanto sua utilização fica restrita em ambientes úmidos e em locais com limitação de dióxido de carbono (VEIGA, 2015). Como esta cal endurece lentamente ao ar ou por reação com o CO₂ da atmosfera, o seu uso inviabilizaria a realização da pesquisa proposta em um ano, fato que direcionou a escolha pela cal hidráulica. Segundo Veiga (2015), as argamassas de cal hidráulica, quando isentas de sais, constituem soluções adequadas em obras de reabilitação, principalmente aquelas localizadas em zonas úmidas ou em contato direto com água.

As argamassas de cimento apresentam um aspecto final muito diferente das antigas e contêm, na sua composição, sais solúveis, que, transportados para o interior das paredes, lá cristalizam, contribuindo para a sua degradação. Apresentam também rigidez excessiva e capacidade limitada de secagem da parede (VEIGA, 2003).

Em conversa com a Dra. Rosário Veiga, investigadora do Departamento de Edifícios do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), localizado em Lisboa, e especialista em desempenho de argamassas, decidiu-se pela utilização da cal hidráulica natural NHL 3,5 da Secil, indicada para restauro.

Definida a cal a ser empregada, o próximo passo foi o estabelecimento do traço, ou seja, da proporção de cal, areia¹ e água das misturas. Para isto, foram realizados ensaios com argamassas no estado fresco e endurecido, executadas com dois traços 1:3 (cal:areia) e 1:2,5, fundamentados em Veiga (2015).

Os ensaios realizados nesses materiais e nas argamassas produzidas com a utilização dos mesmos foram:

- a) Caracterização da areia: ensaio de granulometria (Fig. 1), determinação da massa volúmica real ou peso específico (Fig. 2), massa volúmica aparente ou baridade ou massa unitária (Fig. 3), volume de vazios e absorção de água.
- b) Caracterização da cal: massa volúmica real pelo ensaio de *Le Chatelier* (Fig. 4), massa volúmica aparente (Fig. 5) e volume de vazios.
- c) Ensaio de argamassas no estado fresco: *Flow Table* (Fig. 6), massa volúmica aparente (Fig. 7) e volume de vazios (Fig. 8).
- d) Ensaio de argamassas no estado endurecido a 28 e 90 dias: resistência à tração por flexão (Fig. 9), módulo de elasticidade (Fig. 10), resistência à compressão em cilindros e prismas (Fig. 11 e Fig. 12), carbonatação com utilização de fenolftaleína (Fig. 13), aderência ao suporte ou *pull off* (Fig. 14), e comportamento à água: absorção por capilaridade (Fig. 15) e por imersão (Fig. 16).

¹ A areia utilizada foi a “meia areia”, caracterizada como grossa e de pedreira.



Fig. 1 – Granulometria da areia



Fig. 2 – Massa volúmica real da areia



Fig. 3 – Massa volúmica aparente da areia



Fig. 4 – Massa volúmica real da cal



Fig. 5 – Massa volúmica aparente da cal



Fig. 6 – Flow Table da argamassa



Fig. 7 – Massa volúmica aparente da argamassa



Fig. 8 – Volume de vazios da argamassa



Fig. 9 – Flexão do prisma



Fig. 10 – Módulo de elasticidade



Fig. 11 – Compressão cilindro



Fig. 12 – Compressão de prisma



Fig. 13 – Carbonatação



Fig. 14 – Pull off



Fig. 15 – Absorção por capilaridade



Fig. 16 – Absorção por imersão

A proporção de água do traço foi definida a partir do espalhamento recomendado pela Dra. Rosário Veiga, em torno de 145 a 155mm para argamassas de restauro. Feitos os ensaios e obtidos os resultados, passou-se para a escolha do traço a ser utilizado nas argamassas de assentamento de pedras e tijolos das paredes testes, fundamentada nos requisitos estabelecidos por Veiga (2003) e dispostos no Quadro 1. O traço definido foi 1:2,5, por apresentar melhores resistências (Quadro 2).

Quadro 1 - Requisitos estabelecidos para argamassas de edifícios antigos a 28 dias

Uso	Características Mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à água Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .min ^{1/2})
	Resistência à tração	Resistência à compressão	Módulo de elasticidade		
Juntas	0,40 - 0,80	0,60 – 3,00	3000-6000	0,1 – 0,5	1,0 – 1,5

Fonte: Adaptado de Veiga (2003, p. 5; 2015, p. 590).

Quadro 2 – Resultados dos ensaios das argamassas a 28 dias

Traços	Características Mecânicas (MPa)			Aderência (MPa)	Comportamento à água Coeficiente de capilaridade (kg/m ² .min ^{1/2})
	Resistência à tração	Resistência à compressão	Módulo de elasticidade		
1:2,5	0,464	1,500	2133	0,148	1,90
1:3	0,345	1,372	2004	0,146	2,10

Ressalta-se que os materiais necessários para a execução de todas as argamassas foram adquiridos pela proponente, com os recursos da CAPES; e que os ensaios descritos nesta seção foram executados no Laboratório de Materiais e no Laboratório de Estruturas LEST.

2.2 PEDRA

A pedra utilizada nas alvenarias foi o granito alterado de baixa resistência, com dimensões em torno de 20cm, extraído de pedreira do norte de Portugal e adquirido da empresa ARTECANTER. Este material foi fornecido pela Universidade do Minho.

Para sua caracterização, foram realizados ensaios de módulo de elasticidade (Fig. 17), compressão (Fig. 18), tração (Fig. 19), cujos resultados destes estão dispostos no Quadro 3, e comportamento à água pela absorção por imersão (Fig. 20).



Fig. 17 – Ensaio de módulo de elasticidade



Fig. 18 – Ensaio de compressão



Fig. 19 – Ensaio de tração



Fig. 20 – Ensaio de absorção por imersão

Quadro 3 – Caracterização da pedra

Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
15,45 a 49,14	28,74 a 88,66	6,20

Como os resultados do Módulo de Elasticidade e da Resistência à Compressão foram muito variáveis, preferiu-se colocar, no Quadro 3, faixas de valores. Já para a tração, foi calculada a média.

2.3 TIJOLO

O tijolo utilizado foi o maciço, de baixa resistência, CBS 7 20x9,5x6,5cm, adquirido da empresa CENOL Cerâmica do Norte Ltda. Para sua caracterização, foram executados os seguintes ensaios: compressão (Fig. 21), tração (Fig. 22) e absorção por imersão (Fig. 23). Os resultados das resistências estão dispostos no Quadro 4. Parte dos tijolos foi adquirida pela Universidade do Minho e parte foi paga pela bolsista, com os recursos da CAPES.



Fig. 21 – Ensaio de compressão



Fig. 22 – Ensaio de tração



Fig. 23 – Ensaio de absorção por imersão

Quadro 4 – Caracterização do tijolo

Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
20,29	3,19

Caracterizados os materiais, partiu-se para a execução das paredes testes a serem ensaiadas com os conectores e aquelas a serem utilizadas para caracterização dessas alvenarias. As paredes de alvenaria de pedra foram iniciadas e concluídas em setembro de 2015, em função da disponibilidade de espaço para armazenamento das mesmas, e as de tijolo em dezembro desse mesmo ano.

3. CAMPANHA EXPERIMENTAL

Neste item contextualizam-se as ações preliminares desenvolvidas para execução da parte prática da pesquisa e descrevem-se todas as atividades experimentais realizadas nos laboratórios.

3.1 DEFINIÇÃO DO NÚMERO E DAS DIMENSÕES DE PAREDES A SEREM ENSAIADAS

Tomando como base que as paredes testes deveriam ser representativas de alvenarias antigas e compatíveis com o espaço dos equipamentos de ensaios, foi inicialmente determinada a altura limite 1,20m. A seguir, definiu-se a largura das mesmas, fundamentada em fórmulas empíricas apresentadas por Segurado (1732), ficando em 40cm. O comprimento estabelecido, 80cm, foi calculado a partir do diâmetro do cone de arrancamento esperado como resultado do *pull out* de conectores metálicos, indicado por normas e diretrizes consultadas - ETAG 001 (1997), TR 029 (2007) e ETAG 029 (2013).

Foram determinadas quatro paredes para cada tipo de ancoragem – química, mecânica e com *grout*, perfazendo o total de 12 paredes testes. Das quatro paredes, duas foram submetidas ao *pull out* horizontal e duas com utilização de atuador inclinado, com o objetivo de estimar o valor da força vertical (cortante). Executaram-se, ainda, outras paredes para caracterizar as alvenarias de estudo, como disposto no Quadro 5. Todos os modelos ficaram armazenados no subsolo do Laboratório de Estruturas LEST (Fig. 24 e Fig. 25).

Quadro 5 – Informações sobre as paredes que foram usadas na campanha experimental

Tipos	Dimensões (cm)	Quantidades	Ensaio	Normas
Alvenaria de pedra	30x80x80	3	Compressão diagonal	LUMB6 (1991) e ASTM E 519 – 02 (2002)
	40x60x80	3	Compressão axial	BS EM 1052 (2002)
	20x40x40	5	Compressão axial	ASTM C1314 – 03b (2003)
	40x80x120	12	<i>Pull out</i>	ETAG 001 (1997), TR 029 (2007) e ETAG 029 (2013)
Alvenaria de tijolo	30x80x80	3	Compressão diagonal	LUMB6 (1991) e ASTM E 519 – 02 (2002)
	40x40x50	3	Compressão axial	BS EM 1052 (2002)
	20x40x40	5	Compressão axial	ASTM C1314 – 03b (2003)
	40x80x120	12	<i>Pull out</i>	ETAG 001 (1997), TR 029 (2007) e ETAG 029 (2013)



Figura 24 – Paredes de alvenaria de pedra



Fig. 25 – Paredes de alvenaria de tijolo

Como já relatado, a campanha experimental visou realizar ensaios de *pull out* em paredes de alvenaria de pedra e de tijolo com a utilização do atuador na horizontal e em posição inclinada. Adicionalmente, foram realizados ensaios de compressão axial e compressão diagonal e ensaios com argamassas, uma vez que eram moldados corpos de prova à medida que iam sendo executadas as argamassas das paredes. Esses corpos de prova ficaram no mesmo ambiente das alvenarias para estarem submetidos ao mesmo processo de cura.

Foram definidas as etiquetas que seriam colocadas nas paredes com os logos das instituições participantes da pesquisa (Universidade do Minho, Laboratório LEST, ISE, CAPES e Universidade Federal da Bahia) e com as seguintes informações na língua inglesa: tipo de

ensaio, configuração da parede (W referente a *wall* e P referente a *prism*), material da parede (por extenso ou apenas a primeira letra) e número do modelo, como apresentado na Fig. 26. Este mesmo raciocínio foi usado para os corpos de provas de argamassas (Fig. 27), sem a identificação do ensaio, por não se achar necessário, já que estava definido que os corpos de prova cilíndricos seriam submetidos ao módulo de elasticidade e depois à compressão e os prismáticos, à flexão, seguidos de compressão.

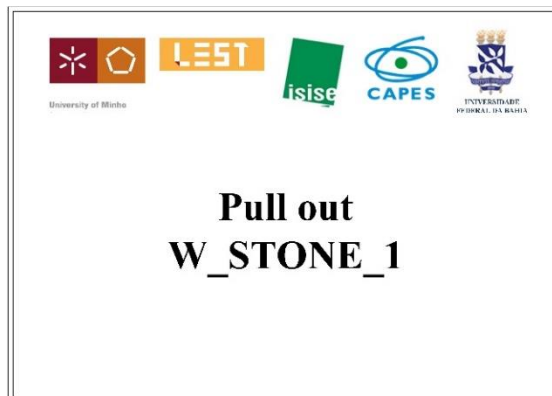


Figura 26 – Etiqueta da parede número 1 de alvenaria de pedra a ser submetida ao *pull out*



Figura 27 – Etiqueta de corpo de prova prismático, de alvenaria de tijolo (letra B referente à *brick*)

3.2 EXECUÇÃO DAS PAREDES

As paredes foram executadas por profissional que presta serviços à Universidade do Minho, contratado pela pesquisadora com os recursos recebidos pela bolsa da CAPES, no subsolo do Laboratório de Estruturas LEST. A disposição das pedras e tijolos seguiu a orientação estabelecida por Segurado (1732) para alvenarias antigas (Fig. 28 e Fig. 29).



Fig. 28 – Execução da alvenaria de pedra



Fig. 29 – Execução da alvenaria de tijolo

3.3 AS ANCORAGENS

As ancoragens utilizadas foram cedidas pela Hilti Portugal, empresa escolhida por possuir representante no Brasil. Esta também disponibilizou os equipamentos necessários para a correta fixação e utilização.

Com o auxílio do software Hilti PROFIS, disponibilizado pela referida empresa eletronicamente, e levando em consideração um exemplo hipotético de uma alvenaria de fachada sem travamento, de 70cm de largura e 7 metros de altura, foi calculado o diâmetro dos conectores metálicos a serem utilizados no escoramento metálico, ficando em 10mm. As referências das ancoragens utilizadas, identificadas após consulta ao catálogo da Hilti e conversa com a Eng. Joana Almeida, do Departamento Técnico da empresa, estão dispostas no Quadro 6.

Quadro 6 – Ancoragens utilizadas na pesquisa

Tipo de alvenaria	Ancoragem mecânica	Ancoragem química	Conector para ancoragem com <i>grout</i>
Pedra	HUS 3 (Fig. 30)	HIT-RE 500 com conector HIT-V-8.8 M10x190 (Fig. 31)	HIT-V-8.8 M10x190
Tijolo	HUS 3 ²	HIT-HY 270 com conector HIT-V-8.8 M10x190	HIT-V-8.8 M10x190



Fig. 30 – Conector HUS 3 da Hilti



Fig.31 – Conector rosqueado HIT-V-8.8 M10x190 da Hilti

² A empresa Hilti não disponibiliza comercialmente conector mecânico para alvenaria de tijolo. Por esta razão, optou-se por utilizar o mesmo da alvenaria de pedra, com o intuito de poder realizar comparação de resultados.

O *grout* utilizado foi o MAPEFILL P da MAPEI, adquirido pela pesquisadora em loja de materiais de construção. Possui dimensão máxima do agregado de 1,4mm e resistência à compressão 20 MPa após um dia.

3.4 DEFINIÇÃO E MONTAGEM DE SETUPS

Após a execução e o período de cura das paredes, estabelecido em trinta dias, e providenciados os materiais e equipamentos necessários para a fixação das ancoragens, foi montado o setup a ser usado nos ensaios de compressão diagonal (Fig. 32), no pórtico E4. Terminados esses ensaios, partiu-se para a montagem do setup no pórtico E1, destinado à colocação dos conectores, e no atuador E2, para realização do *pull out*. Para este último ensaio, foram confeccionadas peças de encaixe para arranque do conector mecânico e estrutura de fixação da parede ao pórtico. Como já mencionado, foram realizados ensaios com o atuador na horizontal e com inclinação de 30 graus (Fig. 33 e Fig. 34). Na sequência, foi realizada a montagem do setup para compressão axial nos pórticos E1 e E8³ (Fig. 35 e Fig. 36).



Fig. 32 – Setup para compressão diagonal



Fig. 33 – Setup para *pull out* com atuador na horizontal



Fig. 34 – Setup para *pull out* com atuador inclinado



Fig. 35 – Setup para compressão axial no E1



Fig. 36 – Setup para compressão axial no E8

³ A distinção de pórticos e equipamentos ocorreu em função das cargas máximas dos atuadores.

3.5 FIXAÇÃO DE CONECTORES

Os procedimentos para fixação dos conectores, por tipo de ancoragem, estão descritos e ilustrados nas Figuras 37 a 57. Foram inseridas imagens de alvenarias de pedra, mas a metodologia foi replicada para alvenaria de tijolos. Ressalta-se que para a execução dos furos e colocação da ancoragem, assim como durante a realização do *pull out*, a parede esteve submetida a uma carga de 50kN, para reproduzir o efeito de confinamento associado à compressão vertical existente em uma parede real.

3.5.1 Ancoragem mecânica



Fig. 37 – Setup do pórtico E1 para realização do furo e colocação da ancoragem



Fig. 38 – Posicionamento da parede no pórtico do equipamento E1



Fig. 39 – Realização do furo



Fig. 40 – Detalhe do conector mecânico

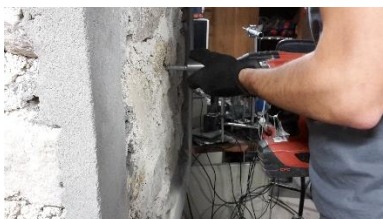


Fig. 41 – Colocação do conector com a peça de auxílio de arranque



Fig. 402 – Detalhe da conexão mecânica

3.5.2 Ancoragem química



Fig. 43 – Realização de furo com broca específica, com entrada para encaixe de aspirador de pó



Fig. 44 – Aspiração de pó complementar, realizada manualmente



Fig. 45 – Equipamento específico para aplicação de resina



Fig. 46 – Aplicação de resina



Fig. 47 – Colocação do conector



Fig. 48 – Parede pronta para o ensaio, após 24 horas de secagem

3.5.3 Ancoragem com conector metálico e *grout*



Fig. 49 – Conector com anilha soldada e tubos para expulsão do *grout* (certeza do preenchimento até o fundo) e saída do ar



Fig. 50 – Execução do furo na parede com broca de 20mm



Fig. 51 – Extração do pó



Fig. 52 – Molhagem do furo, para não absorver a água do *grout*



Fig. 53 – Introdução do conjunto no furo



Fig. 54 – Detalhe da fixação do conjunto com cola quente



Fig. 55 – Detalhe da injeção de *grout*



Fig. 56 – Detalhe de amarração das pontas dos tubos



Fig. 57 – Parede pronta para realização do *pull out*, após secagem de 48 horas

3.6 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM ALVENARIAS

Os ensaios realizados nas alvenarias de pedra e de tijolo foram: compressão diagonal e axial e *pull out*, conforme descrito a seguir.

3.6.1 Compressão Diagonal

O ensaio de compressão diagonal foi realizado no pórtico E4, com controle de deslocamento e velocidade de carregamento de 0,003mm/seg. Foi utilizado para avaliar a tensão de cisalhamento das paredes, tanto de alvenaria de pedra (Fig. 58 e Fig. 59), quanto de tijolo (Fig. 60 e Fig. 61).



Fig. 58 – Alvenaria de pedra antes do ensaio



Fig. 59 – Alvenaria de pedra após o ensaio



Fig. 60 – Alvenaria de tijolo antes do ensaio Fig. 61 – Alvenaria de tijolo após o ensaio

3.6.2 Compressão Axial

Foram ensaiadas oito paredes de alvenaria de pedra, sendo três de 40x60x80 (largura, comprimento, altura, em centímetro) e cinco de 20x40x40. As primeiras foram ensaiadas no equipamento do E1 e as segundas, em função da configuração, no E8. Todas elas foram ensaiadas com controle de deslocamento. Ver Figuras 62 a 65.



Fig. 62 – Parede de 40x60x80 antes do ensaio Fig. 63 – Parede de 40x60x80 depois do ensaio



Fig. 64 – Parede de 20x40x40 antes do ensaio Fig. 65 – Parede de 20x40x40 depois do ensaio

No caso da alvenaria de tijolo, foram ensaiadas três paredes de 40x40x50⁴ e cinco paredes de 20x40x40, todas no E8 por possuir atuador com capacidade de até 1000kN. Da mesma forma, todas submetidas ao controle de deslocamento. Ver Figuras 66 a 69.



Fig. 66 – Parede de 40x40x50 antes do ensaio



Fig. 67 – Parede de 40x40x50 depois do ensaio



Fig. 68 – Parede de 20x40x40 antes do ensaio



Fig. 69 – Parede de 20x40x40 depois do ensaio

⁴ Observa-se que essas dimensões diferem daquelas consideradas para as paredes de alvenaria de pedra, uma vez que, em função da maior resistência prevista, foram ensaiadas em outra prensa com maior capacidade de carga, porém com limite de altura.

3.6.3 Pull out

Após a fixação da ancoragem, cada parede teste era transportada do pórtico do equipamento E1 (onde era furada e recebia o conector, sob uma carga de 50kN, como já descrito) para o E2, por meio de porta paletes. No topo da parede colocavam-se chapa e perfil para distribuição da carga concentrada, de 50 kN, aplicada por meio de macaco hidráulico (Fig. 70 e Fig. 71).

Para evitar que a parede sofresse deslocamentos quando da execução do *pull out*, esta era fixada ao pórtico com a utilização de estrutura metálica, vergalhões e roscas (Fig. 72 e Fig. 73). A seguir, colocava-se a rótula para ligar a ancoragem ao atuador (Fig. 74 a Fig. 79) e eram fixados os LVDTs (Linear Variable Differential Transformer ou Transformador Diferencial Variável Linear), de forma a medir os deslocamentos dentro e fora do cone de arrancamento. Ver Figura 80.

Logo depois, dava-se início ao ensaio (Fig. 81), que terminava quando o deslocamento do conector fosse 20mm ou a critério da pesquisadora (Fig. 82). A seguir, retirava-se a parede do local (Fig. 83 a Fig. 85) e dava-se prosseguimento ao próximo ensaio. Por fim, realizavam-se os cadastros fotográfico e geométrico da ruptura da parede.

O ensaio consistia em arrancar o conector por meio de atuador posicionado perpendicularmente em relação à parede (Fig. 86) e de forma inclinada 30 graus em relação ao solo (Fig. 87).

Esta rotina foi feita tanto para as paredes testes de alvenaria de pedra, quanto para as de tijolo. Ressalta-se que no caso da pedra, por sugestão do supervisor Prof. Paulo Lourenço, foram testadas as duas faces da parede, com mudança da carga vertical de confinamento para 200kN.



Fig. 70 – Macaco e relógio medidor



Fig. 71 – Unidade hidráulica



Fig. 72 – Conjunto de fixação da parede ao pórtico



Fig. 73 – Vista geral da parede fixada ao pórtico



Fig. 74 – Rótula utilizada no *pull out* horizontal das ancoragens química e com *grout* das paredes de pedra



Fig. 75 – Rótula utilizada no *pull out* horizontal das ancoragens química e com *grout* das paredes de tijolo



Fig. 76 – Rótula utilizada no *pull out* horizontal das ancoragens mecânicas das paredes de pedra e tijolo



Fig. 77 – Rótula utilizada no *pull out* inclinado das ancoragens química e com *grout* das paredes de pedra



Fig. 78 – Rótula utilizada no *pull out* inclinado das ancoragens química e com *grout* das paredes de tijolo



Fig. 79 – Rótula utilizada no *pull out* inclinado das ancoragens mecânicas das paredes de pedra e tijolo



Fig. 80 – Colocação dos LVDTs



Fig. 81 – Vista do setup durante o ensaio



Fig. 82 – Fim do ensaio



Fig. 83 – Remoção do conjunto de fixação



Fig. 84 – Retirada da parede com porta paletes



Fig. 85 – Colocação de nova parede e estrutura de fixação



Fig. 86 – *Pull out* com atuador na posição horizontal



Fig. 87 – *Pull out* com atuador inclinado

Após o cadastro, as paredes de alvenaria de pedra foram destruídas e colocadas em *big bags*, enquanto as de tijolo foram armazenadas para futuros ensaios.

3.7 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS EM ARGAMASSAS

À medida que as argamassas das paredes iam sendo executadas (Fig. 88), corpos de prova iam sendo moldados (Fig. 89) para serem ensaiados quanto ao módulo de elasticidade (Fig.90),

compressão (cilindros e prismas) (Fig. 91 e Fig. 92), flexão (Fig. 93) e absorção por imersão (Fig. 94). Essas amostras, após 48 horas nos moldes, foram deixadas nas mesmas condições de cura (temperatura e umidade) das alvenarias e foram ensaiadas logo após a realização dos ensaios com as paredes e a 90 dias após sua execução. Adicionalmente, foi feito ensaio de retração (Fig. 95) em dois corpos de prova, submetidos a 20°C e umidade 60-65%.



Fig. 88 – Elaboração de argamassa



Fig. 89 – Corpos de prova a serem ensaiadas



Fig. 90 – Ensaio de módulo de elasticidade



Fig. 91 – Ensaio de compressão em cilindro



Fig. 92 – Ensaio de compressão em prisma



Fig. 93 – Ensaio de flexão



Fig. 94 – Ensaio de absorção por imersão



Fig. 95 – Ensaio de retração

4. ANÁLISES DOS RESULTADOS

Após a execução dos ensaios com paredes e argamassas, foi realizada a compilação de todos os dados. Em relação aos ensaios de *pull out*, adicionalmente, foi feita avaliação do tipo de ruptura

produzido pelo arrancamento dos conectores. De forma geral, entre os tipos de conexões avaliados nesta pesquisa, tem-se que tanto para as alvenarias de pedra, quanto para as de tijolo, a ancoragem que apresentou melhor desempenho, em termos de maior força de arrancamento, foi a química, seguida daquela executada com *grout*. Esses dados foram obtidos tanto nos testes utilizando o atuador na horizontal, como inclinado; e com carga de confinamento de 50kN e 200kN (este último caso apenas avaliado nas alvenarias de pedra). Os resultados dos ensaios e as respectivas análises serão divulgados em periódicos científicos, a serem escolhidos em comum acordo com o supervisor. Serão produzidos, no mínimo, três trabalhos: um relativo às avaliações de tensão versus deslocamento das conexões executadas nas alvenarias de pedra, outro alusivo às da alvenaria de tijolo e um terceiro comparando o desempenho das conexões nas duas alvenarias. Adicionalmente, serão examinadas as diversas configurações de ruptura, por meio de reflexões sobre os tipos encontrados e a normativa existente.

5. COMPATIBILIZAÇÃO DO CRONOGRAMA PROPOSTO E CRONOGRAMA REALIZADO

A experiência de estágio pós-doutoral foi planejada com duração de um ano, com início em março de 2015. As atividades desenvolvidas nesse período foram pautadas em três aspectos: (a) aprofundamento sobre o estado da arte nos temas relativos a ligações de alvenarias antigas e sobre as normativas dos ensaios, além de treinamento com softwares e equipamentos a serem utilizados; (b) a realização de experimentos práticos; e (c) a divulgação dos resultados da pesquisa. O cronograma proposto no projeto enviado à CAPES em 2014 é apresentado no Quadro 7 e na sequência dispõe-se o cronograma realizado no período do estágio pós-doutoral (Quadro 8).

Quadro 7 – Cronograma das atividades proposto em 2014 para o estágio pós-doutoral

Atividades	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Atividades preliminares	x											
Capacitação sobre o estado da arte		x	x	x								
Modelagem estrutural				x	x							
Treinamento com equipamentos					x							
Aquisição de materiais e caracterização					x	x						
Confecção de modelos							x					
Realização de ensaio de env. artificial acelerado							x	x				
Realização de ensaios sônicos e de aderência									x	x		
Avaliação de resultados										x		
Elaboração de relatório										x	x	
Elaboração de artigos e material didático												x

Quadro 8 – Cronograma das atividades realizadas entre março de 2015 e março de 2016 para o estágio pós-doutoral

Atividades	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Atividades preliminares	x												
Capacitação técnico-científica		x	x	x	x								
Treinamento com equipamentos		x	x	x	x		x	x					
Aquisição de materiais e caracterização		x	x	x	x	x		x					
Confecção de paredes							x			x			
Realização de ensaio de compressão axial									x			x	
Realização de ensaio de compressão diagonal								x			x		
Realização de ensaios de <i>pull out</i>								x	x	x	x	x	
Realização de ensaio com argamassas das paredes								x		x	x	x	
Avaliação de resultados												x	
Elaboração de relatório													x
Elaboração de artigos e material didático													x

Como atividades preliminares, foram realizadas reuniões com o Prof. Paulo Lourenço para conhecer as instalações físicas da Universidade do Minho, os laboratórios e equipamentos disponíveis, o local de trabalho e o acesso aos materiais bibliográficos. Foram também contactados técnicos para conhecer a dinâmica de trabalho dos laboratórios, principalmente no que tange à disponibilidade e reserva de equipamentos, locais de armazenamento, utilização de moldes e ferramentas e apoio para execução da pesquisa.

A disponibilidade de equipamentos, de técnicos e de locais de armazenamento das paredes definiu as datas de execução e de testes das paredes. Em média, o peso das paredes destinadas ao *pull out* era de uma tonelada, o que demandava ajuda de um técnico para o transporte das mesmas.

Ao comparar os dois cronogramas, observam-se dois aspectos fundamentais: i) a modelagem estrutural não foi realizada pela pesquisadora, e sim por um aluno de Erasmus da Universidade de Brescia, Itália, Marco Ferrarini, que por sugestão de Prof. Paulo Lourenço desenvolveu dissertação de mestrado nesse tema e utilizou os dados dos ensaios; ii) alguns ensaios propostos como os sônicos e de durabilidade não foram executados. Os primeiros por não se adequarem ao que foi desenvolvido e o segundo pela indisponibilidade de tanques. Destaca-se que foram realizados outros ensaios não previstos para caracterização de alvenarias. A descrição das atividades constantes no cronograma já foi abordada no decorrer deste relatório. Adicionalmente, foram feitas várias reuniões com o supervisor, indispensáveis para o andamento dos trabalhos.

Ressaltam-se dois aspectos importantes: a campanha experimental foi finalizada em 26 de fevereiro de 2016, portanto o presente relatório foi elaborado em março deste ano; e o item relativo à elaboração de trabalhos científicos e material para utilização nas aulas da graduação e pós-graduação será realizado no primeiro semestre de 2016.

6. AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são imensos. Em primeiro lugar, à CAPES por possibilitar minha ida e permanência em Guimarães e a realização de projeto de crescimento pessoal e profissional. Registro o compromisso de colocar em todas as publicações este apoio e gratidão. Agradeço também ao Prof. Paulo Lourenço que me aceitou para fazer parte de uma equipe ímpar e poder desenvolver o estágio pós-doutoral no Departamento de Estruturas de Engenharia Civil, da Universidade do Minho, por ele coordenado. Suas orientações e contribuições foram

importantes para o desenvolvimento do estudo proposto. Agradeço também ao Eng. Marco Jorge, coordenador do LEST, e ao técnico Sr. Antônio Matos, também do LEST (Fig. 96), cujos apoios foram imprescindíveis para a realização da pesquisa. Mesmo agradecimento ao Eng. Carlos Jesus, técnico do Laboratório de Materiais, que me apoiou na orientação para elaboração de argamassas e na execução de seus ensaios. Agradeço também a todos os professores, pesquisadores de pós-doutorado da Universidade do Minho, pessoas e empresas envolvidas, tais como a Hilti Portugal, que me ajudaram nesta empreitada. Por último, mas não menos importante, agradeço à Universidade Federal da Bahia, que me liberou para a capacitação profissional e da qual faço parte, com muito orgulho, como docente.



Fig. 96 – Último dia de trabalho e despedida de Sr. Matos

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Finalizo este relatório com a certeza do cumprimento dos objetivos propostos no projeto enviado à CAPES em 2014 para solicitação de estágio pós-doutoral. São eles:

- a) Aprofundar o conhecimento do estado da arte sobre desempenho das ligações estrutura metálica-alvenaria;
- b) Adquirir novos saberes em relação à normativa e à realização de ensaios em Portugal;
- c) Realizar treinamento com equipamentos específicos;
- d) Partilhar fundamentos com o país que já vem desenvolvendo esses estudos;
- e) Trazer as experiências para o NTPR (Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração), laboratório ao qual a pesquisadora é vinculada, e para a Universidade

Federal da Bahia e disseminá-las por meio de congressos, seminários e publicações, e em sala de aula⁵.

Após um exaustivo trabalho experimental e de capacitação técnico-científica, ressalta-se, por fim, a relevância da realização do estágio pós-doutoral não somente para a Ciência da Conservação e do Restauro, mas também para a Universidade Federal da Bahia e seu público-alvo, e para o desenvolvimento tecnológico.

REFERÊNCIAS

- ASTM C 1314 – 03b Standard Test Method for Compressive Strength of Masonry Prisms, ASTM International, Pennsylvania, United States, 2003.
- ASTM E 519-02 Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. ASTM International, Pennsylvania, United States, 2002.
- BS EN 1052-3 Methods of test for masonry - Part 3: Determination of initial shear strength, 2002.
- ETAG 001 Guideline of Metal Anchors for Use in Concrete. Brussels: EOTA European Organization for Technical Approvals, 1997.
- ETAG 029 Guideline of Metal Injection Anchors for Use in Masonry. Brussels: EOTA European Organization for Technical Approvals, 2013.
- RILEM LUMB 6 Diagonal Tensile Strength. Tests of Small Wall Specimens. RILEM, 1991.
- SEGURADO, J. E. DOS S. Alvenaria e cantaria. Lisboa: Livraria Bertrand, 1732.
- TR029 Design of Bonded Anchors. Brussels: EOTA European Organization for Technical Approvals, 2007.
- VEIGA, M. R. Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. Anais do 3º ENCORE – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa, Portugal, LNEC, maio de 2003.
- VEIGA, M. R.; SANTOS, A. R. As argamassas de cal hidráulica natural na reabilitação. Anais do 5º PATORREB – Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifício. Porto, Portugal, março de 2015.

⁵ Os conhecimentos adquiridos farão parte do conteúdo programático das disciplinas Sistemas II, de graduação, que contempla o dimensionamento de estruturas metálicas e suas ligações; e Tecnologia II, da pós-graduação, que compreende a verificação estrutural de elementos constitutivos de edificações históricas.