



Mestrado em Engenharia Civil – Construções Cívicas

Estabilidade de Paredes Duplas de Alvenaria

Ensaio de Eficiência do Grampeamento

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Ivo Miguel Freire Dias

Leiria, julho de 2016



Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

Estabilidade de Paredes Duplas de Alvenaria

Ensaio de Eficiência do Grampeamento

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Ivo Miguel Freire Dias

Dissertação de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Hugo Filipe Pinheiro Rodrigues, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Romeu Vicente, Professor Associado da Universidade de Aveiro.

Leiria, julho de 2016

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes.”

Marthin Luther King

Agradecimentos

Findado este capítulo da minha vida académica não poderia deixar de refletir sobre todos aqueles que me ajudaram e acompanharam na realização desta dissertação.

Apesar de se apresentar como um trabalho individual, esta dissertação é o resultado da colaboração de várias pessoas e entidades, pelo que, gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a concretização deste trabalho. De forma particular agradeço:

Ao meu orientador, Professor Doutor Hugo Rodrigues, pela sua dedicação, apoio e amizade incondicional e por todo o conhecimento transmitido, que se mostraram essenciais para a realização desta dissertação.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Romeu Vicente, pela ajuda e disponibilidade prestada no decorrer desta dissertação.

À Pré-lis, pelo fornecimento dos tijolos cerâmicos necessários ao desenvolvimento da campanha experimental.

À BIU Internacional, pelo fornecimento dos grampos indispensáveis à elaboração da campanha experimental.

Ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro por fornecer equipamentos fundamentais para a realização da campanha experimental.

À Engenheira Vânia Marques, Técnica de Laboratório da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, por todo o apoio, disponibilidade e paciência dispensados para a realização da campanha experimental.

Ao colega Engenheiro Micael Pedroso, indispensável à elaboração desta dissertação por de forma incondicional prestar apoio nas infindáveis horas passadas no laboratório, e também pelos momentos de descontração.

Ao colega Engenheiro Telmo Marques, por toda a ajuda dispensada em laboratório e também pelos momentos de descontração.

À colega Engenheira Nádia Batalha, por toda a ajuda dispensada em laboratório e também pelos momentos de descontração.

Agradecimentos

Ao colega Engenheiro João Baptista, pela sua presença em todos os momentos de ensaios e por todo o conhecimento transmitido.

À minha Família, especialmente aos meus pais, irmão e tio, que me apoiaram e ajudaram de forma incansável em todas as etapas desta dissertação.

Por último, gostaria de agradecer de uma forma muito especial à minha namorada, Alexandra Torcato, por me apoiar e ajudar de forma incondicional em todos os momentos bons e menos bons.

Muito Obrigado a todos.

Resumo

As paredes de alvenaria não-resistentes têm sido, ao longo do tempo, amplamente utilizadas em fachadas, principalmente como material de enchimento. Este tipo de paredes detêm um papel de elevada importância em sistemas complexos como são os edifícios, uma vez que, separam o interior do ambiente exterior desempenhando um papel chave no desempenho dos edifícios, bem como no conforto dos seus utilizadores.

Numa tentativa de aumentar a eficiência energética dos edifícios, vários países têm vindo a utilizar paredes duplas de alvenaria, a fim de criar caixas de ar ou espaços para colocar materiais de isolamento. No entanto, se este tipo de construção não for bem aplicado pode conduzir a patologias ou até mesmo ao colapso das paredes para fora do plano, particularmente devido a forças extremas como os sismos.

Esta dissertação tem como objetivo apresentar uma campanha experimental que foi desenvolvida, a fim de investigar a influência do grampeamento em paredes duplas de alvenaria quando submetidas a cargas de compressão. Durante o estudo foram construídos diferentes provetes de paredes duplas de alvenaria onde foram aplicados diferentes tipos e quantidades de grampos. Para além disso, os grampos foram colocados em diferentes posições nas paredes, levando a uma quantidade significativa de variáveis.

As cargas axiais aplicadas nos provetes, com o uso de um macaco hidráulico, serviram para averiguar e avaliar o número ideal e posição dos grampos contribuindo, portanto, para entender o cuidado necessário na construção de paredes duplas de alvenaria.

Palavras-chave: alvenaria, paredes duplas, alvenaria não-resistente, grampos, ensaios experimentais.

Abstract

Non-loadbearing masonry walls have been, over time, widely used in buildings facades primarily as filling material. This type of walls represents an important part within the systems existing in buildings, because they separate the inside from the outside environment playing a key role in performance as well as comfort to the edifice users.

In an attempt to increase buildings energy efficiency, several countries have been using double-leaf masonry walls in order to create air voids or spaces to contain insulation materials. However, if this kind of construction is not well performed it may lead to pathologies or even the collapse of the walls to out of the plane particularly due to extreme forces such as earthquakes.

This thesis aims to describe an experimental research that was developed in order to investigate the influence of the tying in double-leaf masonry walls when subjected to compressive loads. During the study different specimens of double-leaf masonry walls were built with the incorporation of different types and quantities of ties. Additionally, those ties were placed in different positions in the walls leading to a significant amount of variables.

Axial loads imposed over the built specimens with the use of a hydraulic jack serve the purpose of investigate and assess the ideal number and position of ties. Contributing therefore to understand the carefulness needed when building double-leaf masonry walls.

Keywords: masonry, double-leaf, non-loadbearing walls, ties, tests

Índice

Agradecimentos	<i>iii</i>
Resumo	<i>v</i>
Abstract	<i>vii</i>
Índice	<i>ix</i>
Lista de figuras	<i>xiii</i>
Lista de tabelas	<i>xix</i>
1. INTRODUÇÃO	<i>1</i>
1.1. Enquadramento	<i>1</i>
1.2. Objetivos	<i>2</i>
1.3. Organização da dissertação	<i>2</i>
2. CONSTRUÇÃO COM ALVENARIA	<i>5</i>
2.1. Introdução	<i>5</i>
2.2. História da alvenaria	<i>6</i>
2.3. Constituintes de alvenarias de enchimento de envolvente externa	<i>8</i>
2.3.1. Tijolos Cerâmicos	<i>8</i>
2.3.2. Argamassa de assentamento	<i>10</i>
2.3.3. Acessórios para paredes de alvenaria de enchimento	<i>11</i>
2.4. Correção de pontes térmicas	<i>13</i>
2.5. Efeito da alvenaria de enchimento na resposta sísmica de edifícios em betão armado	<i>15</i>
2.6. Síntese	<i>16</i>
3. ESTUDOS PRÉVIOS E NORMAS	<i>17</i>
3.1. Introdução	<i>17</i>
3.2. Avaliação das condições de assentamento em muretes de alvenaria	<i>18</i>
3.3. Avaliação da abertura de roços em provetes de alvenaria	<i>19</i>
3.4. Comportamento fora do plano de paredes de alvenaria com diferentes condições de apoio	<i>20</i>
3.5. Comportamento para fora do plano de paredes de alvenaria	<i>21</i>
3.6. Soluções de reabilitação com grampos	<i>22</i>

3.7. Caracterização de ligadores em paredes de tijolo face à vista	23
3.8. Eurocódigo 6	24
3.9. Eurocódigo 8	24
3.10. Síntese	25
4. CAMPANHA EXPERIMENTAL	27
4.1. Introdução	27
4.2. Provetes	28
4.2.1. Geometria e Tipologia dos Provetes	29
4.2.2. Construção dos Provetes	32
4.3. Caracterização do Materiais	36
4.3.1. Caracterização dos Tijolos	36
4.3.1.1. Resistência Mecânica	37
4.3.2. Caracterização das Argamassas	39
4.3.2.1. Resistência à Flexão	40
4.3.2.2. Resistência à Compressão	42
4.3.3. Caracterização dos Grampos	43
4.4. Esquema de ensaio e instrumentação	44
4.4.1. Esquema de ensaio	44
4.4.2. Instrumentação	46
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS	51
5.1. Introdução	51
5.2. Resultados das paredes simples de alvenaria	53
5.2.1. Provede PSA-1	53
5.2.2. Provede PSA-2	56
5.2.3. Síntese dos resultados das paredes simples de alvenaria	58
5.3. Resultados das paredes duplas de alvenaria	59
5.3.1. Provede PDA-1	60
5.3.2. Provede PDA-2	63
5.3.3. Provede PDA-3	65
5.3.4. Provede PDA-4	68
5.3.5. Provede PDA-5	71
5.3.6. Provede PDA-6	74

5.3.7. Síntese dos resultados dos ensaios das paredes duplas de alvenaria	76
6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	81
6.1. Introdução	81
6.2. Conclusão	82
6.3. Trabalhos futuros	83
Bibliografia	84

Lista de figuras

- Figura 1 - Exemplo do colapso para fora do plano de paredes de alvenaria (Lourenço, P. *et al.*, 2011) 2
- Figura 2 - Pirâmide antigo Egito 6
- Figura 3 - Grande muralha da China 6
- Figura 4 - Mosteiro da Batalha 7
- Figura 5 - Evolução dos sistemas construtivos de paredes de alvenaria de enchimento durante o século XX em Portugal (Pereira, M., 2010) 8
- Figura 6 - Tipos de grampos em aço (APICER, 2000) 12
- Figura 7 - Inexistência de correção de pontes térmicas ao nível da laje 13
- Figura 8 - Soluções típicas de correção de pontes térmicas ao nível das vigas ou lajes (Vicente, R. *et al.*, 2010) 14
- Figura 9 - Distribuição dos tipos de paredes de alvenaria de enchimento exterior ao longo dos anos (Pereira, M., 2010) 14
- Figura 10 - Fissuração provocada por danos no plano (Vicente, R. *et al.*, 2010) 15
- Figura 11 - Colapso de paredes de enchimento para fora do plano (Lourenço, P. *et al.*, 2011) 15
- Figura 12 - Geometria e instrumentação de todos os provetes 18
- Figura 13 - Provetes com roços a ensaiar (Soares, F., 2012) 19
- Figura 14 - Aspeto geral do esquema de ensaio 20
- Figura 15 - Comportamento do provete em função da carga aplicada e deformação (Dawe, J., Seah, C., 1988) 22
- Figura 16 - Ensaio de arrancamento de grampos (Ribeiro, S., 2013) 23
- Figura 17 - Amostra dos provetes construídos 28
- Figura 18 - Provede PSA-1 29
- Figura 19 - Provede PSA-2 30
- Figura 20 - Provetes PDA-1 e PDA-2 30

Figura 21 - Provete PDA-3	31
Figura 22 - Provete PDA-4	31
Figura 23 - Provete PDA-5	32
Figura 24 - Provete PDA-6	32
Figura 25 - Preparação da argamassa de assentamento	33
Figura 26 - Base para construção das paredes	34
Figura 27 - Movimentação das paredes	34
Figura 28 - Aplicação de argamassa nas laterais dos tijolos	34
Figura 29 - Preenchimento das juntas verticais	34
Figura 30 - Grampos aplicados nas paredes	35
Figura 31 - Aplicação das armaduras	35
Figura 32 - Aplicação da calda de regularização no topo da parede	35
Figura 33 - Tijolo cerâmico 30×20×11	36
Figura 34 - Tijolo cerâmico 30×20×15	36
Figura 35 - Equipamento para o ensaio à compressão dos tijolos	37
Figura 36 - Rotura dos tijolos por colapso parcial dos septos	39
Figura 37 - Rotura dos tijolos por fissuração dos septos	39
Figura 38 - Provetes de argamassa de assentamento	40
Figura 40 – Rotura do provete de argamassa	40
Figura 39 - Ensaio à flexão dos provetes de argamassa	40
Figura 41 - Ensaio à compressão dos provetes de argamassa de assentamento	42
Figura 42 - Grampo com pingadeira	43
Figura 43 - Armadura “Murfor” em forma de treliça	44
Figura 44 - Esquema de ensaio, vista geral	45
Figura 45 – Utilização da forra cerâmica para demonstrar o apoio parcial na base da parede de alvenaria	46

- Figura 46 - Utilização da forra cerâmica para demonstrar a aplicação parcial da carga no topo da parede de alvenaria 46
- Figura 47 - Esquema de colocação dos LVDT's nas paredes simples de alvenaria 46
- Figura 48 - Pormenor de fixação dos LVDT's verticais 47
- Figura 49 - Esquema de colocação dos LVDT's nas paredes duplas de alvenaria 47
- Figura 50 - Sistema de medição da rotação da base da parede 48
- Figura 51 - Preparação dos extensómetros 48
- Figura 52 - Grampo instrumentado com extensómetro 48
- Figura 53 - Equipamento de aquisição de dados, *Data Logger* 49
- Figura 54 - Exemplo do reajuste do gráfico carga vs deslocamento 52
- Figura 55 - Carga vs. Deslocamento do atuador, provete PSA-1 54
- Figura 56 - 1ª Rotura dos septos exteriores dos tijolos da base da parede 54
- Figura 57 - Rotura total da base da parede 54
- Figura 58 - Comparação da deformação vertical da parede com o tipo de carregamento, provete PSA-1 55
- Figura 59 - Tensão vs. Deformação vertical da parede, provete PSA-1 55
- Figura 60 - Carga vs. Deslocamento do atuador, provete PSA-2 56
- Figura 61 - Rotura dos tijolos na base da parede 56
- Figura 62 - Comparação da deformação vertical da parede com o tipo de carregamento, provete PSA-2 57
- Figura 63 - Tensão vs. Deformação vertical da parede, provete PSA-2 57
- Figura 64 - Comparação das cargas máximas admitidas entre os provetes PSA-1 e PSA-2 58
- Figura 65 - Comparação tensão vs. deformação da parede entre os provetes PSA-1 e PSA-2 59
- Figura 66 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-1 60
- Figura 67 - Fissuração dos septos dos tijolos do pano de tijolos de 30×20×11 61

Figura 68 – Momento do colapso para fora do plano dos dois panos de alvenaria	61
Figura 69 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-1	61
Figura 70 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-1	62
Figura 71 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria	62
Figura 72 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-2	63
Figura 73 - Rotura da base dos panos de alvenaria	63
Figura 74 - Momento do colapso para fora do plano do pano semi-apoiado	63
Figura 75 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-2	64
Figura 76 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-2	64
Figura 77 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-3	65
Figura 78 - Momento do colapso para fora do plano do conjunto	66
Figura 79 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-3	66
Figura 80 - Estado dos grampos após o colapso	66
Figura 81 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-3	66
Figura 82 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria	67
Figura 83 - Evolução da extensão dos grampos ao longo do carregamento	68
Figura 84 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-4	69
Figura 85 - Rotura dos septos dos tijolos no topo do pano de tijolo 30×20×11	69
Figura 86 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-4	69
Figura 87 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-4	70
Figura 88 - Evolução da extensão dos grampos ao longo do carregamento	71
Figura 89 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-5	72
Figura 90 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-5	72
Figura 91 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-5	73
Figura 92 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria, provete PDA-5	73
Figura 93 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-6	74

- Figura 94 - Fissuração dos tijolos durante o ensaio 75
- Figura 95 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-6 75
- Figura 96 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-6 75
- Figura 97 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria, provete PDA-6 76
- Figura 98 - Comparação das cargas máximas admitidas entre os provetes de alvenaria dupla
77
- Figura 99 - Comparação das cargas vs. deslocamentos do atuador para cada provete 78
- Figura 100 - Resumo da carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado de todos os provetes
com paredes duplas de alvenaria 79
- Figura 101 - Resultado final dos ensaios aos provetes sem grampos PDA-1 e PDA-2 79
- Figura 102 - Resultado final dos ensaios aos provetes com grampos PDA-3, PDA-4, PDA-5
e PDA-6, respetivamente 80

Lista de tabelas

Tabela 1 – Características dos tijolos cerâmicos de furação horizontal correntes em Portugal (Sousa, H., 2002)	9
Tabela 2 – Relação entre classes de resistência e traços volumétricos propostos pelo EC6 (CEN, 2005)	11
Tabela 3 - Resumo dos provetes ensaiados por Dawe e Seah (Dawe, J.,Seah, C., 1988) ...	21
Tabela 4 - Valores de resistência à compressão dos tijolos de 30×20×11	38
Tabela 5 - Valores de resistência à compressão dos tijolos de 30×20×15	38
Tabela 6 - Valores de resistência à flexão dos provetes de argamassa.....	41
Tabela 7 - Valores de resistência à compressão dos provetes de argamassa.....	43

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

As alvenarias exteriores de enchimento constituem um dos elementos construtivos mais importantes nos edifícios dado que, separam o ambiente interior do exterior, tornando-se assim decisivas para o desempenho dos mesmos.

Em Portugal, estima-se que cerca de 21 % das patologias identificadas em edifícios sejam decorrentes das paredes de alvenaria exterior (Sousa, H., 2002). A conceção das paredes de alvenaria está associada ao projeto geral de arquitetura e é tipicamente da responsabilidade dos arquitetos, não sendo habitual a existência de um “projeto” de alvenaria que estabeleça os pormenores construtivos referentes às alvenarias, como a especificação dos materiais a utilizar, características, pormenores de execução e representação dos pontos singulares (Sousa, H., 2002).

No contexto do que foi mencionado anteriormente e dado que estas detêm uma elevada importância no comportamento da estrutura de um edifício, torna-se indispensável considerar as alvenarias de enchimento como elementos condicionantes do bom funcionamento das estruturas. Assim sendo, caso estes fenómenos não sejam tidos em consideração, as paredes de enchimento poderão sofrer danos e possivelmente colapsar para fora do plano aquando da ocorrência de ações externas como sismos ou ventos extremos. Neste sentido, torna-se provável que a utilização de grampos nas alvenarias de enchimento, possa mitigar danos bastante graves ou levar mesmo à perda de vidas humanas, como se encontra ilustrado na Figura 1 (Lourenço, P. *et al.*, 2011; Vicente, R. *et al.*, 2010).



Figura 1 - Exemplo do colapso para fora do plano de paredes de alvenaria (Lourenço, P. *et al.*, 2011)

1.2. Objetivos

Tendo em conta os pressupostos acima referidos e dado o escasso número de estudos sobre o presente tema, esta dissertação pretende dar contributo à avaliação da eficiência do grampeamento na estabilidade de paredes de alvenaria, recorrendo a ensaios experimentais de provetes de paredes duplas de alvenaria grampeada, assumido várias configurações e quantidade de grampos.

Em suma, pretende-se com a presente dissertação:

- Caracterizar os materiais constituintes das paredes de alvenaria a ensaiar;
- Ensaiar e analisar o comportamento das paredes duplas de alvenaria com grampos quando sujeitas a carregamentos de compressão vertical.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em seis capítulos, com a seguinte ordem e conteúdos:

No **Capítulo 1** é introduzido o enquadramento do tema a que se refere a dissertação bem como os objetivos a que esta se propõe.

No **Capítulo 2** é apresentada a construção com alvenaria iniciando com um breve resumo da história da sua evolução. Posteriormente, são caracterizadas as paredes de alvenaria de enchimento de envolvente externa, apresentando os vários materiais que as constituem, assim como a descrição dos processos de correção de pontes térmicas e as consequências que daí advêm. Por último, é descrito o efeito das paredes de alvenaria de enchimento no comportamento de edifícios em betão.

No **Capítulo 3** são mencionados os estudos e normas inerentes à temática da dissertação.

No **Capítulo 4** é abordada a campanha experimental executada em laboratório ao longo do desenvolvimento desta dissertação, explicando a configuração dos provetes a ensaiar, bem como o método utilizado na construção dos mesmos. Seguidamente, são caracterizados os materiais constituintes dos provetes e o esquema de ensaio utilizado.

No **Capítulo 5** são apresentados os resultados decorrentes das duas fases de ensaios realizadas em laboratório, sob a forma de tabelas, gráficos e registo fotográfico. Por fim, é efetuada uma análise crítica aos resultados experimentais obtidos, procurando compreender, de entre vários fenómenos, a influência do grampeamento na estabilidade das paredes.

Por último, no **Capítulo 6**, expõem-se as conclusões finais obtidas e possíveis sugestões de trabalhos a realizar futuramente.

2. CONSTRUÇÃO COM ALVENARIA

2.1. Introdução

A alvenaria tem sido, ao longo dos tempos, amplamente utilizada em edifícios, principalmente como material de vedação, divisão e enchimento. Em Portugal, existe uma grande diversidade de tipologias e sistemas construtivos de alvenarias de enchimento, variando em grande parte pelo tipo de unidades de alvenaria empregues e materiais de isolamento associados às alvenarias.

As alvenarias de enchimento constituem um dos sistemas mais importantes presente nos edifícios, separando o ambiente interior do exterior e desempenhando um papel preponderante no desempenho e conforto dos mesmos. Apesar da sua inegável importância, as alvenarias são, de um modo geral, objeto de poucos cuidados durante o dimensionamento e execução do projeto em que se enquadram, sendo comumente desprezados os seus pormenores construtivos e a sua contribuição estrutural para o edifício. É devido a estes fatores, e à falta de investigação, que o subsistema alvenarias apresenta maus desempenhos e consequentemente anomalias (Varum, H. *et al.*, 2011).

Com a investigação e desenvolvimento que se têm vindo a verificar na área da engenharia civil, mais concretamente na área da engenharia sísmica, tem-se observado que as estruturas edificadas em Portugal sofrem de graves insuficiências de resistência. Encontrando-se estas últimas, geralmente correlacionadas à adoção de materiais e técnicas

de construção desadequadas, assim como à falta de fiscalização na execução da obra e manutenção da mesma (Varum, H. *et al.*, 2011).

Assim, pretende-se com o presente capítulo introduzir o conceito de alvenaria, enquadrando os trabalhos experimentais desenvolvidos ao longo desta dissertação e efetuando uma breve apresentação da história da alvenaria, os métodos atuais de construção e a vulnerabilidade da mesma perante ações sísmicas.

2.2. História da alvenaria

Desde a antiguidade que a alvenaria tem assumido um papel decisivo como método de construção em habitações, garantindo facilidade e eficiência na execução. São exemplos deste tipo de técnica as pirâmides do Antigo Egito, Figura 2, ou a grande muralha da China com mais de 6000 Km, Figura 3.



Figura 2 - Pirâmide antigo Egito



Figura 3 - Grande muralha da China

Pensa-se que os primeiros métodos construtivos em alvenaria sejam datados de 10 000 anos a.C. e que tenham sido desenvolvidos pelos povos assírios e persas com recurso a tijolos queimados ao sol, que a partir de 3 000 a.C., passaram a ser cozidos em fornos. Mais tarde, nos séculos XII a XVII, as grandes catedrais, Figura 4, e castelos tornaram-se exemplos da utilização da alvenaria como elemento estrutural de edifícios de grande altura. Como construções típicas do século XIX podem mencionar-se os palacetes e solares, cujas características ainda hoje transparecem as peculiaridades da época em Portugal (Oliveira, F., 2001; Pinho, F., 2007).



Figura 4 - Mosteiro da Batalha

Contudo, as construções eram até então edificadas com base em métodos empíricos e conceções estruturais intuitivas que dependiam do conhecimento e experiência dos mestres e trabalhadores, o que esclarece o facto de edifícios antigos conterem paredes com espessuras muito variáveis desde os 0,30 m até 1,30 m (Oliveira, F., 2001).

No que concerne ao panorama nacional, as paredes de alvenaria sofreram um avanço significativo no século XX, Figura 5, perdendo a sua função estrutural com a introdução da construção em betão armado. Nos anos 40, a execução de alvenarias de enchimento cingia-se à construção de paredes de alvenaria ordinária (alvenaria em pedra) de grandes espessuras. Posteriormente, nos anos 50, introduziu-se pela primeira vez o tijolo cerâmico de furação horizontal, frequentemente utilizado na construção de paredes duplas, sendo que, no exterior se mantinha a tradicional pedra e no interior se introduzia a utilização do tijolo cerâmico. Nos anos 60, a pedra constituinte do pano exterior das alvenarias deu lugar ao tijolo espesso cerâmico de furação horizontal, tendo sido, mais tarde, nos anos 70, a espessura deste diminuída. Nos anos 80, surgiram as primeiras paredes duplas de alvenaria de enchimento com caixa de ar e isolamento térmico. Desde os anos 90 até à atualidade, tem-se assistido à substituição da construção de paredes duplas de alvenaria, por meio da edificação de paredes simples de tijolo associadas a sistemas de isolamento térmico, designadamente sistemas ETICS (External Thermal Insulation Composite System) (Pereira, M., 2005, 2010).

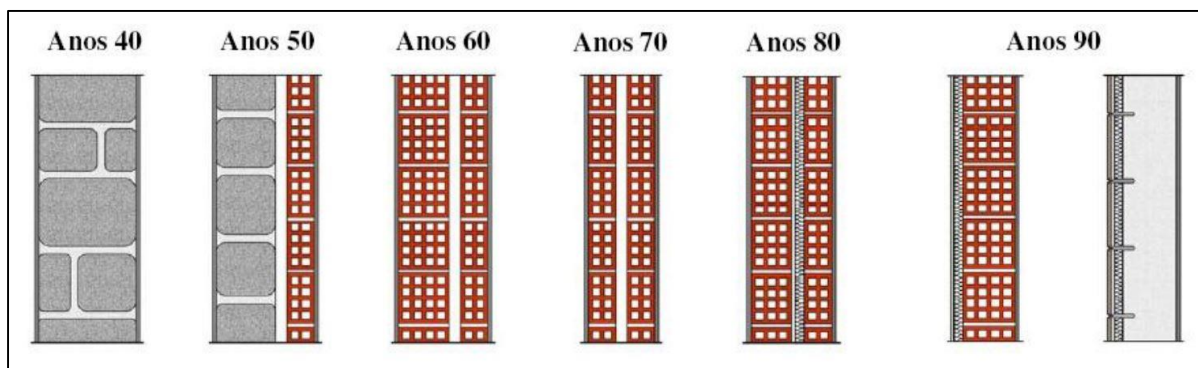


Figura 5 - Evolução dos sistemas construtivos de paredes de alvenaria de enchimento durante o século XX em Portugal (Pereira, M., 2010)

2.3. Constituintes de alvenarias de enchimento de envolvente externa

No que diz respeito à execução de paredes de alvenaria de enchimento comuns, podem referir-se dois componentes indispensáveis à sua construção: os elementos ou unidades de alvenaria (tijolos) e a argamassa de assentamento responsável pela aglutinação das unidades de alvenaria. Para além dos anteriores, existem ainda acessórios que podem ser aplicados durante a construção das alvenarias, funcionando como mecanismos de união entre, por exemplo, dois panos de alvenaria ou na ligação das alvenarias à estrutura em betão como se poderá constatar no decorrer desta dissertação.

2.3.1. Tijolos Cerâmicos







Atualmente, em Portugal, a construção das paredes de enchimento em edifícios, contempla a utilização de vários tipos de unidades de alvenaria, como os tijolos cerâmicos de furação horizontal, os tijolos cerâmicos para aplicação à vista, os blocos de betão leves e de agregados e mais recentemente, os tijolos cerâmicos de furação vertical, comumente denominados tijolos térmicos.

Os tijolos cerâmicos de furação horizontal encontram-se entre os elementos mais utilizados na construção de paredes, devendo a sua cota, no conjunto de vários elementos

para alvenaria, representar cerca de 90 % dos tipos de tijolos que foram utilizados em Portugal (Pereira, M., 2005; Sousa, H., 2002).

Na Tabela 1 apresentam-se as características de maior relevância dos tijolos cerâmicos de furação horizontal mais usuais no mercado português, nomeadamente dimensões, peso aproximado, percentagem de furação e resistência à compressão.

Tabela 1 – Características dos tijolos cerâmicos de furação horizontal correntes em Portugal (Sousa, H., 2002)

Formas	Dimensões (cm)	Peso Aproximado (Kg)	Furação (%)	Resistência à Compressão (MPa)
	30×20×22	7,0-11,0	55-70	1,9-3,9
	30×20×15	5,0-7,0	50-65	2,5-4,9
	30×20×11	4,0-6,0	50-65	2,8-5,2
	30×20×9	3,5-5,5	40-60	3,0-5,7
	30×20×7	3,0-5,0	40-60	3,7-7,0
	30×20×4	2,0-3,0	40-50	6,0-7,0

O tijolo cerâmico é um produto técnico relativamente ao qual são exigidas determinadas características e comportamentos em obra e, por isso mesmo, deverá encontrar-se sujeito a disposições regulamentares e especificações próprias. De entre as diversas normas que regem o fabrico e controlo das unidades de alvenaria, pode destacar-se a norma europeia EN 772-1 (CEN, 2002b), que está dividida em vários capítulos, desde as especificações de características e tolerâncias admissíveis até à normalização dos vários métodos de ensaio para os elementos de alvenaria.

2.3.2. Argamassa de assentamento

A argamassa é um material heterogéneo, constituído por agregados finos e por um composto aglomerante. Detém a propriedade de aderir a materiais porosos e de endurecer após um determinado intervalo de tempo.

Apesar das argamassas de assentamento representarem cerca de 2 a 16 % do volume total de alvenaria, estas detêm uma influência muito elevada no desempenho da mesma, bastante mais acentuada do que a percentagem possa indicar (Pereira, M. *et al.*, 2010). No que diz respeito à finalidade de utilização, este componente garante a ligação dos elementos de alvenaria entre si, distribui uniformemente as tensões, acomoda as deformações, garante a estanquidade ao ar e à humidade, sela as juntas quando a alvenaria é aparente e liga-se a outros constituintes e componentes (Pereira, M., 2005; Sousa, H., 2003).

Em termos construtivos e mecânicos, a sua resistência é condicionante. Já aquando da resistência à compressão da alvenaria a sua contribuição torna-se diminuta quando comparada com a dos restantes elementos.

Na tabela a seguir exposta, Tabela 2, apresentam-se diversas recomendações de composição de argamassa propostas pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005). A presente norma estabelece cinco classes de resistência (M2, M5, M10, M15 e M20) baseadas na resistência mínima à compressão da argamassa aos 28 dias. Segundo vários autores e manuais de construção de alvenarias não estruturais (APICER, 2000; Sousa, H., 2003) a classe ideal para a argamassa de assentamento é a classe M5 ou M10.

Tabela 2 – Relação entre classes de resistência e traços volumétricos propostos pelo EC6 (CEN, 2005)

Classe	Traço volumétrico aproximado			Tensão mínima de rotura à compressão aos 28 dias (MPa)
	cimento	cal hidratada	areia	
M20	(composição a confirmar por ensaios)			20,0
M15	1	0 – ¼	3	15,0
M10	1	¼ – ½	4 – 4 ¼	10,0
M5	1	½ – 1 ¼	5 – 6	5,0
M2	1	½ – 1 ¼	8 – 9	2,0

À semelhança das unidades de alvenaria, também a argamassa de assentamento se encontra sujeita a ensaios de resistência mecânica. Uma das normas que rege este tipo de ensaios, e que será aplicada na caracterização das argamassas utilizadas na campanha experimental desta dissertação, é a norma EN1015-11 (CEN, 2002a).

2.3.3. Acessórios para paredes de alvenaria de enchimento

Na construção das paredes de alvenaria, existem vários pontos singulares que devem ser objeto de uma cuidada execução, uma vez que influenciam, de modo decisivo, o comportamento das paredes face a ações externas como o vento ou sismos (Pereira, M., 2005).

Contudo, a correção destes pontos singulares é muitas vezes menosprezada ou corrigida de forma deficiente, dado que as soluções atualmente existentes são de difícil e morosa aplicação e/ou requerem o acompanhamento da execução por parte de técnicos.

Os ligadores de paredes frequentemente denominados por grampos, destinam-se a garantir o funcionamento dos panos de uma parede de alvenaria dupla como um só. Os grampos asseguram a transmissão de possíveis ações do pano solicitado para o outro pano, parede de tardoz ou apoio. Seguidamente, apresentam-se alguns tipos destes acessórios que, quando aplicados corretamente, podem mitigar o aparecimento de anomalias e patologias.

Os grampos comercializados atualmente podem ser fabricados em plástico ou em aço. Os grampos plásticos têm como vantagem não possuírem suscetibilidade a processos de corrosão, todavia não possuem resistência ao fogo. Em relação aos grampos em aço e ao invés dos de plástico, estes são mais sensíveis a sofrer corrosão motivada não só pela humidade presente nas caixas-de-ar como também pela argamassa de assentamento, podendo este fenómeno ser travado através da galvanização ou revestimento epoxídico dos grampos (Pereira, M., 2005; Sousa, H., 2003).

Dentro do grupo dos grampos metálicos, estes podem ser classificados quanto à rigidez em:

- Rígidos;
- Semirrígidos;
- Flexíveis;
- Elásticos.

Correntemente os grampos maioritariamente aplicados em paredes duplas de alvenaria de enchimento são os semirrígidos (Figura 6 letra a) ou os flexíveis (Figura 6 letra b, c e d).

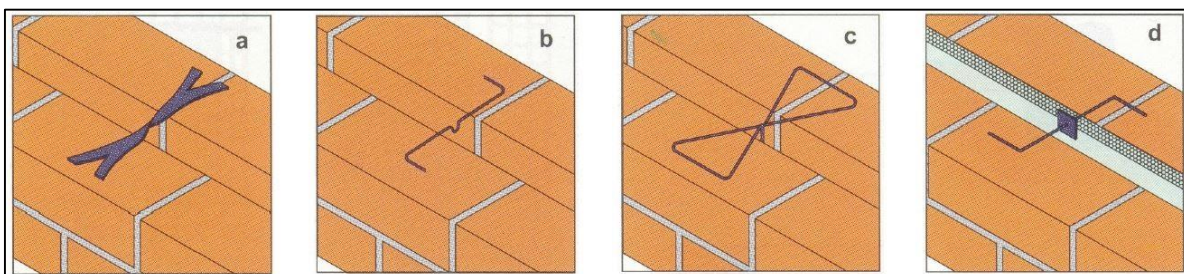


Figura 6 - Tipos de grampos em aço (APICER, 2000)

No que diz respeito à sua aplicação, os grampos devem ser colocados com inclinação para o exterior e, no caso de serem instalados na horizontal, devem dispor de pingadeiras que evitem qualquer escorrimento de água para o pano interior (APICER, 2000).

2.4. Correção de pontes térmicas

Tradicionalmente, as alvenarias de enchimento e de envolvente exterior, eram construídas entre os elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) dos edifícios, apresentando a mesma espessura que os próprios elementos estruturais (Figura 7). Este tipo de técnicas conduzia a uma considerável heterogeneidade térmica das fachadas (tipicamente com valores de U de $3,0 \text{ W/m}^2$ nos elementos de betão e $0,5-1,0 \text{ W/m}^2$ nas alvenarias de enchimento) criando assim pontes térmicas consideráveis (Vicente, R.,J., Mendes da Silva, 2006).



Figura 7 - Inexistência de correção de pontes térmicas ao nível da laje

Estas pontes térmicas têm como consequência o surgimento de condensações e bolores no interior dos edifícios, dado que a temperatura nas superfícies interiores das paredes de envolvente estão muitas das vezes abaixo da temperatura de condensação da água (Vicente, R.,J., Mendes da Silva, 2006).

Como solução para este problema, em 1990, em alternativa às soluções de revestimento térmico pelo exterior “ETICS”, o regulamento térmico português sugeriu a colocação de proteções térmicas nos elementos de betão criando assim um “envelope” fechado no edifício. Na Figura 8 encontram-se representadas as técnicas mais correntes de correção de pontes térmicas (Vicente, R.,J., Mendes da Silva, 2006).

A aceitação desta técnica e a sua respetiva aplicação, a partir da década de 90, foi enorme como demonstram os dados da Figura 9, que contempla a distribuição dos tipos de paredes de alvenaria de enchimento exterior ao longo dos anos (Pereira, M., 2010).

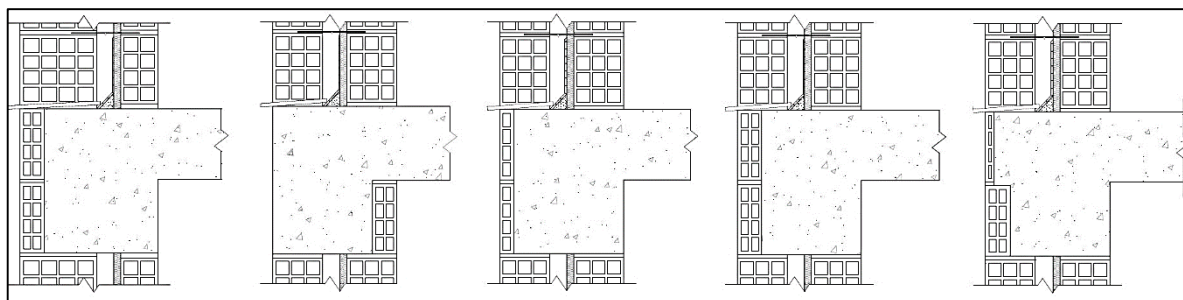


Figura 8 - Soluções típicas de correção de pontes térmicas ao nível das vigas ou lajes (Vicente, R. *et al.*, 2010)

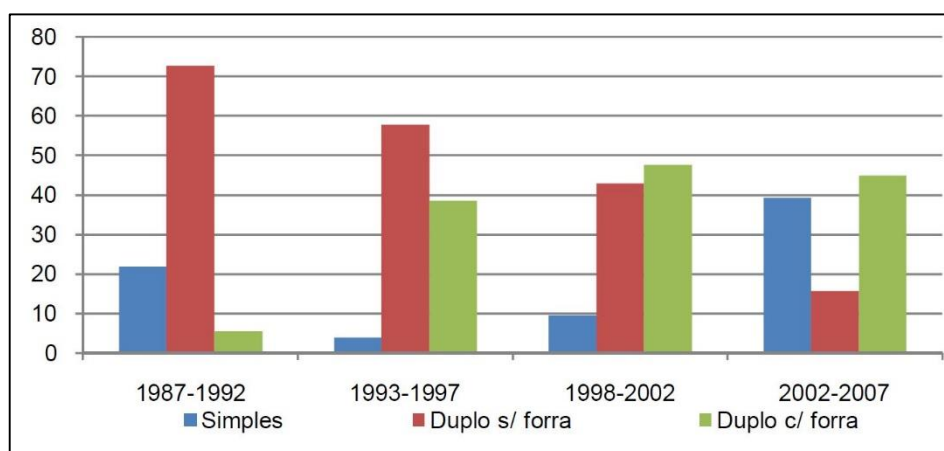


Figura 9 - Distribuição dos tipos de paredes de alvenaria de enchimento exterior ao longo dos anos (Pereira, M., 2010)

Porém esta solução pode, caso não seja executada com cuidado e em conjunto com outras técnicas, resultar em casos de fissuração grave e problemas de estabilidade (Vicente, R. *et al.*, 2010). Estas patologias e comportamentos podem ser explicados pelo facto de o pano exterior das paredes de envolvente externa estar parcialmente apoiado, resultando assim numa reduzida largura de apoio. Nestas condições, a fissuração e instabilidade podem ser críticas, mesmo para reduzidos valores de carregamento vertical de acordo com as condições de apoio (Vicente, R.,J., Mendes da Silva, 2006).

Para além disso, existem ainda outros fatores que, quando associados a condições de apoio deficientes, podem agravar a fissuração e instabilidade das alvenarias como é o caso do excessivo peso dos revestimentos exteriores, da ação do vento, da retração do edifício, das ações sísmicas e em destaque da ausência de grampos na união dos panos de alvenaria, fator este que está no foco desta dissertação (Vicente, R. *et al.*, 2010).

2.5. Efeito da alvenaria de enchimento na resposta sísmica de edifícios em betão armado

As paredes de alvenaria de enchimento de fachada são, como tem vindo a ser referido, utilizadas como barreira entre o ambiente exterior e a habitação. Todavia, apesar de não serem consideradas frequentemente como elementos estruturais, a sua presença influencia positiva ou negativamente o comportamento global de uma estrutura perante ações dinâmicas como os sismos (Rodrigues, H., 2005). Assim sendo, as paredes de alvenaria podem alterar características como a rigidez, a resistência, a massa e a capacidade de dissipação de energia da estrutura (Vicente, R. *et al.*, 2010).

Durante as ações sísmicas, as paredes de enchimento podem sofrer danos que surgem como resultado da interação entre a estrutura e as próprias paredes. Estes danos podem, de forma simplificada, ser classificados em dois tipos: fissuração e esmagamento no plano da parede ou colapso para fora do plano. No primeiro caso, verifica-se habitualmente fissurações e danos reduzidos ou inexistentes na estrutura resistente, cujos custos de reconstrução pós-sismo são elevados como se verifica na Figura 10. Já no segundo caso, são considerados os danos que provocam o colapso total ou parcial das paredes de envolvente, causando habitualmente a perda de vidas humanas e/ou bens materiais, fenómeno que se observa claramente na Figura 11 (Lourenço, P. *et al.*, 2011).



Figura 10 - Fissuração provocada por danos no plano (Vicente, R. *et al.*, 2010)



Figura 11 - Colapso de paredes de enchimento para fora do plano (Lourenço, P. *et al.*, 2011)

2.6. Síntese

No primeiro segmento do presente capítulo procurou efetuar-se uma breve abordagem histórica da construção em alvenaria mencionando alguns dos momentos essenciais do passado da alvenaria e da sua evolução até à atualidade. Posteriormente, no segundo segmento, caracterizaram-se as paredes de alvenaria de enchimento de envolvente externa, apresentando os vários materiais que as constituem, atribuindo especial consideração aos acessórios de alvenaria referindo os tipos de grampos, o que contribuiu para a tomada de decisão relativa aos materiais a utilizar na campanha experimental descrita na presente dissertação.

Para além do mencionado, foram ainda descritos os métodos de correção de pontes térmicas utilizados em Portugal e identificados os mais usuais. A correção das pontes térmicas assume um caráter de elevada relevância para esta dissertação dado que esta situação é uma das causas de instabilidade nas paredes de alvenaria de enchimento exterior.

Por último, efetuou-se uma sumária análise da influência das paredes de alvenaria de enchimento no comportamento de edifícios em betão e procurou conhecer-se quais as consequências inerentes à ausência de planeamento e projeto na execução de alvenarias durante a ocorrência de ações exteriores como os sismos.

3. ESTUDOS PRÉVIOS E NORMAS

3.1. Introdução

A alvenaria de enchimento é comumente utilizada em edifícios de betão armado como paredes divisórias, quer a nível interno como a nível externo. Apesar de não serem considerados elementos estruturais, é reconhecida a sua influência, positiva ou negativa, no comportamento dos edifícios em betão armado quando sujeitos a ações extremas, por exemplo, sismos (Furtado, A. *et al.*, 2014). Os grandes esforços atuantes no plano das paredes de alvenaria de enchimento são, aquando da ocorrência de um sismo, suscetíveis de aumentar a vulnerabilidade para fora do plano e, conseqüentemente, os danos nas paredes (Furtado, A. *et al.*, 2014).

Com o intuito de perceber com maior afinco o comportamento das paredes de alvenaria quando conjugadas com edifícios de betão armado e auxiliar a tomada de decisão a nível de projeto e construção, têm vindo a ser realizados diferentes estudos, quer de carácter analítico quer de carácter experimental.

Pretende-se com o presente capítulo apresentar um breve resumo de alguns dos trabalhos que se têm vindo a desenvolver, particularmente no âmbito do comportamento fora do plano das alvenarias e do grampeamento das mesmas. Serão ainda descritos sucintamente alguns aspetos dos Eurocódigos 6 e 8 (CEN, 2005, 2010) relacionados diretamente com o tema da presente dissertação e com as paredes de alvenaria de enchimento em geral.

3.2. Avaliação das condições de assentamento em muretes de alvenaria

A investigação levada a cabo por (Vicente, R.,J., Mendes da Silva, 2006) deteve como propósito a análise do comportamento de um pano de alvenaria quando sujeito a vários tipos de carga e assente em diferentes tipos de apoio, simulando assim situações de existência de correção de pontes térmicas.

Nesta campanha laboratorial foram simulados 6 tipos de condições de apoio distintos (Figura 12), sendo que, para cada condição de apoio, procedeu-se ao ensaio de 3 provetes.

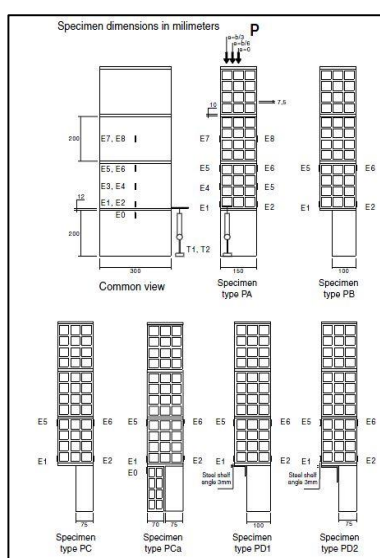


Figura 12 - Geometria e instrumentação de todos os provetes

Os provetes foram ensaiados à compressão até à rotura, com o intuito de perceber a influência dos diferentes tipos de apoios e de carga aplicados.

Assim, a fim de avaliar o comportamento da parede, foram selecionados diversos parâmetros: valores de carga instantânea e final (através de uma célula de carga), detetores de deslocamentos verticais em pontos fixos sobre as superfícies de ambos os lados do provete (usando medidores de tensão unidirecional) e deslocamentos em pontos monitorizados (usando transdutores de deslocamento).

A deteção de fissuras e tipos de falhas sofridas por cada provete com carga, só foi possível devido à filmagem do ensaio efetuada e à pintura prévia dos provetes com a cor branco claro.

Esta campanha laboratorial permitiu retirar informações importantes relativamente à influência dos vários tipos de apoios no comportamento das paredes de alvenaria de enchimento fora do plano. Os autores concluíram que a geometria dos tijolos cerâmicos e a sua heterogeneidade possuem uma elevada importância no que respeita à resistência final da alvenaria, à exceção de casos de reduções dos apoios ou de existência de cargas excêntricas.

3.3. Avaliação da abertura de roços em provetes de alvenaria

A investigação levada a cabo por (Soares, F., 2012) detinha como primordial objetivo a avaliação do comportamento mecânico das paredes de alvenaria de tijolo corrente quando sujeitas à abertura de roços dentro do limite imposto pelo Eurocódigo 6 (CEN, 2005).

Para a campanha laboratorial em questão, foram construídos doze provetes, nos quais o autor fez variar a forma e direção do roço (horizontal, vertical e inclinado) com a mesma profundidade. Para simular a realidade colocou-se um tubo anelado que foi, seguidamente, tapado com argamassa afigurando assim as tubagens colocadas em obra.



Figura 13 - Provetes com roços a ensaiar (Soares, F., 2012)

Todos os provetes foram ensaiados sob uma carga de compressão vertical controlada até a rotura. Através destes ensaios foi possível verificar que, como aguardado, os roços detêm uma grande influência na capacidade resistente das alvenarias diminuindo em muito a sua resistência.

3.4. Comportamento fora do plano de paredes de alvenaria com diferentes condições de apoio

A investigação levada a cabo por (Santos, L., 2016) possuía como finalidade compreender o comportamento para fora do plano de painéis de alvenaria de enchimento com diferentes condições de apoio.

No decorrer da campanha experimental executada pelo mencionado autor, foram construídas duas paredes à escala real confinadas em pórticos de betão armado, sobre as quais foram aplicadas, com recurso a *Airbags*, cargas cíclicas para fora do plano Figura 14. As variáveis impostas nos ensaios basearam-se no tipo de solicitações aplicadas nos pilares do pórtico de betão armado e na forma como o painel de alvenaria era apoiado no seu suporte. Assim, na presente campanha, enquanto um dos painéis foi assente na totalidade do pórtico, o outro apenas foi assente em dois terços da sua espessura.

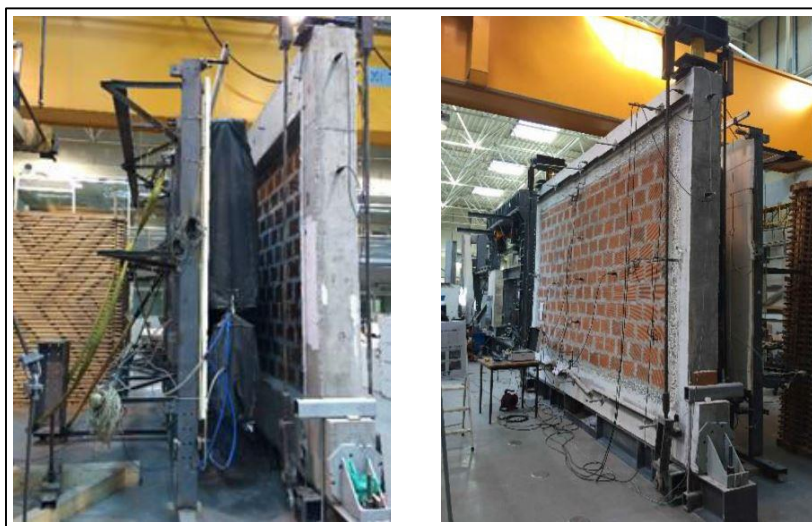


Figura 14 - Aspeto geral do esquema de ensaio

Finalizada a campanha experimental, o tratamento dos resultados obtidos permitiu retirar algumas conclusões, sendo de destacar, que a alteração das condições de apoio de um painel para o outro, levou a que a capacidade resistente do painel semi-apoiado fosse bastante inferior à verificada para os painéis que se encontravam totalmente apoiados.

3.5. Comportamento para fora do plano de paredes de alvenaria

Na investigação levada a cabo por (Dawe, J., Seah, C., 1988) foram considerados nove provetes com dimensões de 3,6×2,8 metros, sendo cada um dos quais constituído por alvenaria de blocos de betão com furação vertical inseridos num pórtico de aço. Todos os provetes foram sujeitos a uma carga aplicada na superfície da alvenaria, a qual aumentava uniformemente ao longo do tempo. A carga aplicada foi transmitida à alvenaria através de *Airbags* insufláveis anexados a um painel.

Este trabalho tinha como propósito efetuar a análise de diversos parâmetros, razão pela qual era utilizado um vasto número de provetes. Os provetes WE1 e WE2 foram preparados com o intuito de avaliar os efeitos do reforço das juntas horizontais da parede de alvenaria. O provete WE3, provete idêntico a WE1 e a WE2 mas seco, foi preparado com a finalidade de avaliar o contributo da tensão de tração das juntas de argamassa no painel de alvenaria. Os provetes WE4 e WE5 pretenderam avaliar o contributo da espessura. Já os provetes WE6, WE7 e WE8 detinham como fim a comparação de diferentes condições fronteira. Por último, o provete WE9 possuía uma abertura central. As características dos diversos provetes encontram-se descritas sob a forma de resumo na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo dos provetes ensaiados por Dawe e Seah (Dawe, J., Seah, C., 1988)

	WE1	WE2	WE3	WE4	WE5	WE6	WE7	WE8	WE9
Espessura (mm)	190	190	190	140	90	190	190	140	190
Junta	Reforçada	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Reforçada	Normal	Reforçada
Escorregamento	Livre	Livre	Livre	Livre	Impedido verticalmente	Impedido verticalmente	Impedido verticalmente	Impedido em todas as direções	Impedido em todas as direções
Nota	-	-	-	-	-	20 mm de espaçamento entre viga superior e painel	20 mm de espaçamento entre viga superior e painel	-	Abertura central

O procedimento de ensaio consistia na aplicação de uma pressão uniforme com incrementos graduais até à abertura da primeira fenda passando depois para incrementos maiores até ao final do ensaio. No fim da aplicação de cada incremento de carga, a pressão aplicada era mantida a um nível constante, estabilizando o sistema, para que as medições pudessem ser efetuadas.

Dos resultados experimentais obtidos concluiu-se que, em função da carga aplicada e da deformação obtida, o comportamento dos provetes podia ser dividido em quatro estados, Figura 15. O estado 1 é caracterizado por um comportamento linear elástico até à abertura da primeira fenda. O estado 2 consistia na propagação das fissuras iniciais e desenvolvimento da linha de rotura que iria caracterizar o mecanismo de colapso. O estado 3 é caracterizado pelo efeito de arco da alvenaria confinada, causando o aumento da carga até um nível superior ao que se aguardava face à comparação com os modelos numéricos. No estado 4 a carga diminui devido a um grau de fissuração, progressivamente superior, da parede de alvenaria, como resposta ao esmagamento por compressão e a parede colapsa.

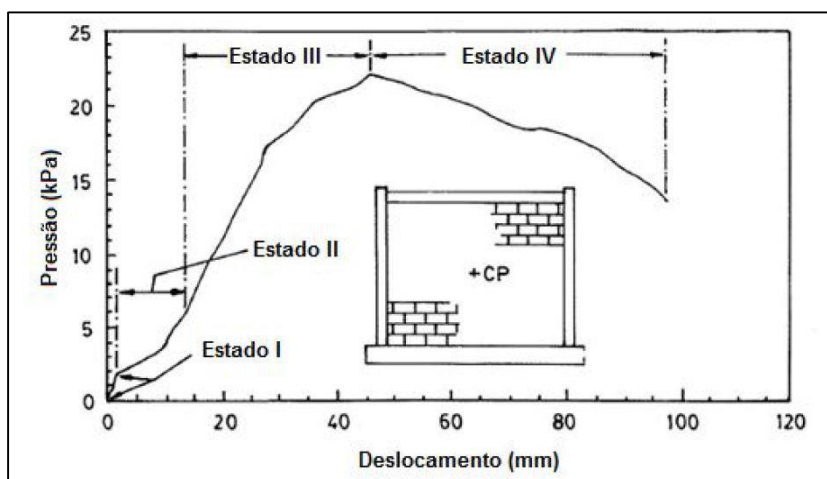


Figura 15 - Comportamento do provete em função da carga aplicada e deformação (Dawe, J., Seah, C., 1988)

3.6. Soluções de reabilitação com grampos

A campanha experimental levada a cabo por (Ribeiro, S., 2013) teve como propósito avaliar a eficiência de técnicas de intervenção utilizadas na reabilitação de fachadas de edifícios em alvenaria de tijolo corrente, especificamente o grampeamento pós-construção (Dryfix e CemenTie da HELIFIX®).

Numa primeira campanha realizaram-se ensaios em 120 provetes isolados, preparados com recurso a tijolos novos e a tijolos velhos, isto é, tijolos já anteriormente expostos a diferentes ciclos de temperatura e humidade, não possuindo assim a totalidade das suas características iniciais. Posteriormente, o autor procedeu à realização de uma segunda campanha em provetes-parede com as dimensões de 1,20×1,20m, com o fim de representar

a situação real onde se aplicaram as duas técnicas de grampeamento pós-construção e se efetuaram ensaios de arranque, Figura 16.

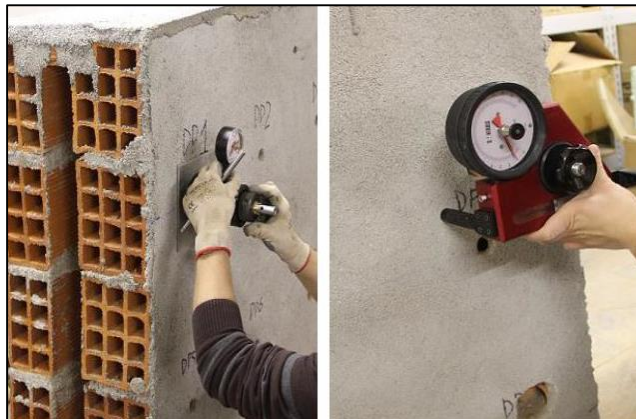


Figura 16 - Ensaio de arrancamento de grampos
(Ribeiro, S., 2013)

O autor em causa possuía os seguintes objetivos: avaliar as técnicas de reforço em ambiente laboratorial, avaliar a eficiência das soluções em provetes de tijolos novos e de tijolos velhos, avaliar a influência da execução das várias técnicas (forma de colocação das camisas, injeção de grout) sobre os resultados de ensaios de arranque, descrever e catalogar os tipos de rotura e o comportamento de ambas as técnicas (Ribeiro, S., 2013).

3.7. Caracterização de ligadores em paredes de tijolo face à vista

O estudo realizado por (Martins, A. *et al.*, 2016) focado em paredes de alvenaria de fachada, deteve como objetivo avaliar a influência de diferentes tipos de ligadores (grampos) no comportamento das paredes no seu plano e para fora dela, variando as características dos ligadores como espessura, geometria e rigidez.

Para tal, provetes de alvenaria com ligadores foram submetidos individualmente a carregamentos monotónicos de tração e cíclicos tração-compressão, simulando carregamentos para fora do plano das paredes de fachada

3.8. Eurocódigo 6

O Eurocódigo 6 (CEN, 2005) é uma norma europeia da responsabilidade do Comité Europeu de Normalização que visa unificar critérios e normativas de cálculo, dimensionamento e construção de estruturas de alvenaria.

A norma europeia divide-se em quatro partes:

- NP 1996-1-1 - Eurocódigo 6: Projeto de estruturas de alvenaria. Parte 1-1: Regras gerais para edifícios. Regras para alvenaria armada e não armada;
- NP 1996-1-2 - Eurocódigo 6: Projeto de estruturas de alvenaria. Parte 1-2: Regras gerais. Verificação da resistência ao fogo;
- NP 1996-2 - Eurocódigo 6: Conceção de estruturas de alvenaria. Parte 2: Conceção, seleção de materiais e execução de obras de alvenaria.
- NP 1996-3 - Eurocódigo 6: Conceção de estruturas de alvenaria. Parte 3: Métodos simplificados de cálculo para estruturas de alvenaria não reforçada.

No que diz respeito à utilização de grampos em paredes de alvenaria, o Eurocódigo 6 parte 1-1 (CEN, 2005), na seção 8.5.2.3, indica que, para paredes duplas de alvenaria, os dois panos devem ser grampeados de forma efetiva. Para tal, nessa mesma seção é recomendado a utilização mínima de 2 grampos por metro quadrado.

3.9. Eurocódigo 8

O Eurocódigo 8 (CEN, 2010), à semelhança do Eurocódigo 6 (CEN, 2005) é uma norma europeia da responsabilidade do Comité Europeu de Normalização que visa unificar critérios e normativas de projeto de estruturas para resistência aos sismos.

A norma europeia divide-se em quatro partes:

- NP 1998-1 - Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios;
- NP 1998-2 - Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 2: Pontes;

- NP 1998-3 - Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 3: Avaliação e reforço de edifícios;
- NP 1998-4 - Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 4: Silos, reservatórios e condutas enterradas;
- NP 1998-5 - Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 5: Fundações, estruturas de contenção e aspetos geotécnicos;
- NP 1998-6 - Eurocódigo 8: Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 6: Torres, mastros e chaminés.

Relativamente ao tema de alvenarias de enchimento, o Eurocódigo 8 (CEN, 2010) estabelece alguns pressupostos que devem ser tidos em conta durante a fase de projeto dos edifícios, destacando-se a seção 4.3.6.4 - Limitação de danos dos enchimentos indica que deverão ser tomadas medidas adequadas para evitar a rotura frágil e a desintegração prematura das paredes de enchimento, assim como o colapso parcial ou total para fora do plano dos painéis de alvenaria.

Na mesma seção 4.3.6.4. são ainda apresentados alguns exemplos de medidas para melhorar a integridade e o comportamento, tanto no plano como fora dele, como por exemplo, a aplicação de redes electrossoldadas ligeiras bem amarradas numa face da parede e cintas nas paredes fixas aos pilares e dispostas nas juntas de assentamento da alvenaria.

3.10. Síntese

Após uma breve análise dos trabalhos apresentados no presente capítulo, foi possível compreender quais os métodos de ensaio utilizados em alvenarias, tendo-se revelado este ponto bastante significativo no momento de tomada de decisão alusivo ao tipo de esquema de ensaio a utilizar na campanha experimental desta dissertação.

Assim, no contexto do que fora mencionado anteriormente, é de salientar que a análise do trabalho desenvolvido por Vicente, R. S. e Silva, J. A. R. M. (2006) e Santos (2016) assumiu especial importância na seleção do tipo de esquema de ensaio a utilizar na campanha experimental da presente dissertação, dado que permitiu perceber o efeito e consequências dos apoios parciais em paredes de alvenaria. A condicionante do tipo de apoio dos panos de alvenaria torna-se essencial para a dissertação em questão porquanto um dos objetivos dos

ensaios reporta-se à verificação da influência do tipo de apoio na estabilidade das paredes duplas de alvenaria.

Relativamente à revisão do Eurocódigo 6, foi possível observar que a informação referente ao grampeamento de paredes duplas de alvenaria de enchimento é reduzida, podendo-se constatar que este aconselha apenas a aplicação de um número específico de grampos por metro quadrado.

No que diz respeito à revisão do Eurocódigo 8 Parte 1, verificou-se que o tema das paredes de enchimento e a influência que estas detêm no comportamento de edifícios de betão armado encontra-se amplamente exposto. Contudo pensa-se que a seção de recomendações relativas a métodos construtivos que evitem danos e colapso para fora do plano das paredes de alvenaria se encontra muito resumida e com escassez de informação.

4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

4.1. Introdução

Como parte integrante desta dissertação, a campanha experimental assume um papel preponderante, uma vez que, é a partir desta que se pode conhecer a influência do grampeamento no comportamento das paredes de alvenaria e daí retirar conclusões com base em dados reais.

A campanha experimental realizada nesta dissertação consistiu no ensaio de vários provetes de paredes simples e duplas de alvenaria. Para tal, submeteram-se os vários provetes preparados a carregamentos de compressão vertical, fazendo variar não só o tipo de apoio na base das paredes como também a quantidade e configuração dos grampos utilizados. A campanha experimental teve como principal objetivo estudar a influência do grampeamento no comportamento das paredes duplas de alvenaria, determinando a disposição mais favorável e quantidade de grampos a aplicar, bem como o efeito da ausência de apoio no pano exterior das paredes de alvenaria, caso recorrente na construção portuguesa já mencionado no termino do Capítulo 2.

Com o presente capítulo pretende-se introduzir a campanha experimental efetuada, que contempla a construção das paredes simples de alvenaria e paredes duplas de alvenaria, tendo-se construído um montante total de 8 provetes. Ainda no decorrer desta campanha experimental e após a construção dos provetes, caracterizaram-se mecanicamente os materiais constituintes dos mesmos e por último, procedeu-se ao ensaio dos provetes de alvenaria.

Os ensaios realizados às paredes de alvenaria desenrolaram-se em dois momentos distintos, numa primeira fase foram ensaiados os provetes constituídos por paredes simples de alvenaria, servindo como controlo e caracterização mecânica de paredes simples de alvenaria. Posteriormente, numa segunda fase, foram ensaiadas as paredes duplas de alvenaria procurando dar assim resposta aos objetivos a que esta dissertação se propõe.

A campanha experimental decorreu no Laboratório de Estruturas e Betão Armado do Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria e a sua realização baseou-se na norma NP EN 1052-1 (CEN, 2002a).

4.2. Provetes

Com este subcapítulo pretende-se caracterizar os tipos de provetes preparados para a campanha experimental e descrever sumariamente a sua construção. Assim, para o presente estudo construíram-se vários provetes, Figura 17, que podem ser divididos segundo dois grupos distintos. Sendo o primeiro grupo de provetes composto por duas paredes simples de alvenaria, entre as quais, uma das paredes fora composta por tijolos de $30 \times 20 \times 11$ e outra composta por tijolos de $30 \times 20 \times 15$. Já o segundo grupo de provetes foi composto por cinco paredes duplas de alvenaria constituídas por um pano exterior em tijolo de $30 \times 20 \times 15$ e um pano interior em tijolo de $30 \times 20 \times 11$, variando apenas a quantidade e disposição dos grampos.



Figura 17 - Amostra dos provetes construídos

A cada um dos provetes atribuiu-se uma designação com base na seguinte nomenclatura:

- PSA-# : Designação que indica tratar-se de uma parede simples de alvenaria e onde o símbolo # indica o número de referência para cada provete;
- PDA-# : Designação que indica tratar-se de uma parede dupla de alvenaria e onde o símbolo # indica o número de referência para cada provete.

4.2.1. Geometria e Tipologia dos Provetes

Como já referido anteriormente, prepararam-se 8 provetes idênticos, todos eles compostos por paredes simples ou duplas de alvenaria, construídas por 6 fiadas de tijolos unidas com juntas verticais e horizontais com espessuras de 1,0 a 1,5 cm. Cada foi composta por 4 tijolos, existindo fiadas com meios tijolos intercaladas com fiadas de tijolos completos. Desta forma e após a construção, os provetes apresentaram em média as dimensões de 123 cm de comprimento e 125 cm de altura, variando a espessura dos mesmos caso estes sejam paredes simples ou duplas de alvenaria.

Em seguida apresenta-se o resumo de todos os provetes a ensaiar nas duas fases de ensaio:

- Provede PSA-1, composto por uma parede simples de alvenaria em tijolo de 30×20×15 (Figura 18);

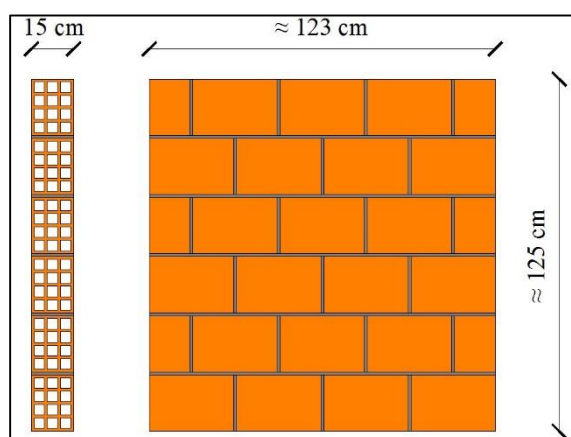


Figura 18 - Provede PSA-1

- Provete PSA-2, composto por uma parede simples de alvenaria em tijolo de $30 \times 20 \times 11$ (Figura 19);

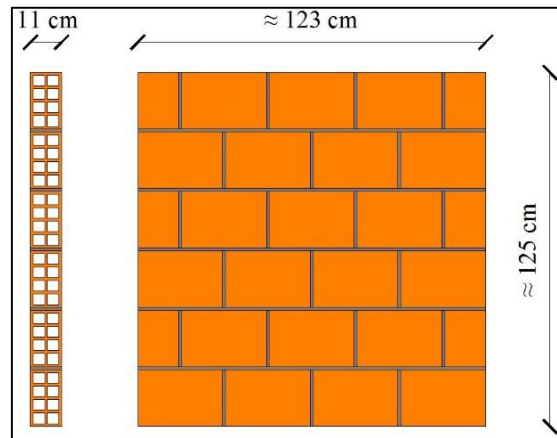


Figura 19 - Provete PSA-2

- Provetes PDA-1 e PDA-2, compostos por uma parede dupla de alvenaria, sendo um pano em tijolo de $30 \times 20 \times 15$ e o outro em tijolo $30 \times 20 \times 11$ (Figura 20). Este provete tem como objetivo servir de controlo aos provetes de paredes duplas de alvenaria com grampos;

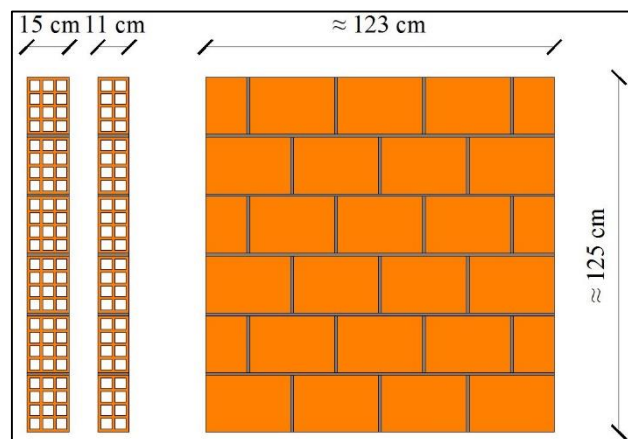


Figura 20 -Provetes PDA-1 e PDA-2

- Provete PDA-3, composto por uma parede dupla de alvenaria, sendo um pano em tijolo de $30 \times 20 \times 15$ e o outro em tijolo $30 \times 20 \times 11$. Adicionalmente, a este provete, foram aplicados quatro grampos com pingadeira numa disposição em losango, representados pelas letras G (Figura 21);

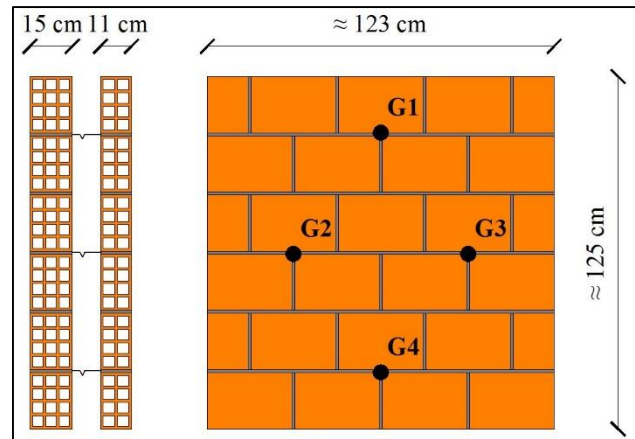


Figura 21 - Provete PDA-3

- Provete PDA-4, composto por uma parede dupla de alvenaria, sendo um pano em tijolo de $30 \times 20 \times 15$ e o outro em tijolo $30 \times 20 \times 11$. Adicionalmente, a este provete, foram aplicados cinco grampos com pingadeira numa disposição em cruz, representados pelas letras G (Figura 22);

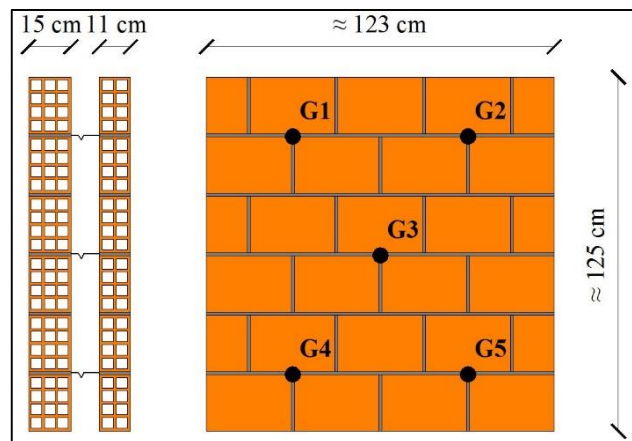


Figura 22 - Provete PDA-4

- Provete PDA-5, composto por uma parede dupla de alvenaria, sendo um pano em tijolo de $30 \times 20 \times 15$ e o outro em tijolo $30 \times 20 \times 11$. Adicionalmente, a este provete, foram aplicados nove grampos com pingadeira em três fiadas de três grampos cada uma, representados pelas letras G (Figura 23);

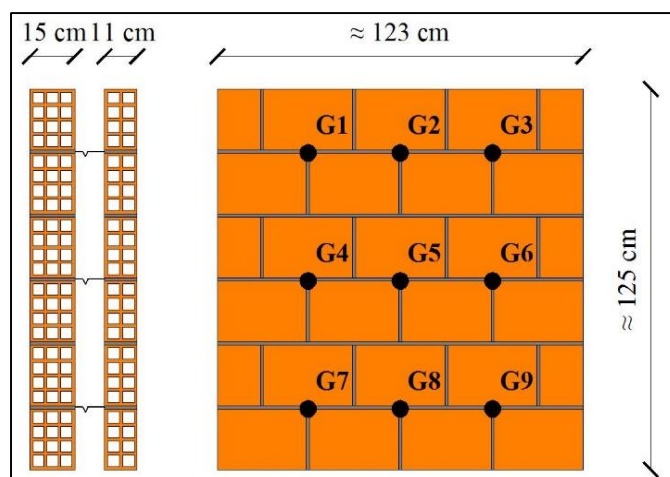


Figura 23 - Provete PDA-5

- Provete PDA-6, composto por uma parede dupla de alvenaria, sendo um pano em tijolo de 30×20×15 e o outro em tijolo 30×20×11. Adicionalmente, a este provete, foram aplicados dois grampos em forma de treliça em duas fiadas, representados pelas letras G (Figura 24);

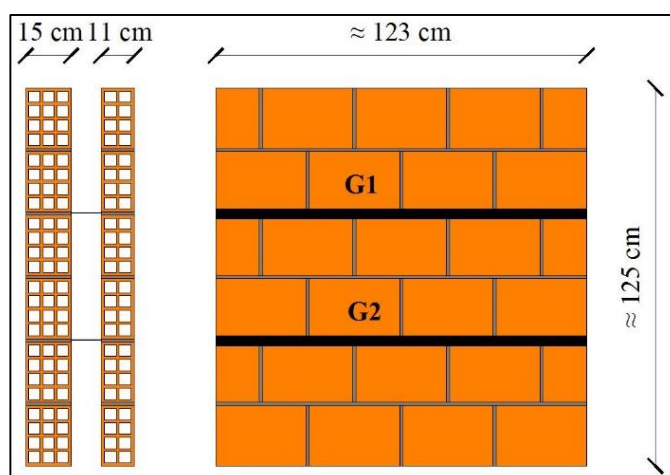


Figura 24 - Provete PDA-6

4.2.2. Construção dos Provetes

A execução das paredes de alvenaria foi efetuada em duas fases diferentes, sendo que, numa primeira fase foram construídas as duas paredes simples de alvenaria e posteriormente, construídas as paredes duplas de alvenaria. Já em relação ao processo construtivo adotado para a execução das paredes, este sustentou-se no método comumente empregado na construção em Portugal, passando pelas seguintes fases:

- Preparação da argamassa de assentamento;
- Marcação da 1ª fiada;
- Molhagem prévia dos tijolos;
- Assentamento dos tijolos;
- Preenchimento das juntas verticais;
- Regularização do topo da parede.

A argamassa de assentamento foi preparada com recurso a uma betoneira comum, Figura 25, onde na qual se teve o cuidado de colocar primeiramente a areia e o cimento até ficarem homogeneamente misturados, sendo de seguida adicionada a água. É de notar que, imediatamente após a preparação da argamassa de assentamento, retiraram-se algumas amostras para posterior ensaio, cujos resultados serão apresentados no decorrer deste capítulo.



Figura 25 - Preparação da argamassa de assentamento

Para o assentamento dos tijolos, colocaram-se como base três placas de madeira por parede, Figura 26, com o objetivo de que, quando fosse necessário movimentar as paredes para o local de ensaio, fosse possível colocar duas cantoneiras por baixo da parede para o seu levantamento, como está exemplificado na Figura 27.

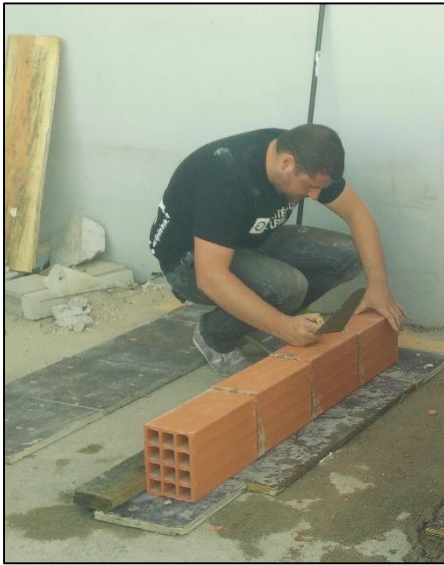


Figura 27 - Base para construção das paredes



Figura 26 - Movimentação das paredes

Uma vez a argamassa pronta, procedeu-se à marcação e assentamento da primeira fiada de tijolos, sendo que, para tal inicialmente aplicaram-se os tijolos das extremidades e posteriormente os restantes tijolos, tendo sido, entre eles, aplicada uma camada de argamassa com uma espessura de 1,0 a 1,5 cm, como se pode observar na Figura 28.

Para as restantes fiadas, o processo de assentamento utilizado foi semelhante ao da primeira até completar seis fiadas em altura, tendo-se utilizado, sempre que necessário, “meios tijolos” nas extremidades das fiadas. Depois de finalizada a construção das paredes, procedeu-se ao preenchimento das juntas verticais com a mesma argamassa de assentamento, como exemplificado na Figura 29.

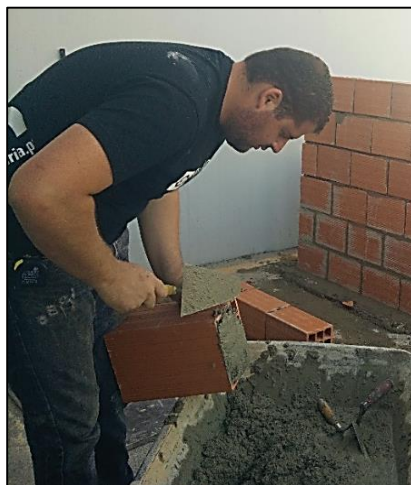


Figura 28 - Aplicação de argamassa nas laterais dos tijolos



Figura 29 - Preenchimento das juntas verticais

No que diz respeito à aplicação dos grampos nas paredes duplas de alvenaria, estes foram aplicados nas juntas horizontais das paredes aquando da construção das mesmas, de acordo com a configuração e quantidade de grampos definida para cada provete. É de salientar, que os grampos foram colocados já com a devida instrumentação, Figura 30, sendo a anterior abordada no decorrer deste capítulo.

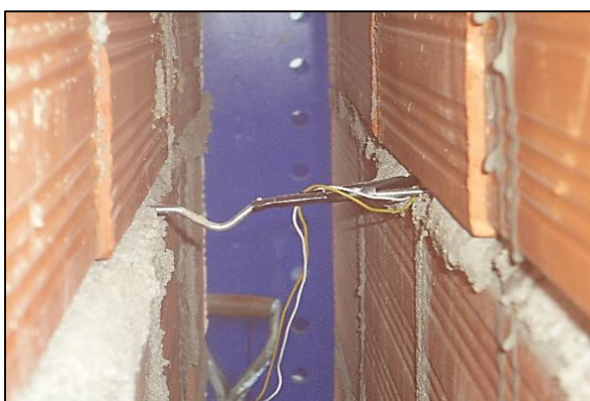


Figura 30 - Grampos aplicados nas paredes



Figura 31 - Aplicação das armaduras

A aplicação dos grampos e armaduras nos provetes acarretou algumas dificuldades, nomeadamente o facto de se tornar necessário o aumento da espessura da junta horizontal de argamassa, nos locais onde os grampos foram colocados.

Uma vez que, a norma NP EN 1052-1 (CEN, 2002a) impõe a regularização da superfície superior dos provetes em contacto com o equipamento de ensaio, optou-se por aplicar uma camada de calda de cimento auto-nivelante, garantindo assim uma boa superfície de contacto com o equipamento de ensaio, como se encontra exemplificado na Figura 32.



Figura 32 - Aplicação da calda de regularização no topo da parede

4.3. Caracterização do Materiais

Como já referido, a campanha laboratorial realizada tinha como finalidade efetuar o estudo do comportamento de paredes duplas de alvenaria com e sem grampos.

Desta forma, pretende-se com o presente capítulo caracterizar os materiais utilizados na execução das paredes a ensaiar na campanha experimental. Para esse fim, analisaram-se os seguintes parâmetros: dimensões e resistência mecânica dos tijolos, dos grampos e da argamassa de assentamento.

4.3.1. Caracterização dos Tijolos

A construção das paredes contou com dois diferentes tipos de tijolos cerâmicos de furação horizontal, com as seguintes dimensões, 30×20×11 cm (Prélis, 2014a), Figura 33, e 30×20×15 cm (Prélis, 2014b), Figura 34, provenientes do fabricante Prélis.

A seleção destes tijolos procurou representar de forma mais real possível o tipo de construção presente em Portugal, onde a grande maioria das paredes duplas de alvenaria é constituída por um pano interior construído em tijolo 30×20×11 e por um pano exterior em tijolo 30×20×15 (Furtado, A. *et al.*, 2014; Sousa, H., 2002).



Figura 33 - Tijolo cerâmico 30×20×11



Figura 34 - Tijolo cerâmico 30×20×15

Com o objetivo de caracterizar a resistência mecânica à compressão dos tijolos, estes foram submetidos a ensaios de compressão segundo a norma NP EN 772-1 (CEN, 2002b) e que serão apresentados de seguida.

4.3.1.1. Resistência Mecânica

A fim de aferir a resistência à compressão das unidades de alvenaria e verificar a conformidade com a ficha técnica do fabricante, as unidades foram sujeitas a ensaios de compressão de acordo com o método descrito na norma NP EN 772-1. Para tal, retiraram-se aleatoriamente, 6 amostras de cada tipo de tijolo das respectivas paletes, após terem sido armazenadas no ambiente controlado do laboratório.

A norma de ensaio refere que previamente à compressão dos tijolos é necessário remover qualquer material supérfluo do tijolo e regularizar as suas faces. Tendo em conta este pressuposto, realizou-se o ensaio à compressão dos tijolos recorrendo ao equipamento *Form+Test Prufsysteme*, Figura 35, que possui uma superfície de contacto de 270×270 mm.



Figura 35 - Equipamento para o ensaio à compressão dos tijolos

A resistência à compressão da argamassa é dada pela seguinte equação:

$$f_b = \frac{F_b}{A} \times \delta$$

Onde:

F_b – resistência à compressão do tijolo [MPa];

F_c – força aplicada no momento da rutura à compressão;

A – área da zona de contato;

δ – fator de forma.

Na Tabela 4 e Tabela 5 apresentam-se os valores obtidos a partir dos ensaios de resistência à compressão dos tijolos 30×20×11 e 30×20×15 respetivamente, com a referente média aritmética:

Tabela 4 - Valores de resistência à compressão dos tijolos de 30×20×11

Provete	Área de Contato (mm²)	Fator de Forma	Força (kN)	Tensão Rotura (MPa)	Tensão Rotura Média (MPa)
T 1	72900	1,1	75,1	1,1	1,11
T 2			82,2	1,2	
T 3			71,2	1,1	
T 4			70,2	1,1	
T 5			62,3	0,9	
T 6			82,7	1,2	

Tabela 5 - Valores de resistência à compressão dos tijolos de 30×20×15

Provete	Área de Contato (mm²)	Fator de Forma	Força (kN)	Tensão Rotura (MPa)	Tensão Rotura Média (MPa)
T 1	72900	1,1	64,7	1,0	1,06
T 2			62,6	0,9	
T 3			77,3	1,2	
T 4			62,4	0,9	
T 5			69,3	1,0	
T 6			83,3	1,3	

No decorrer dos ensaios à compressão dos tijolos, verificaram-se dois tipos de rotura distintos, quer para os tijolos 30×20×11 quer para os tijolos 30×20×15. Assim, as roturas diferenciam-se no colapso parcial dos septos do tijolo ou fissuração dos septos, como se pode observar nas figuras seguintes, Figura 36 e Figura 37.

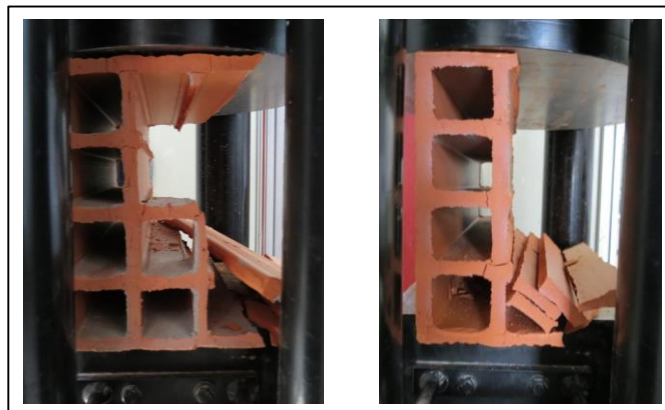


Figura 36 - Rotura dos tijolos por colapso parcial dos septos

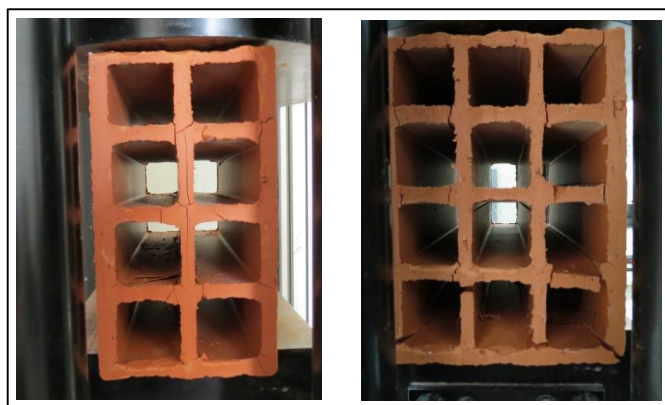


Figura 37 - Rotura dos tijolos por fissuração dos septos

4.3.2. Caracterização das Argamassas

No que respeita à argamassa de assentamento utilizada na construção das paredes a ensaiar, esta foi preparada com um traço volumétrico de 1:4 (cimento:areia), de forma a garantir uma composição tipicamente utilizada no assentamento de alvenarias de enchimento, no parque habitacional de Portugal. Em relação à areia utilizada, esta teve como proveniência um areeiro localizado no distrito de Leiria, já o ligante hidráulico utilizado na execução da argamassa, foi o cimento Portland do fabricante Secil com a referência CEM II/B-L 32.5 N.

Durante a preparação da argamassa de assentamento utilizada na construção das paredes, retiraram-se 6 amostras provenientes de dois momentos de betonagem distintos (3 por betonagem) para a elaboração de provetes com uma seção transversal de 40×40 mm e 160 mm de comprimento (Figura 38). Estes provetes serviram para posterior análise e

caraterização mecânica das argamassas no decorrer dos ensaios às paredes após os 28 dias de cura, como se encontra apresentado de seguida.



Figura 38 - Provetes de argamassa de assentamento

4.3.2.1. Resistência à Flexão

O ensaio de flexão dos provetes de argamassa permite determinar a resistência à tração de flexão (f_t) da mesma. O método de ensaio mencionado, segue o procedimento preconizado pela norma europeia NP EN 1015-11 (CEN, 1999) e consiste na colocação dos provetes em cima de dois apoios rotulados (rolos) com as faces de moldagem sobre os mesmos, Figura 40. Após colocados em cima dos apoios rotulados e com recurso a um terceiro rolo, aplicou-se sob os provetes uma força gradualmente crescente a uma velocidade de 50 ± 10 N/s, de modo contínuo até à rotura do provete, Figura 39, (CEN, 1999; Mortars, Cemex, 2001). Para tal, utilizou-se uma prensa hidráulica e um equipamento indicado para o ensaio à flexão de argamassas.

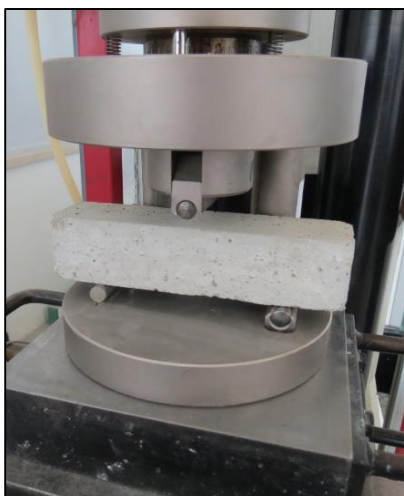


Figura 40 - Ensaio à flexão dos provetes de argamassa



Figura 39 – Rotura do provete de argamassa

Segundo a norma NP EN 1015-11, a resistência à tração por flexão da argamassa é dada pela equação:

$$f_t = 1,5 \times \frac{F_t \times l}{b \times d^2}$$

Onde:

f_t – resistência à tração por flexão da argamassa [MPa];

F_t – força aplicada no momento da rutura à flexão;

l – distância entre apoios;

b – largura da seção transversal do provete;

d – altura da seção transversal do provete.

Na Tabela 6 são apresentados os valores obtidos a partir dos ensaios de resistência à flexão dos provetes de argamassa, com a respectiva média aritmética:

Tabela 6 - Valores de resistência à flexão dos provetes de argamassa

Provete	Idade Provete (Dias)	Seção (mm)	Força (kN)	Tensão Rotura (MPa)	Tensão Rotura Média (MPa)
P 1			1,58	3,70	
P 2			1,36	3,19	
P 3	28	40×40	1,30	3,05	3,33
P 4			1,41	3,33	
P 5			1,37	3,21	
P 6			1,51	3,54	

4.3.2.2. Resistência à Compressão

O ensaio de compressão dos provetes de argamassa permite determinar a resistência à compressão (f_c) da mesma. O método de ensaio referido, segue o procedimento preconizado pela norma europeia NP EN 1015-11 e consiste em colocar cada uma das metades partidas dos provetes provenientes do ensaio de flexão num mecanismo com uma base quadrada de 40×40 mm, Figura 41. Uma vez colocados no equipamento, os provetes são submetidos a uma força progressivamente crescente, com uma velocidade de 2400±200 N/s, continuamente até atingir a rotura dos provetes (Mortars, Cemex, 2001). Para concretizar este ensaio, utilizou-se um equipamento indicado para o ensaio à compressão de argamassas e a mesma prensa hidráulica do ensaio de flexão.



Figura 41 - Ensaio à compressão dos provetes de argamassa de assentamento

A resistência à compressão da argamassa é dada pela seguinte equação:

$$f_c = \frac{F_c}{A}$$

Onde:

f_c – resistência à compressão da argamassa [MPa];

F_c – força aplicada no momento da rutura à compressão;

A – área da zona comprimida.

Na Tabela 7 apresentam-se os valores obtidos a partir dos ensaios de resistência à compressão dos provetes de argamassa e a respetiva média aritmética.

Tabela 7 - Valores de resistência à compressão dos provetes de argamassa

Provete	Idade Provete (Dias)	Área (mm ²)	Força (kN)	Tensão Rotura (MPa)	Tensão Rotura Média (MPa)
P 1.1			24,3	15,2	
P 1.2			24,4	15,3	
P 2.1			23,3	14,6	
P 2.2			19,4	12,1	
P 3.1			20,0	12,5	
P 3.2	28	1600	17,7	11,1	12,5
P 4.1			18,6	11,6	
P 4.2			21,3	13,3	
P 5.1			17,2	10,8	
P 5.2			19,2	12,0	
P 6.1			16,3	10,2	
P 6.2			17,5	10,9	

4.3.3. Caraterização dos Grampos

Como mencionado anteriormente, os grampos representam o foco deste trabalho. Como tal e para a construção das paredes duplas de alvenaria ensaiadas nesta campanha experimental, escolheram-se os grampos tradicionais com pingadeira, Figura 42, e a armadura “Murfor” em forma de treliça, Figura 43, ambos do fornecedor BIU.

Segundo a ficha técnica dos grampos tradicionais com pingadeira (BIU, 2005b), estes são constituídos por um varão de 4mm de diâmetro, em aço galvanizado, com uma resistência à tração de 400-550 MPa.



Figura 42 - Grampo com pingadeira

Relativamente à armadura “*Murfor*” (BIU, 2005a), optou-se pela armadura em ferros redondos de diâmetro de 4 mm, em aço galvanizado, com uma resistência à tração de 400-550 MPa e com as seguintes dimensões, 280 mm de largura e 3,05 m de comprimento.

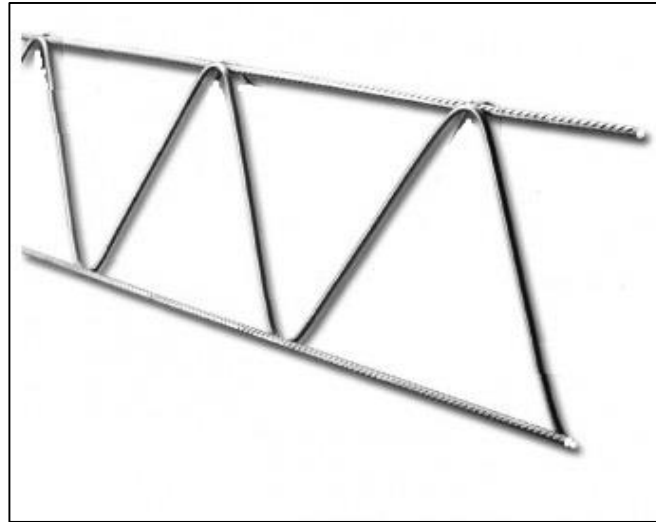


Figura 43 - Armadura “*Murfor*” em forma de treliça

4.4. Esquema de ensaio e instrumentação

4.4.1. Esquema de ensaio

Para a realização dos ensaios à compressão das paredes de alvenaria, elaborou-se um esquema de ensaio, que consistiu na utilização de um atuador hidráulico equipado com uma célula de carga, para a aplicação da carga de compressão no topo da parede e com uma capacidade máxima de carga de 1000 kN. Para além do atuador hidráulico e posteriormente a uma cuidada regularização do topo da parede com calda de cimento, foi utilizado um elemento rígido, viga HEB 300 com nervuras de rigidez, para que a carga aplicada pelo atuador nas paredes fosse distribuída uniformemente. Para simular as diferentes condições de apoio, utilizou-se uma viga em betão armado na base dos provetes, que durante os ensaios, provou ser bastante rígida e compacta quando comparada com as paredes de alvenaria, pelo que não influenciou os resultados dos ensaios.



Figura 44 - Esquema de ensaio, vista geral

Como mencionado anteriormente, os ensaios às paredes decorreram em duas fases distintas, cuja diferença singular se prendeu com as condições de apoio e aplicação de carga. Nos ensaios das paredes simples de alvenaria, os provetes foram completamente apoiados nas vigas de betão armado e de distribuição de carga.

Já nos ensaios às paredes duplas de alvenaria, os provetes foram apoiados parcialmente na viga de betão, deixando o pano de tijolo de quinze desapoado em 7 cm a fim de simular as fracas condições de apoio presentes na construção de alvenarias, que surgem como resultado da correção das pontes térmicas com forras cerâmicas de 7 cm. A mesma situação de apoio parcial foi também replicada no topo da parede no momento de aplicação da carga, tendo-se colocado a viga de distribuição 7 cm para dentro da parede.



Figura 45 – Utilização da forra cerâmica para demonstrar o apoio parcial na base da parede de alvenaria



Figura 46 - Utilização da forra cerâmica para demonstrar a aplicação parcial da carga no topo da parede de alvenaria

4.4.2. Instrumentação

A medição e aquisição de todos os dados relevantes ao estudo em causa, contou com utilização de dois diferentes tipos de equipamentos de medição, transdutores de deslocamento (LVDT's) para a medição de deformações e deslocamentos nas paredes e extensómetros para a medição das extensões e solicitações impostas nos grampos durante os ensaios das paredes com grampos.

No decorrer dos ensaios das paredes simples de alvenaria, primeira fase de ensaios, colocaram-se dois LVDT's na vertical, Figura 47, para medir as deformações verticais ocorridas. Os LVDT's foram fixados às paredes com recurso a cantoneiras metálicas e resina epóxi como é possível observar na Figura 48.

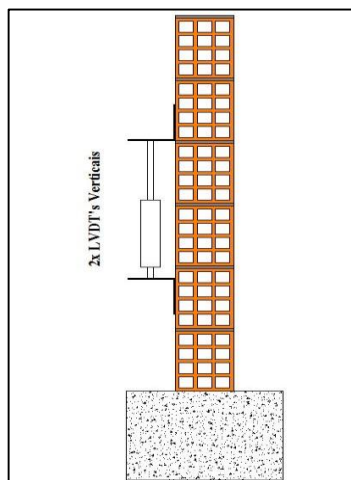


Figura 47 - Esquema de colocação dos LVDT's nas paredes simples de alvenaria



Figura 48 - Pormenor de fixação dos LVDT's verticais

Para os ensaios das paredes duplas de alvenaria, segunda fase de ensaios, utilizou-se um esquema semelhante ao dos ensaios das paredes simples, mantendo a mesma disposição dos LVDT's verticais. Adicionalmente, a fim de registar o movimento de rotação da base da parede, utilizaram-se dois sistemas de fio e roldana associados a dois LVDT's colocados na posição horizontal, Figura 49, e afastados da zona de ensaio de modo a evitar a ocorrência de possíveis danos nos equipamentos durante o ensaio. O sistema de fio com roldana referido pode observar-se na Figura 50.

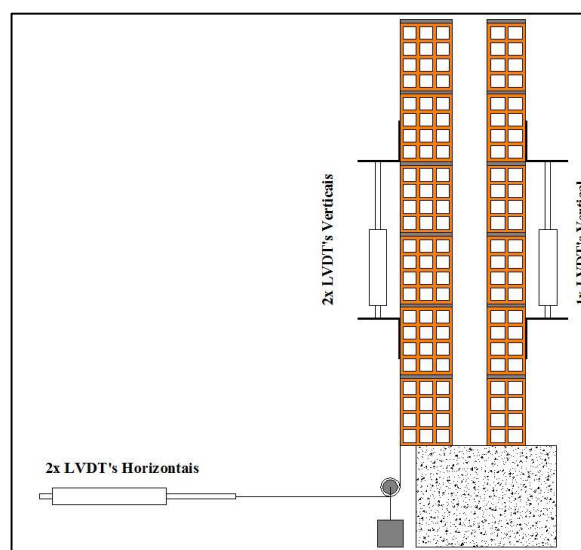


Figura 49 - Esquema de colocação dos LVDT's nas paredes duplas de alvenaria

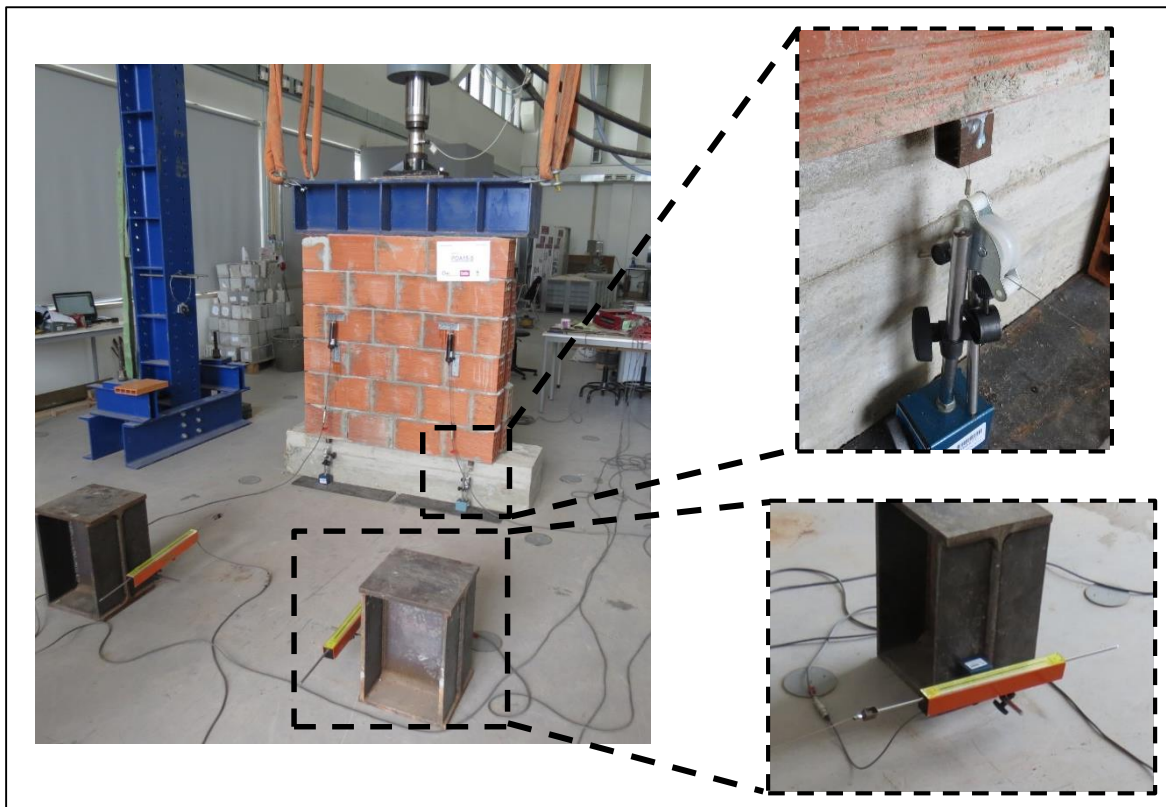


Figura 50 - Sistema de medição da rotação da base da parede

A instrumentação dos grampos contou com a aplicação de extensómetros da marca “*Litek Sensor*” e modelo BQ120-AA. Previamente à aplicação de cada extensómetro procedeu-se à limpeza da superfície de cada grampo com acetona. De seguida, fixou-se o extensómetro ao grampo com recurso a um adesivo bicomponente à base de resina epóxi. Uma vez fixados os extensómetros, soldaram-se os cabos eléctricos aos terminais e colocaram-se mangas retrateis e fita isoladora para proteger os extensómetros, Figura 51. O procedimento acima descrito efetuou-se anteriormente à aplicação dos grampos nas paredes.

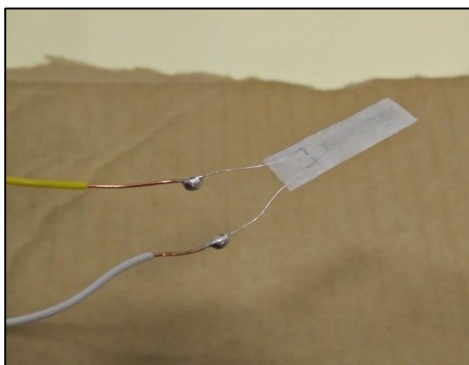


Figura 51 – Preparação dos extensómetros

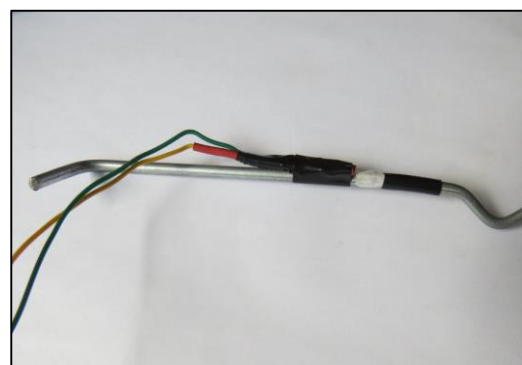


Figura 52 - Grampo instrumentado com extensómetro

Após concluída a instrumentação dos provetes, ligaram-se todos os cabos provenientes dos LVDT's e extensômetros a um equipamento de aquisição de dados, *Data Logger TDS-303* da marca “*Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd*” de 30 canais, Figura 53, de modo a registrar todos os dados transmitidos pelos equipamentos de medição.



Figura 53 - Equipamento de aquisição de dados, *Data Logger*

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Introdução

O presente capítulo pretende expor e analisar os resultados dos ensaios realizados na campanha experimental descrita no capítulo anterior, com base no registo visual e em medições adquiridas.

Primeiramente realizar-se-á a análise individual dos provetes PSA-1 e PSA-2, compostos por uma parede simples de tijolo de $30 \times 20 \times 15$ e por uma parede simples de tijolo de $30 \times 20 \times 11$, respetivamente. Para esse mesmo efeito, serão mencionados dados como a capacidade de carga máxima obtida em cada provete, bem como as deformações verticais registadas ao longo dos ensaios. Findada a análise individual de cada ensaio, proceder-se-á à comparação dos resultados de ambos os ensaios, evidenciando as diferenças entre os dois provetes. Sendo que, os resultados obtidos nestes ensaios servirão como termo de comparação com os resultados dos ensaios às paredes duplas de alvenaria.

Posteriormente, serão analisados os ensaios dos provetes constituídos por dois panos de alvenaria, um em tijolo de $30 \times 20 \times 11$ e o outro em tijolo de $30 \times 20 \times 15$, PDA-1, PDA-2, PDA-3, PDA-4, PDA-5 e PDA-6. À semelhança da análise efetuada aos resultados dos ensaios dos provetes de parede simples, serão expostos parâmetros como a capacidade de carga máxima admitida por cada provete, bem como as deformações verticais verificadas ao longo dos ensaios nos dois panos de alvenaria. Para além disso, serão ainda analisados os dados obtidos a partir dos LVDT's, medindo a deformação e rotação da base da parede, bem

como os dados registados através dos extensómetros aplicados nos grampos, que permitiram averiguar as solicitações impostas nos anteriores.

Torna-se ainda importante referir que, durante a elaboração dos gráficos representativos da *carga vs deslocamento do atuador* de cada provete, foi necessário efetuar o reajuste da rampa inicial do gráfico, afim de suprimir a fase inicial do ensaio, caracterizada por sucessivos ajustes e assentamentos das paredes, de modo a evitar a presença de dados desnecessários aquando da interpretação do comportamento das paredes. Seguidamente, apresenta-se um exemplo do reajuste efetuado para os gráficos *carga vs deslocamento do atuador* para cada provete, Figura 54.

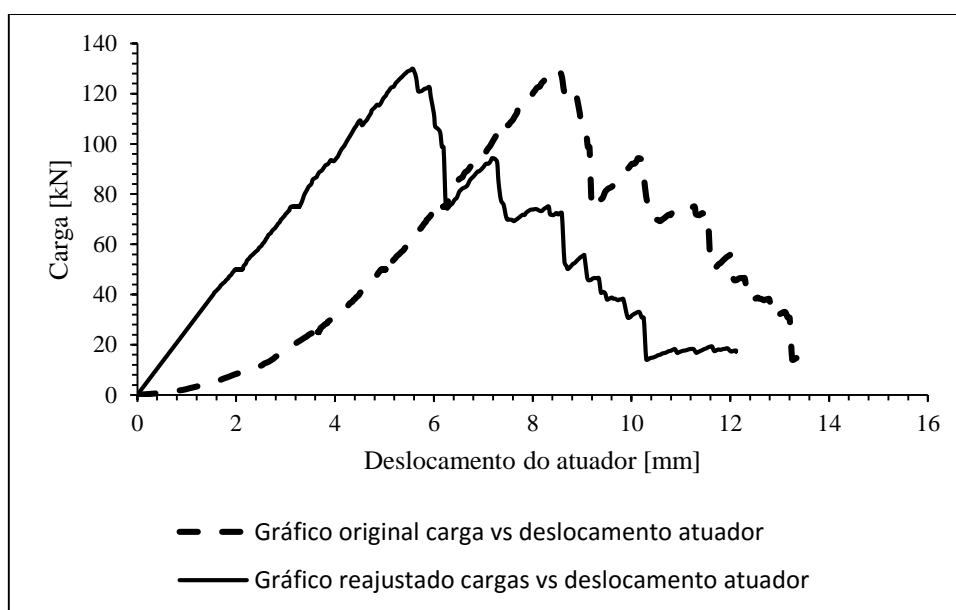


Figura 54 - Exemplo do reajuste do gráfico carga vs deslocamento

Durante a campanha experimental era expectável que os provetes apresentassem um comportamento frágil, isto é, uma rutura rápida e por vezes, inesperada. Desta forma, após a primeira fase de cada ensaio, tornou-se necessário remover a instrumentação aplicada nos provetes, a fim de evitar a ocorrência de danos nos equipamentos.

Assim, pretende-se com o presente capítulo dar resposta ao objetivo essencial desta dissertação, que visa averiguar a influência do grampeamento na estabilidade de paredes duplas de alvenaria.

5.2. Resultados das paredes simples de alvenaria

Como já referido anteriormente, na primeira fase da campanha experimental foram ensaiados os provetes PSA-1 e PSA-2, compostos por duas paredes simples de alvenaria sendo uma das quais constituída por tijolos de $30 \times 20 \times 15$ e a outra por tijolos de $30 \times 20 \times 11$. Com os ensaios mencionados, pretendeu-se conhecer e compreender o comportamento mecânico das paredes simples de alvenaria, determinar a sua resistência à compressão e obter valores comparativos e de controlo para os resultados das paredes duplas de alvenaria.

De seguida, serão apresentados os resultados obtidos, quer ao nível das medições efetuadas quer ao nível dos danos observados em cada provete após os ensaios.

5.2.1. Provede PSA-1

Após uma breve análise dos resultados obtidos no ensaio do provede PSA-1, provede composto por uma parede simples em tijolo $30 \times 20 \times 11$, foi possível verificar que o provede apresentou um comportamento frágil.

Com base na Figura 55, é possível verificar que o comportamento da parede ao longo do ensaio demonstrou ser relativamente linear até à carga de aproximadamente 90 kN. Sendo que, a partir da qual, se registou uma descida repentina da carga em 10 kN, fenómeno provocado pela rotura dos septos exteriores da fiada de tijolos na base da parede, como pode observar-se na Figura 56. Posteriormente, a parede recuperou a sua capacidade de admissão de carga atingindo um valor de 128 kN, momento a partir do qual a parede iniciou um comportamento oscilatório de perda e ganho de capacidade de carga, devido à rotura e/ou fissuração dos tijolos. Pelo que, é de salientar que, entre os ciclos de perda e ganho de capacidade de carga, a parede alcançou a sua carga máxima com um valor de 131 kN, momento a partir do qual, a mesma foi dissipando a sua capacidade de admissão de carga até à rotura total da sua base Figura 57, finalizando desta forma o ensaio.

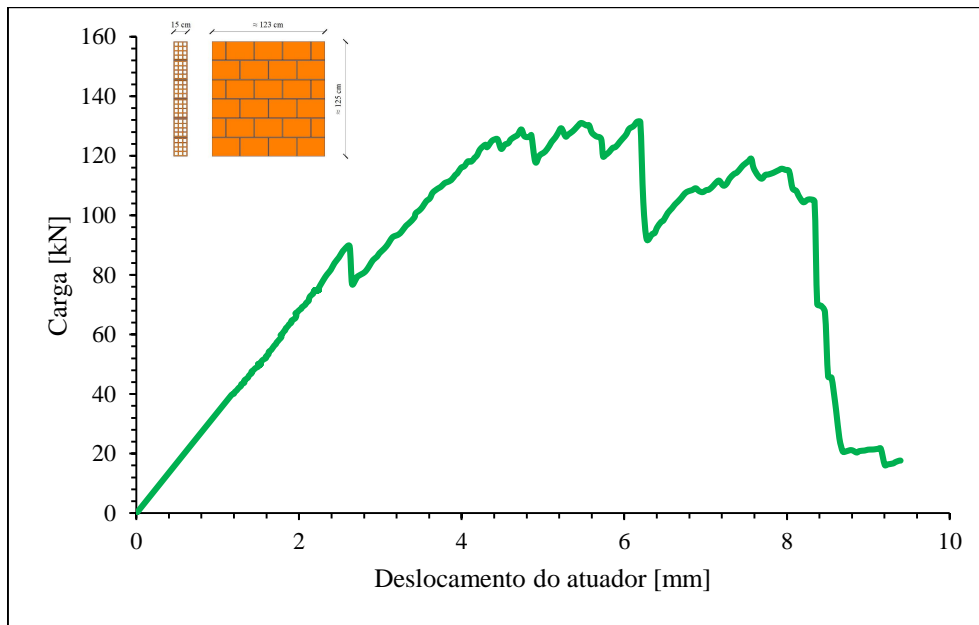


Figura 55 - Carga vs. Deslocamento do atuador, provete PSA-1



Figura 56 - 1ª Rotura dos septos exteriores dos tijolos da base da parede



Figura 57 - Rotura total da base da parede

Durante a primeira fase do ensaio, foi possível obter as deformações verticais do provete PSA-1, onde o atuador carregou o provete através de um carregamento força/tempo intercalado por patamares de espera, esquema de carregamento calculado a partir da norma NP EN 1052-1. Na Figura 58 é possível observar que, como previsto, a deformação da parede ocorreu durante as fases de carregamento, mantendo-se relativamente constante ao longo dos patamares de espera.

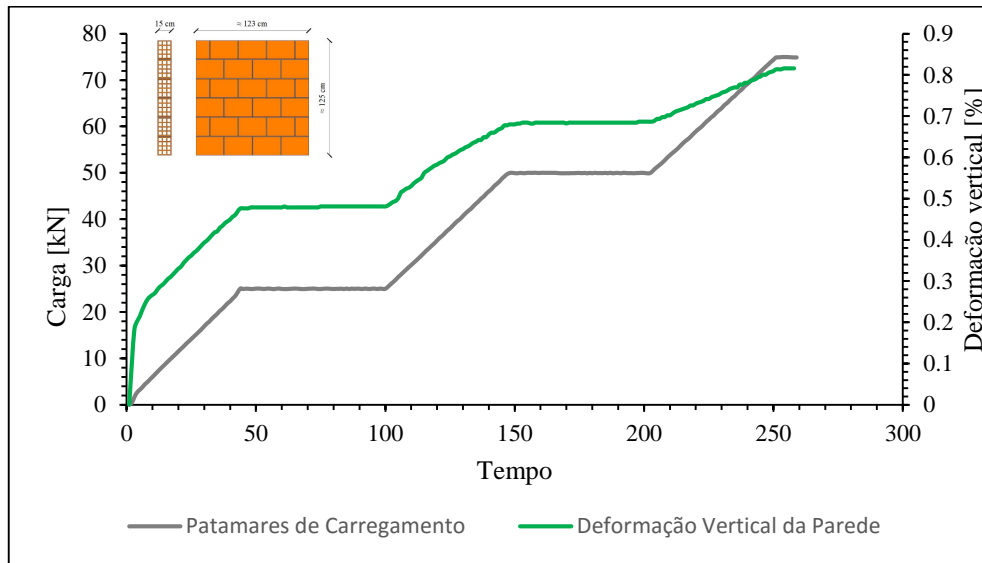


Figura 58 - Comparação da deformação vertical da parede com o tipo de carregamento, provete PSA-1

De acordo com os dados já apresentados e considerando uma área de carregamento de $0,1845 \text{ m}^2$ no topo da parede, foi possível traçar o gráfico que relaciona a deformação vertical da parede, com o acréscimo de tensão aplicado na mesma, Figura 59.

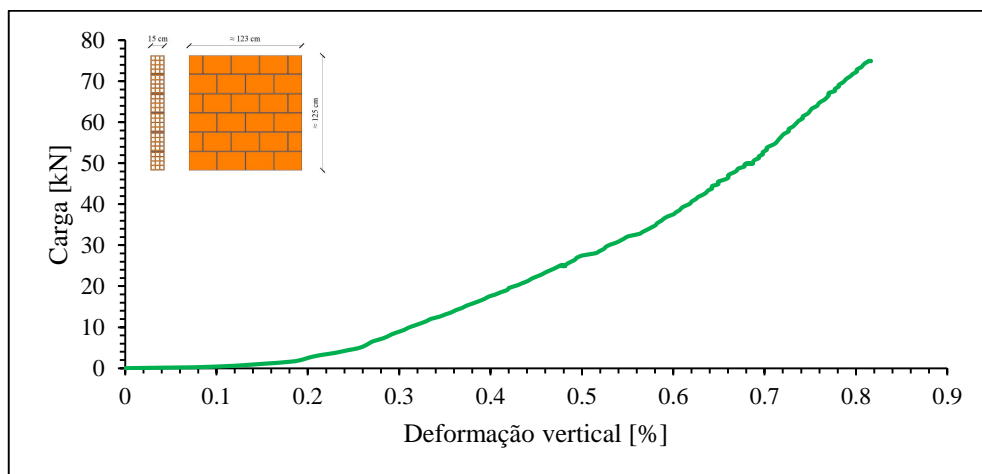


Figura 59 - Tensão vs. Deformação vertical da parede, provete PSA-1

5.2.2. Provete PSA-2

Com base na análise dos dados provenientes do ensaio do provete PSA-2, provete constituído por uma parede simples em tijolo de 30×20×11, é possível constatar através da observação da Figura 60, que o provete assumiu um comportamento bastante semelhante ao do provete PSA-1.

Assim, à semelhança do provete PSA-1, o provete PSA-2 demonstrou um comportamento relativamente linear até à sua carga máxima, apresentando, no entanto, momentos pontuais de perda repentina de carga, provocados por assentamentos da parede. Relativamente à carga máxima admitida pelo provete, pôde verificar-se que esta foi de aproximadamente 123 kN, o que causou a fissuração dos tijolos na base da parede, Figura 61. Após atingida a carga máxima, a força de carregamento do provete demonstrou-se oscilatória, tendo diminuído à medida que o atuador descia, comportamento causado pela restante quebra e esmagamento dos tijolos na base da parede, dando assim fim a este ensaio.

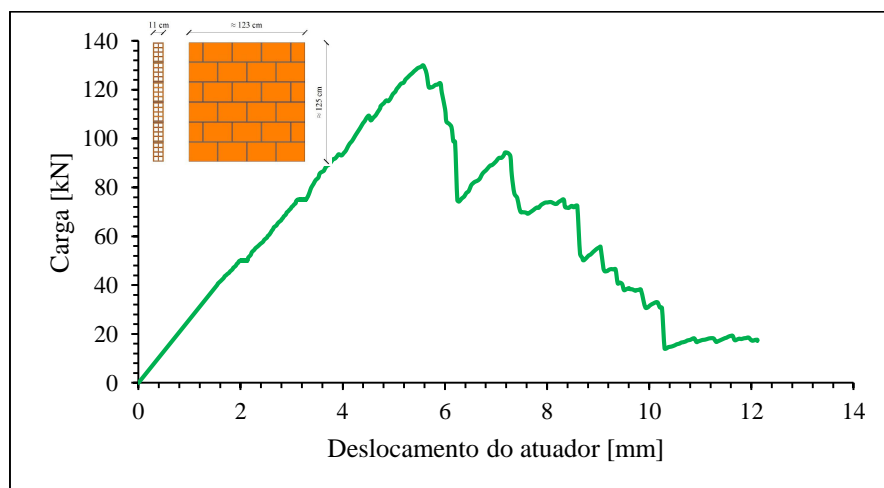


Figura 60 - Carga vs. Deslocamento do atuador, provete PSA-2



Figura 61 - Rotura dos tijolos na base da parede

Para além do mencionado, foi ainda possível registar as deformações verticais do provete PSA-2 no decorrer da primeira fase do ensaio. Na Figura 62 pode observar-se que, tal como seria de esperar, a deformação da parede surgiu durante as fases de carregamento tendo mantido relativamente constante ao longo dos patamares de espera.

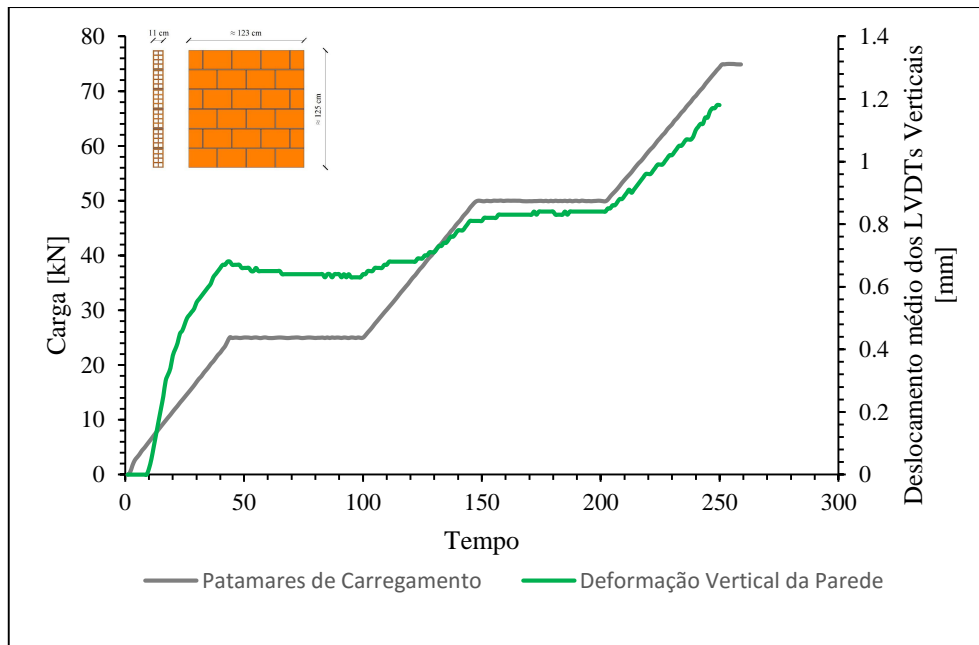


Figura 62 - Comparação da deformação vertical da parede com o tipo de carregamento, provete PSA-2

Com base nos dados já apresentados e admitindo uma área de carregamento no topo da parede de $0,1353 \text{ m}^2$, traçou-se o gráfico que relaciona a deformação vertical da parede com o acréscimo de tensão aplicado na mesma, Figura 63.

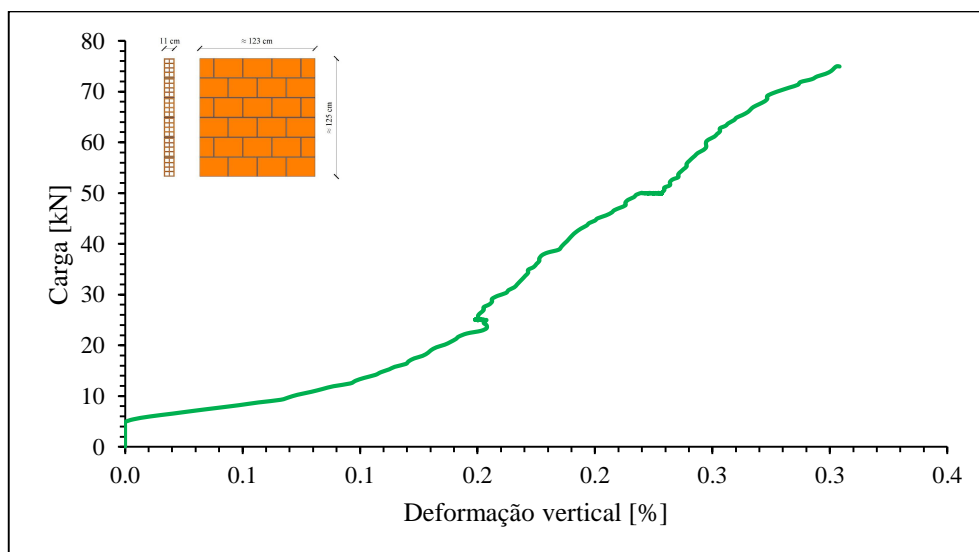


Figura 63 - Tensão vs. Deformação vertical da parede, provete PSA-2

5.2.3. Síntese dos resultados das paredes simples de alvenaria

Após a análise individual de cada ensaio às paredes simples de alvenaria, procedeu-se à comparação dos mesmos, chegando a algumas conclusões.

Comparando as tensões máximas admitidas por cada provete durante os ensaios verificou-se que o provete PSA-2 constituído por tijolos 30×20×11, apresentou uma resistência maior, aproximadamente 0,91 MPa, comparado com o provete PSA-1 constituído por tijolos 30x20x15, que apresentou uma resistência máxima de 0,69 MPa como se pode observar na Figura 64.

Os resultados da resistência à compressão dos provetes vão ao encontro de ensaios já realizados por diversos autores a paredes de alvenaria com os mesmos tipos de tijolos. Como é o caso do estudo realizado por (Furtado, A. *et al.*, 2016), onde paredes em tijolo 30×20×15 apresentaram resistências médias à compressão de 0,53 MPa e paredes em tijolo 30×20×11 apresentaram resistências médias à compressão de 0,81 MPa. Ainda num outro estudo levado a cabo por (Borges, A., 2015), onde se pretendia caracterizar a resistência à compressão de muretes de alvenaria, verificou-se que paredes compostas por tijolos de 30×20×15 apresentaram resistências médias à compressão de 0,54 MPa e paredes compostas por tijolos 30×20×11 apresentaram resistências médias à compressão de 0,8 MPa.

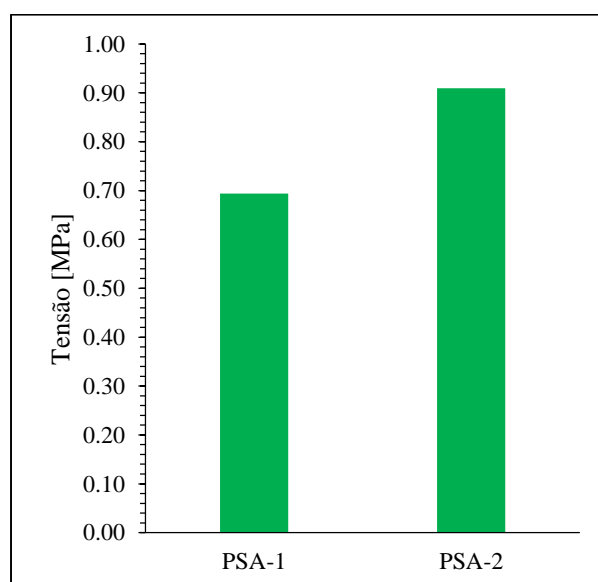


Figura 64 - Comparação das cargas máximas admitidas entre os provetes PSA-1 e PSA-2

Analisando a relação entre a deformação vertical das paredes e a tensão aplicada nas mesmas consegue-se perceber que estas apresentam comportamentos diferentes ao nível da rigidez, através da Figura 65 é possível afirmar que o provete PSA-2 apresenta uma rigidez bastante maior em comparação com o provete PSA-1. Esta informação será utilizada para perceber o funcionamento e interação entre os panos de alvenaria nos ensaios de paredes duplas de alvenaria.

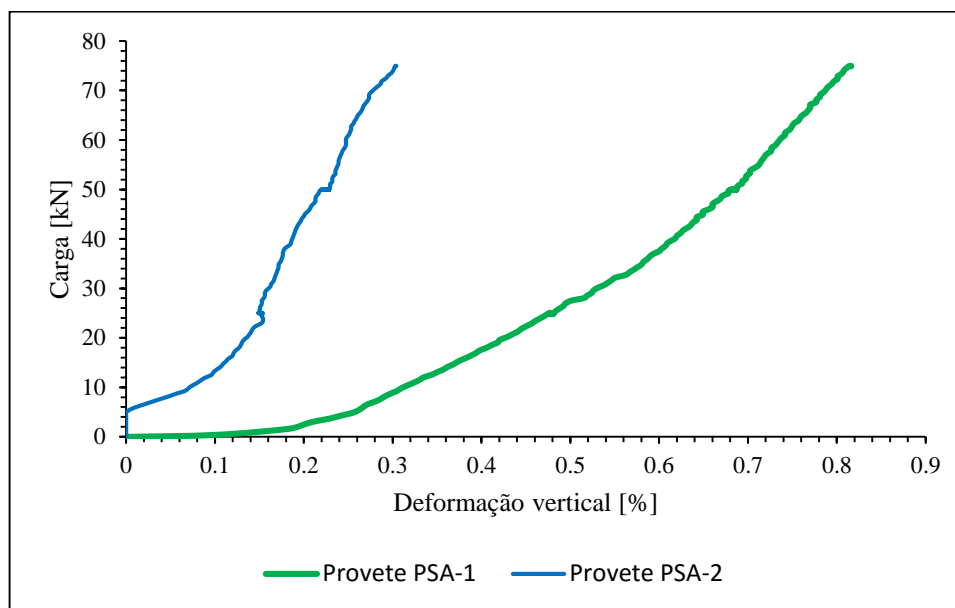


Figura 65 - Comparação tensão vs. deformação da parede entre os provetes PSA-1 e PSA-2

5.3. Resultados das paredes duplas de alvenaria

A segunda fase da campanha experimental corresponde aos ensaiadas das várias paredes duplas de alvenaria. Os ensaios destes provetes são os mais relevantes para a dissertação onde a campanha experimental se enquadra, pois permitem perceber a influência do grampeamento na estabilidade das paredes duplas de alvenaria, o grande foco deste estudo.

Os provetes ensaiados nesta segunda fase foram os provetes PDA-1, PDA-2, PDA-3, PDA-4, PDA-5 e PDA-6. Como já foi referido anteriormente todos estes provetes são constituídos por dois panos de alvenaria, um em tijolo de 30×20×11 e o outro em tijolo 30×20×15, distinguindo-se na quantidade e configuração de grampos que foi aplicada.

Apresenta-se de seguida os resultados obtidos, quer ao nível das medições quer ao nível dos danos observados para cada provete durante os ensaios.

5.3.1. Provete PDA-1

Ao analisar os dados provenientes do ensaio do provete PDA-1 constituído por uma parede dupla de alvenaria sem grampos, consegue-se perceber, através da Figura 66, que o provete apresentou um comportamento muito semelhante aos provetes de paredes simples de alvenaria, ou seja, um comportamento frágil.

O comportamento do provete foi relativamente linear até chegar à sua carga máxima apresentando pequenos pontos de perda repentina de carga, provocados por assentamentos da parede, a carga máxima admitida pelo provete foi de aproximadamente 123 kN. Após a carga máxima, que levou à fissuração dos septos dos tijolos do pano de tijolos de 30×20×11 (Figura 67), a força de carregamento voltou a aumentar gradualmente até chegar à carga de 120 kN, momento no qual se deu a rotura total do provete e os panos da parede colapsaram para fora do plano (um para cada lado) como se pode observar na Figura 68.

Através do resultado final deste ensaio, e observando os danos finais no provete, Figura 69, começa-se a perceber a possível vantagem e influência dos grampos na estabilidade das paredes duplas de alvenaria.

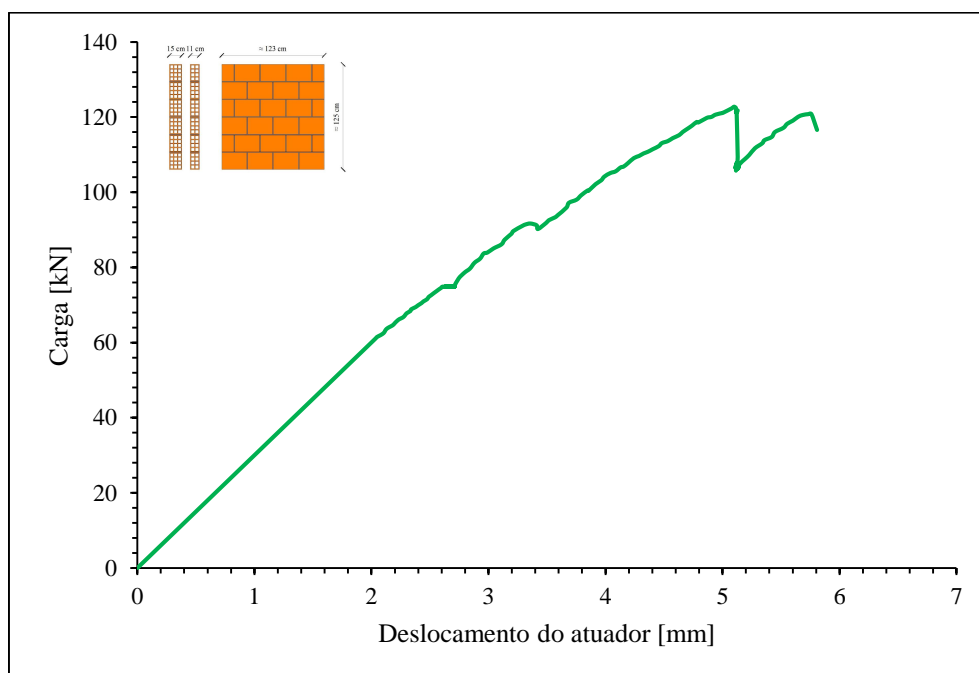


Figura 66 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-1



Figura 67 - Fissuração dos septos dos tijolos do pano de tijolos de 30x20x11



Figura 68 - Momento do colapso para fora do plano dos dois panos de alvenaria



Figura 69 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-1

Através do esquema de medição elaborado para registar a rotação da base das paredes, já descrito no capítulo anterior, foi possível obter os deslocamentos de rotação da base do pano semi-apoiado, Figura 70. Analisando o gráfico é possível perceber que a base do pano semi-apoiado sofre um fenómeno de rotação à medida que o provete é carregado, indicando assim que o tipo de apoio das paredes de alvenaria pode ter influência na estabilidade das mesmas.

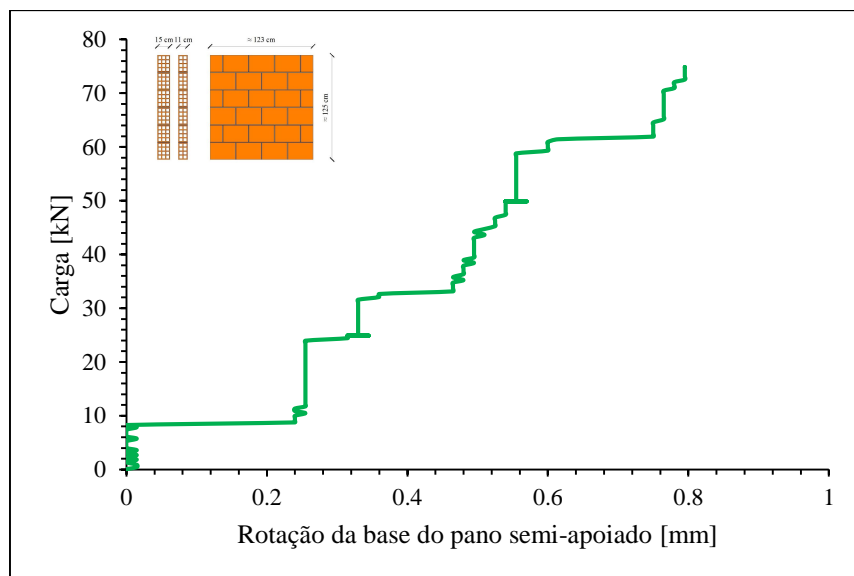


Figura 70 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-1

Por ultimo, para este ensaio foi possível registar as deformações verticais dos dois panos de alvenaria do provete PDA-1. Na Figura 71 é possível observar que, como seria de esperar, a deformação dos dois panos aumentou consoante o provete era carregado. É ainda de notar que o pano de tijolo de 30×20×15, pano semi-apoiado, começa a sofrer deformações quase no início do ensaio ao contrário do pano de tijolo 30×20×11 que só começa a sofrer deformações aos 35 kN aproximadamente.

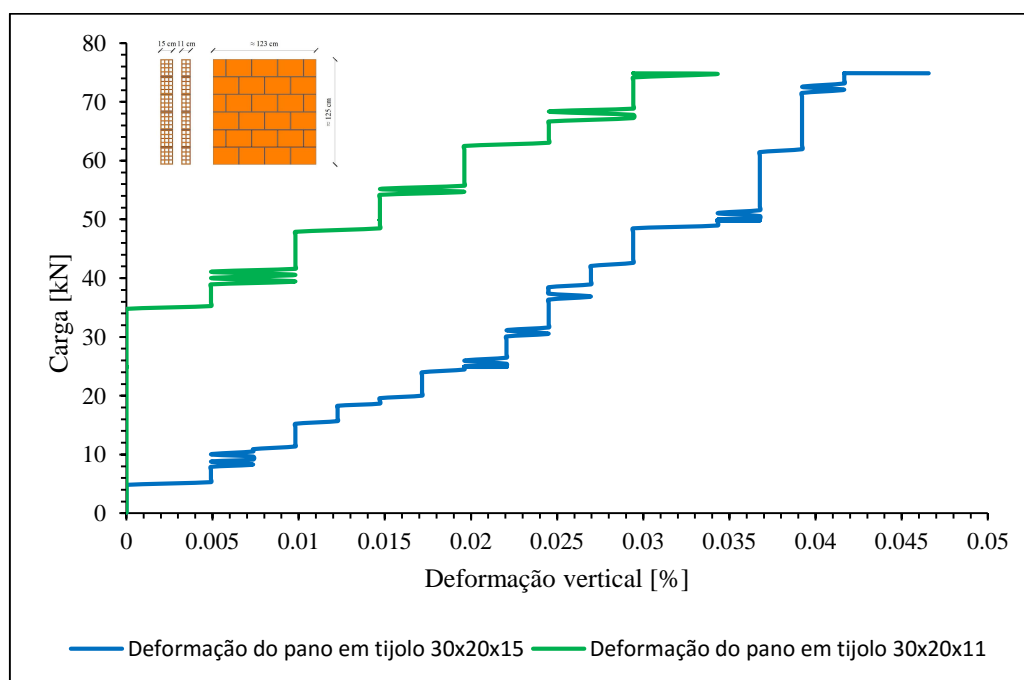


Figura 71 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria

5.3.2. Provete PDA-2

Ao analisar os dados provenientes do ensaio do provete PDA-2, provete igual ao provete PDA-1, consegue-se perceber, através da Figura 72, que o provete apresentou um comportamento muito semelhante ao provete PDA-2.

A carga máxima admitida pelo provete foi de aproximadamente 130 kN. Durante o ensaio verificou-se que os locais de rotura do provete foram na base dos dois panos, o sucessivo acumular de danos na base dos panos levou ao colapso para fora do plano do pano de tijolo de 30×20×15 semi-apoiado, ficando apenas o pano em tijolo de 30×20×11 de pé.

Mais uma vez através do resultado final deste ensaio, e observando os danos finais no provete, Figura 75, comprova-se a possível utilidade e influência dos grampos na estabilidade das paredes duplas de alvenaria. Neste ensaio foi ainda possível observar a influência do tipo de apoio da parede (apoio parcial) na estabilidade da mesma.

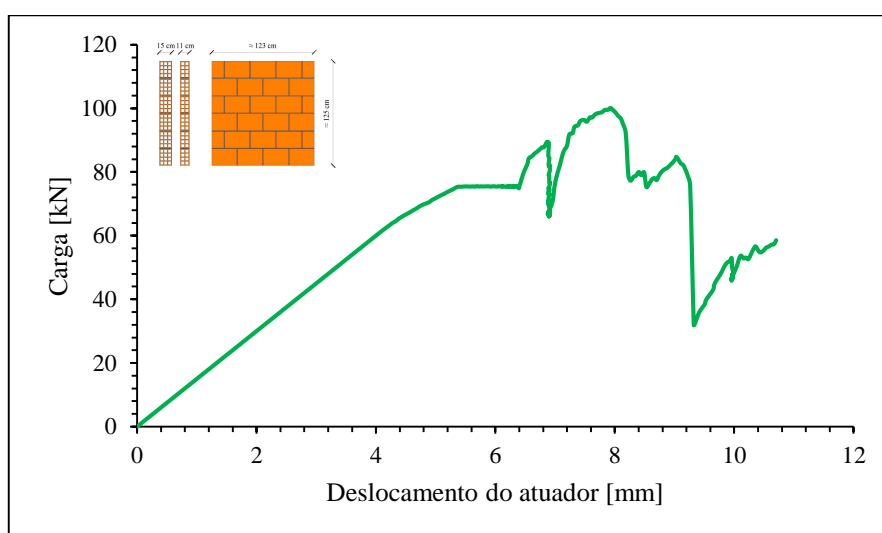


Figura 72 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-2



Figura 73 - Rotura da base dos panos de alvenaria



Figura 74 - Momento do colapso para fora do plano do pano semi-apoiado



Figura 75 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-2

À semelhança do ensaio ao provete PDA-1 este também apresentou deslocamentos de rotação na base do pano semi-apoiado à medida que o provete é carregado, como é visível na Figura 76.

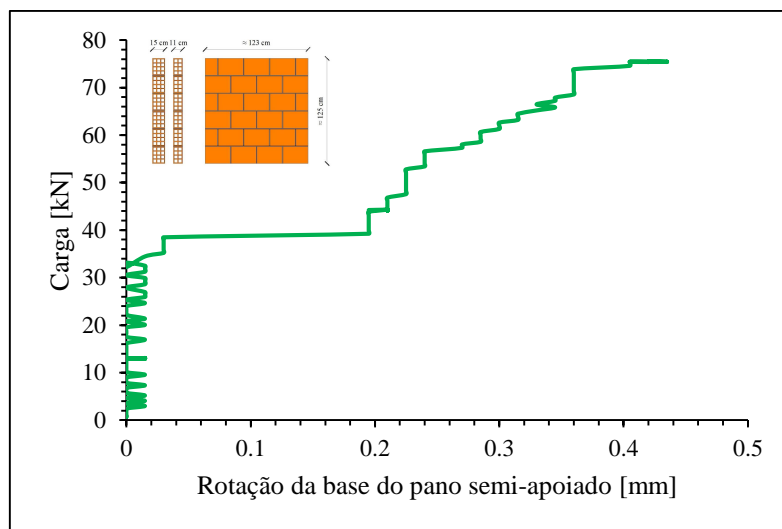


Figura 76 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-2

Relativamente às deformações verticais ocorridas nos panos de alvenaria, estas não foram analisadas pois surgiu um problema técnico no equipamento de aquisição de dados não sendo possível registar as deformações.

5.3.3. Provete PDA-3

Analisando os dados provenientes do ensaio do provete PDA-3 constituído por uma parede dupla de alvenaria com 4 grampos, consegue-se perceber, através da Figura 77, que o provete apresentou um comportamento carga vs. deslocamento muito linear.

A carga máxima admitida pelo provete foi de aproximadamente 144 kN, valor 6 % maior que o das paredes duplas sem grampos. Durante o ensaio verificou-se que os locais de rotura do provete foram semelhantes aos das paredes duplas já ensaiadas. É de notar que, comparado com as paredes duplas sem grampos, durante o ensaio nunca existiram perdas de carga significativas levando o provete a manter a sua rigidez até ao momento de colapso, Figura 78, muito perto do momento em que atingiu a carga máxima.

O colapso do provete deu-se para fora do plano, onde os dois panos de alvenaria funcionaram como um só colapsando ao mesmo tempo. Após o colapso do provete verificou-se que os grampos não se despegaram das juntas de assentamento horizontais, Figura 80, verificando-se assim uma boa aderência entre grampo/argamassa.

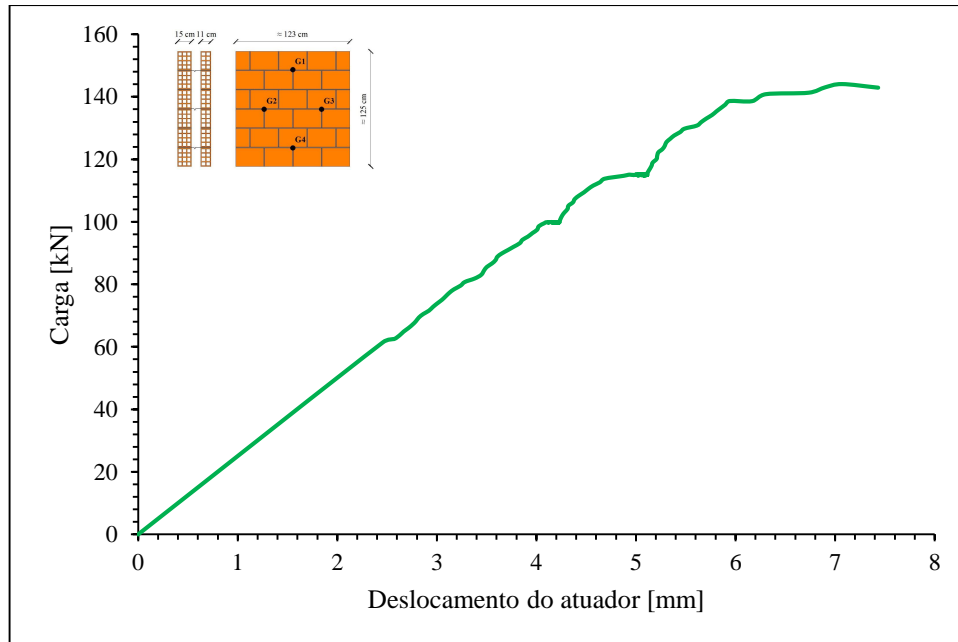


Figura 77 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-3



Figura 78 - Momento do colapso para fora do plano do conjunto



Figura 79 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-3



Figura 80 - Estado dos grampos após o colapso

Os resultados dos LVDT's horizontais, responsáveis por medir a rotação da base do pano semi-apoiado, revelaram mais uma vez que o pano semi-apoiado sofreu deslocamentos de rotação à medida que o ensaio decorria, a rotação progressiva do pano encontra-se representada na Figura 81.

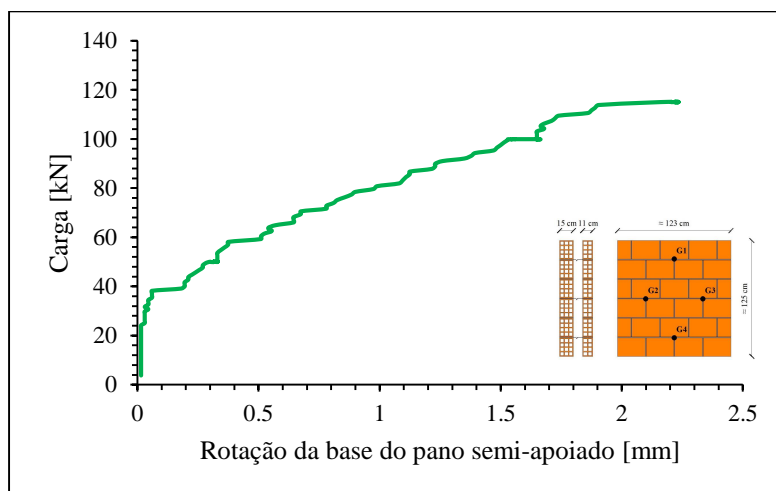


Figura 81 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-3

Para este ensaio foi possível registrar as deformações verticais dos dois panos de alvenaria do provete PSA-3. Na Figura 82 é possível observar que, como seria de esperar, a deformação dos dois panos aumentou consoante o provete era carregado. É ainda de notar que o pano de tijolo de 30×20×15, pano semi-apoiado, apresenta uma rigidez consideravelmente menor que o pano de tijolo 30×20×11.

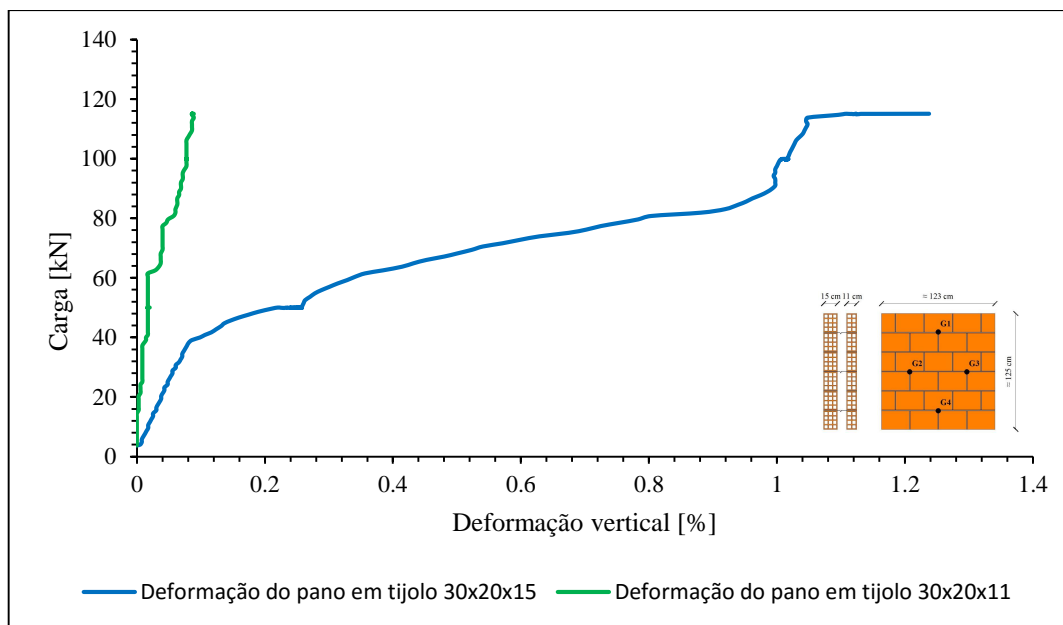


Figura 82 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria

Durante o ensaio foi ainda possível registrar as extensões existentes nos grampos à media que se dava o carregamento através da colocação de extensómetros, instrumentação mencionada anteriormente.

Na Figura 83 apresentasse a evolução ao longo do ensaio das extensões nos grampos aplicados nas paredes. Analisando o gráfico percebe-se que os grampos foram solicitados relativamente de igual forma na fase inicial do carregamento, até sensivelmente 80 kN, a partir deste patamar o grampo G2 começou a ser mais solicitado pois verificou-se durante o ensaio a rotação do pano semi-apoiado.

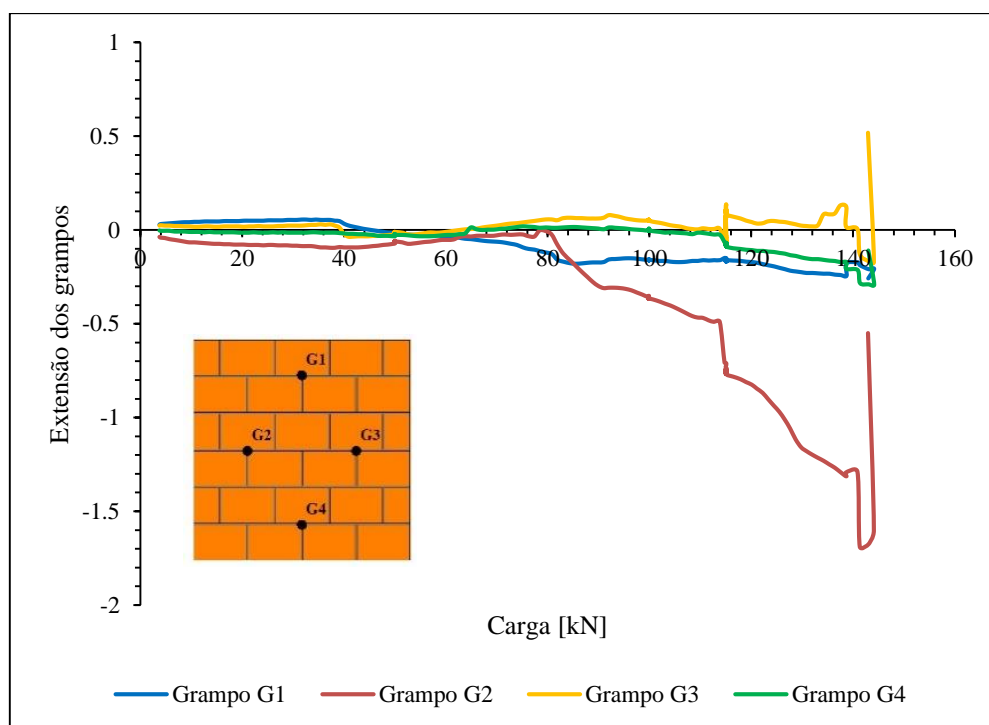


Figura 83 - Evolução da extensão dos grampos ao longo do carregamento

5.3.4. Provete PDA-4

Ao analisar os dados recolhidos durante o ensaio do provete PDA-4 constituído por uma parede dupla de alvenaria com 5 grampos consegue-se perceber, através da Figura 84, que o provete apresentou um comportamento carga vs. deslocamento muito linear até à carga de 110 kN, momento a partir do qual o provete apresentou um comportamento ciclo crescente de perda e ganho de capacidade de carga. Este fenómeno de perda e ganho de capacidade de carga deveu-se às sucessivas roturas dos septos dos tijolos dos dois panos de alvenaria, Figura 85, que posteriormente voltavam a recuperar admitindo novamente cada vez mais carga. O ciclo de perda e ganho findou quando o provete atingiu a sua capacidade de carga máxima de 139 kN

Após atingida a capacidade de carga máxima o provete foi sendo esmagado à medida que o atuador descia começando a descer a capacidade de carga do provete (Figura 86), momento no qual se terminou o ensaio, porque apesar de o provete não ter colapsado, ao contrário dos anteriores, este já não apresentava capacidade de aguentar novos carregamentos.

É de salientar que mesmo após se desencostar o atuador do provete no final do ensaio, como se pode visualizar na Figura 86, o provete manteve-se de pé evidenciando que os grampos contribuíram para a estabilidade do provete solidarizando os dois panos.

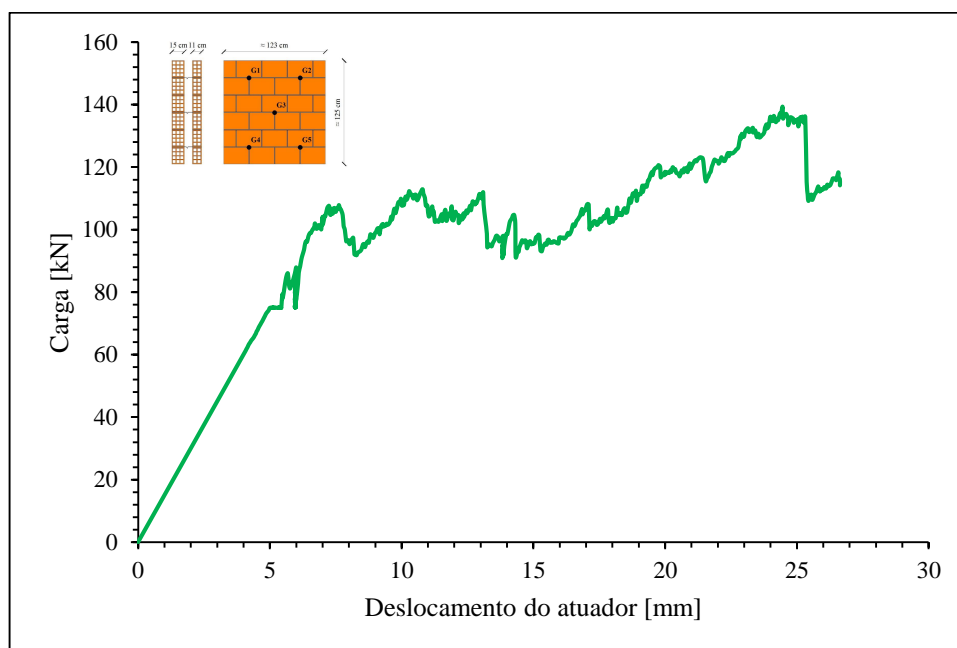


Figura 84 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-4



Figura 85 - Rotura dos septos dos tijolos no topo do pano de tijolo 30×20×11



Figura 86 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-4

Os resultados dos LVDT's horizontais, responsáveis por medir a rotação da base do pano semi-apoiado, revelaram mais uma vez que o pano semi-apoiado sofreu deslocamentos de rotação à medida que o ensaio decorria, a rotação progressiva do pano encontra-se representada na Figura 87.

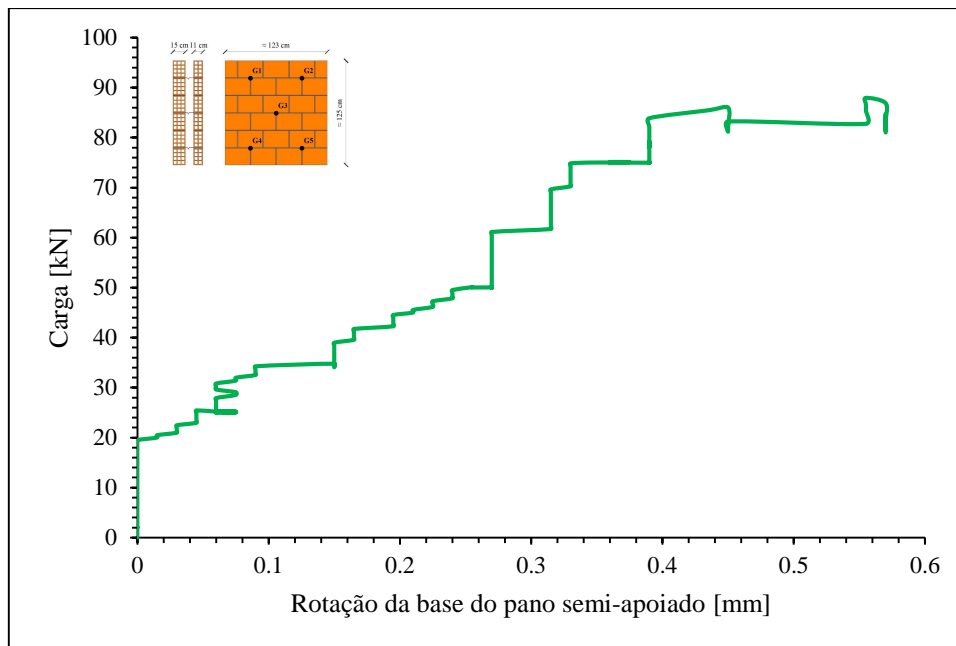


Figura 87 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-4

Relativamente às deformações verticais ocorridas nos panos de alvenaria, estas não foram analisadas pois surgiu, mais uma vez um problema técnico no equipamento de aquisição de dados não sendo possível registar as deformações verticais.

Contudo durante o ensaio foi possível registar as extensões existentes nos grampos à media que se dava o carregamento através da colocação de extensómetros. Na Figura 88 apresentasse a evolução ao longo do ensaio das extensões nos grampos aplicados nas paredes. Analisando o gráfico percebe-se que os grampos mais solicitados foram os dois grampos no topo da parede (G1 e G2) e o grampo a meio da parede (G3), comparativamente os dois grampos presentes na base do provete (G4 e G5) não foram tão solicitados.

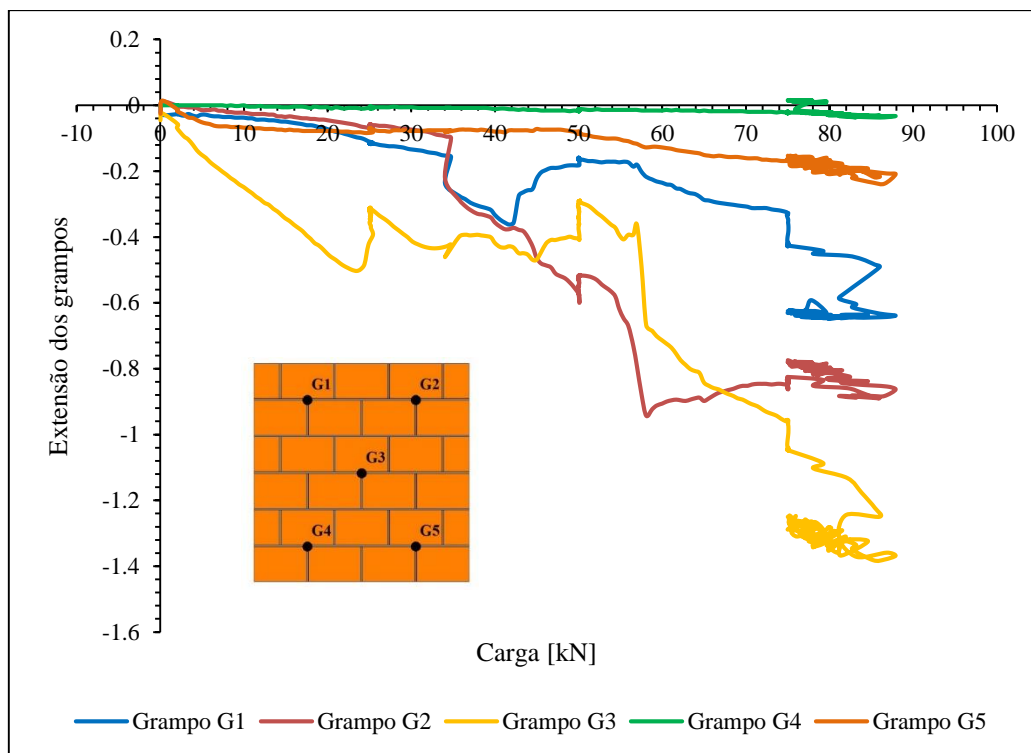


Figura 88 - Evolução da extensão dos grampos ao longo do carregamento

5.3.5. Provete PDA-5

Após a análise dos dados recolhidos durante o ensaio do provete PDA-5 constituído por uma parede dupla de alvenaria com 9 grampos, consegue-se perceber, através da Figura 89, que o comportamento do provete foi relativamente linear até chegar à sua carga máxima apresentando pequenos pontos de perda repentina de carga, provocados por assentamentos da parede, a carga máxima admitida pelo provete foi de aproximadamente 200 kN.

A partir do momento em que se atingiu a carga máxima o provete apresentou um comportamento semelhante ao do provete PDA-4 evidenciando um ciclo de perda e ganho de capacidade de carga. Este fenómeno de perda e ganho de capacidade de carga deveu-se às sucessivas roturas dos septos dos tijolos dos dois panos de alvenaria. Com a continuação do ensaio o provete foi sendo esmagado à medida que o atuador descia começando a descer a capacidade de carga do provete, momento no qual se terminou o ensaio, porque apesar de o provete não ter colapsado como o provete PDA-4 este já não apresentava capacidade de aguentar novos carregamentos.

Mais uma vez verificou-se que os grampos asseguraram a estabilidade da parede mesmo depois do final do ensaio, pois após se desencostar o atuador o provete manteve-se de pé como se pode visualizar na Figura 90.

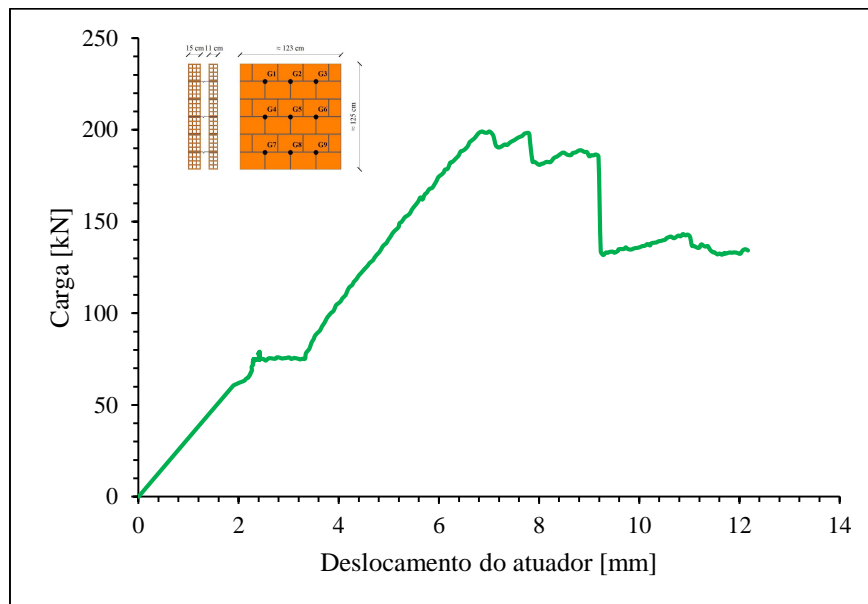


Figura 89 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-5



Figura 90 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-5

Os resultados dos LVDT's horizontais, responsáveis por medir a rotação da base do pano semi-apoiado, revelaram mais uma vez que o pano semi-apoiado sofreu deslocamentos de rotação à medida que o ensaio decorria, a rotação progressiva do pano encontra-se representada na Figura 91.

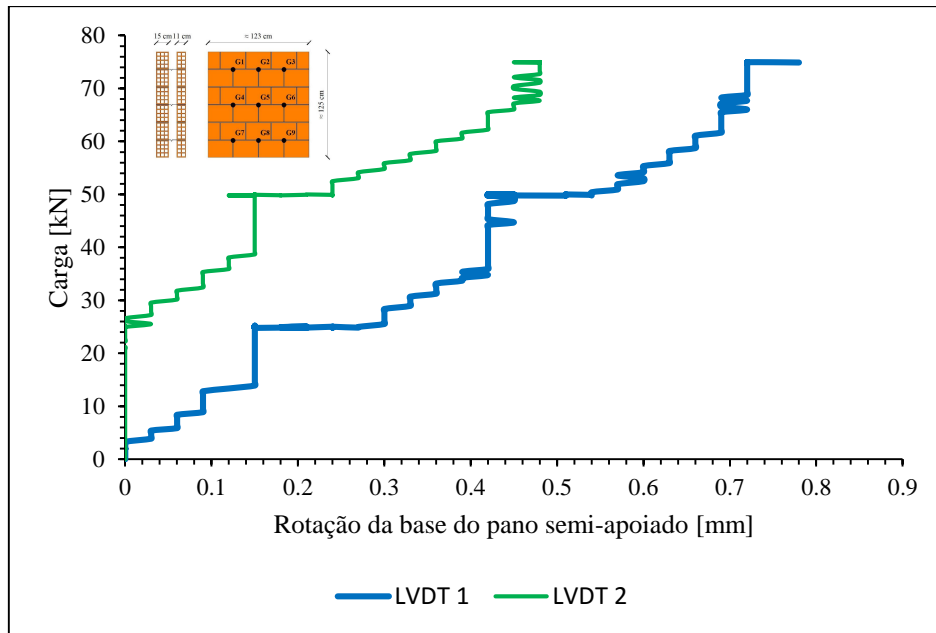


Figura 91 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-5

Para este ensaio foi possível registrar as deformações verticais dos dois panos de alvenaria do provete PSA-5. Na Figura 92 é possível observar que, contrariamente ao que aconteceu nos provetes sem grampos, os dois panos de alvenaria apresentaram uma rigidez muito semelhante, comportamento indicativo de que os grampos asseguraram que os dois panos trabalhassem como um só.

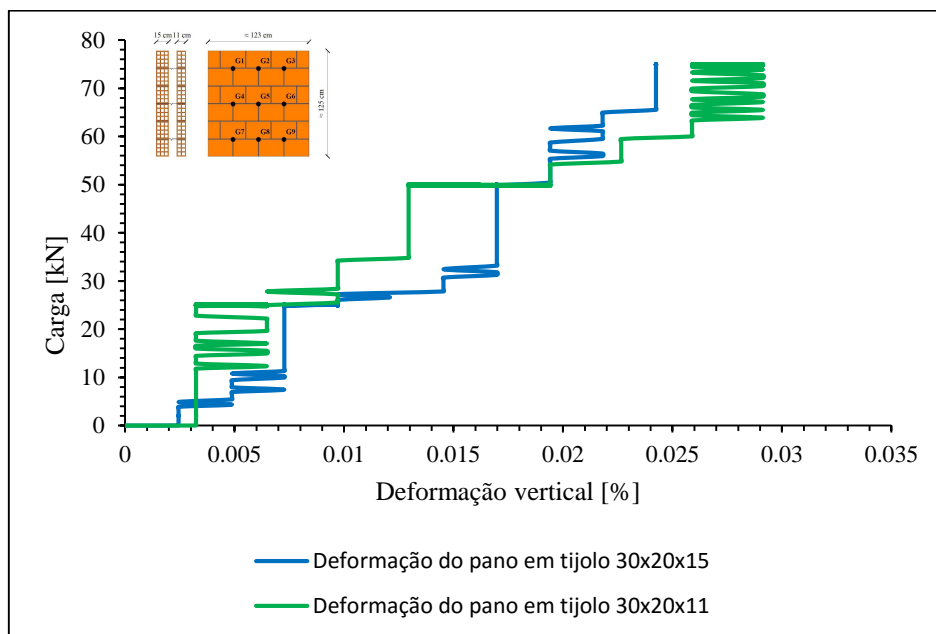


Figura 92 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria, provete PDA-5

Infelizmente não foi possível registar as extensões impostas nos grampos para este ensaio pois a aquisição dos dados fornecidos pelos extensómetros falhou devido a problemas no equipamento de aquisição e medição.

5.3.6. Provete PDA-6

Ao analisar os dados recolhidos durante o ensaio do provete PDA-5 constituído por uma parede dupla de alvenaria com duas armaduras “Murfor”, consegue-se perceber, através do Figura 93, que o carregamento ocorreu de forma não linear, existindo fases onde a carga aplicada aumentava com o deslocamento do atuador e fases onde apenas se verificava o aumento do deslocamento do atuador, não existindo acréscimo de carga. Este fenómeno é explicado pelo facto de os dois panos do provete sofrerem fissurações e roturas sucessivas nos tijolos, Figura 94, durante o ensaio ocorrendo deslocamentos do atuador sem acréscimos de carga, ocorrência esta que era alternada com a nova capacidade do provete admitir carga depois de o provete acomodar os danos provocados nos tijolos.

A carga máxima admitida pelo provete foi de 167 kN, momento no qual o pano em tijolo de 11 colapsou ficando apenas seguro pelas armaduras como se pode observar na Figura 95.

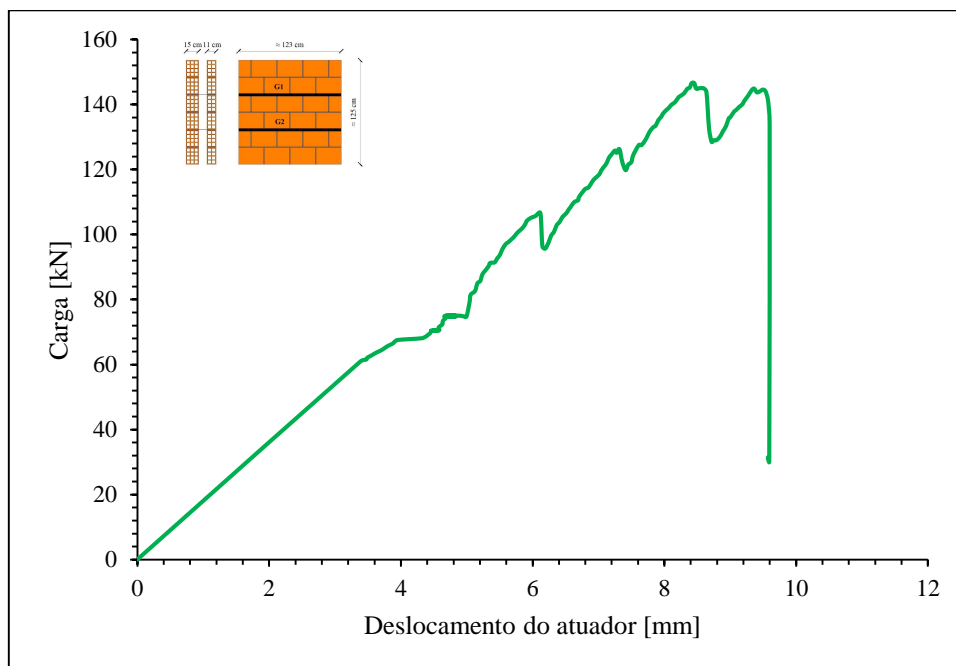


Figura 93 - Carga vs. deslocamento do atuador, provete PDA-6



Figura 94 - Fissuração dos tijolos durante o ensaio



Figura 95 - Resultado final do ensaio ao provete PDA-6

Na Figura 96 é possível observar a rotação da base do pano semi-apoiado registada pelos LVDT's, verificando-se que o pano semi-apoiado sofreu deslocamentos de rotação à medida que o ensaio decorria.

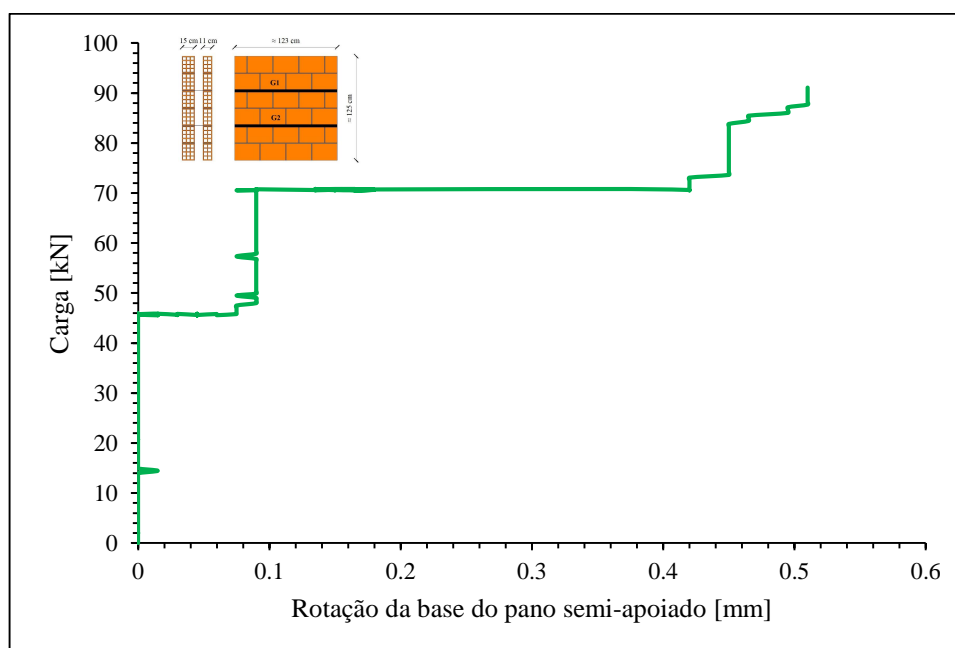


Figura 96 - Carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado, provete PDA-6

No que diz respeito às deformações verticais registadas nos dois panos de alvenaria, pode observar-se que, as deformações entre panos tendem a variar ao longo do ensaio, como é perceptível na Figura 97. Este fenómeno ocorre porque as fissurações e danos que ocorreram nos dois panos foram diferentes, o que originou variações na sua rigidez.

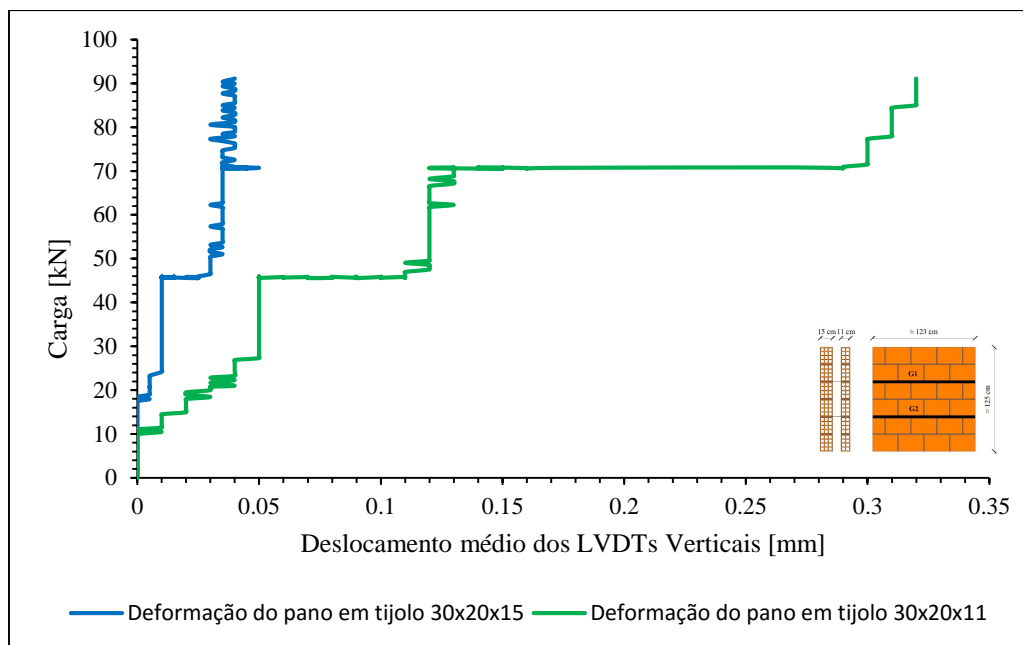


Figura 97 - Carga vs. deformação dos panos de alvenaria, provete PDA-6

As armaduras da “Murfor” aplicadas neste provete não foram instrumentadas com extensómetros, pelo que não foi possível medir as suas extensões durante o ensaio.

5.3.7. Síntese dos resultados dos ensaios das paredes duplas de alvenaria

Realizada a análise individual do ensaio dos provetes de paredes duplas de alvenaria, é possível dar resposta ao principal foco e objetivo desta dissertação: análise da eficiência do grampeamento em paredes duplas de alvenaria.

Através da comparação das cargas máximas admitidas em cada provete durante o respetivo ensaio é possível observar que, com base na Figura 98, a capacidade de carga tendeu a aumentar de provete para provete, à medida que o número de grampos aplicados aumentava. A partir deste primeiro indicador, capacidade de carga dos provetes, pode

afirmar-se que, como seria expectável, a utilização de grampos influencia positivamente o comportamento das paredes duplas de alvenaria.

Assim, é de notar que, o provete que possuía 5 grampos deteve uma capacidade de carga relativamente menor à que o provete com 4 grampos apresentou. Contudo, por se tratar de uma campanha experimental com uma amostragem muito reduzida de provetes, não se pode concluir que, a configuração de 4 grampos é mais efetiva na melhoria do comportamento da parede em comparação com a de 5 grampos.

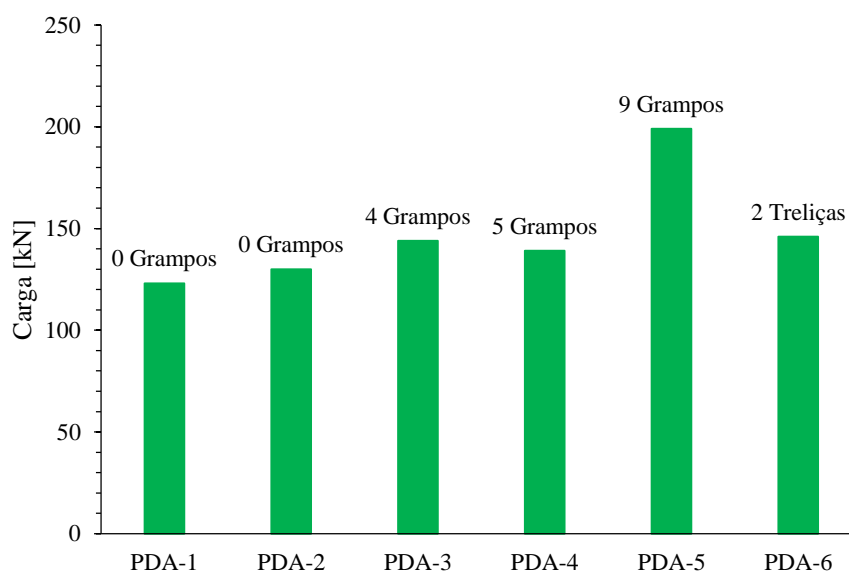


Figura 98 - Comparação das cargas máximas admitidas entre os provetes de alvenaria dupla

Ao analisar a Figura 99 pode verificar-se que, os provetes com grampos (PDA-3, PDA-4, PDA-5 e PDA-6) demonstraram ser os que detinham maior capacidade de carga, contrariamente aos provetes sem grampos (PDA-1 e PDA-2). É ainda perceptível o facto de os provetes com grampos, especialmente o provete PDA-4, apresentarem uma grande capacidade de absorção de carga e respetivo deslocamento do atuador ao longo do ensaio.

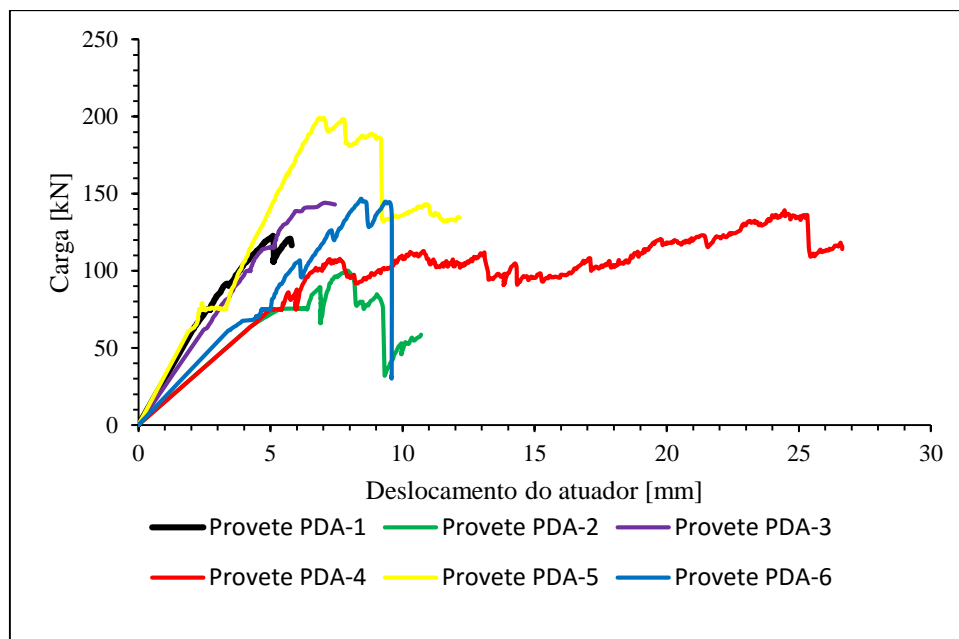


Figura 99 - Comparação das cargas vs. deslocamentos do atuador para cada provete

Um outro indicador da influência dos grampos na estabilidade das paredes é a rotação da base do pano semi-apoiado das paredes duplas de alvenaria, uma vez que estes podem transmitir os esforços do pano semi-apoiado para o pano completamente apoiado, evitando assim a rotação e conseqüente colapso para fora do plano do pano.

Com base na observação da Figura 100, pode verificar-se que, o provete sem grampos PDA-2, apresentou, de entre os restantes, o maior deslocamento na base da parede. Contudo, é de notar que, o valor de rotação da base do provete PDA-1 se encontra distante do valor de rotação da base do seu provete semelhante, PDA-2. Assim, este facto pode indicar um possível *outlier*, o que só seria possível confirmar com a realização de um maior número de ensaios da mesma tipologia de provete. Já os provetes com grampos apresentaram, de forma consistente, rotações semelhantes.

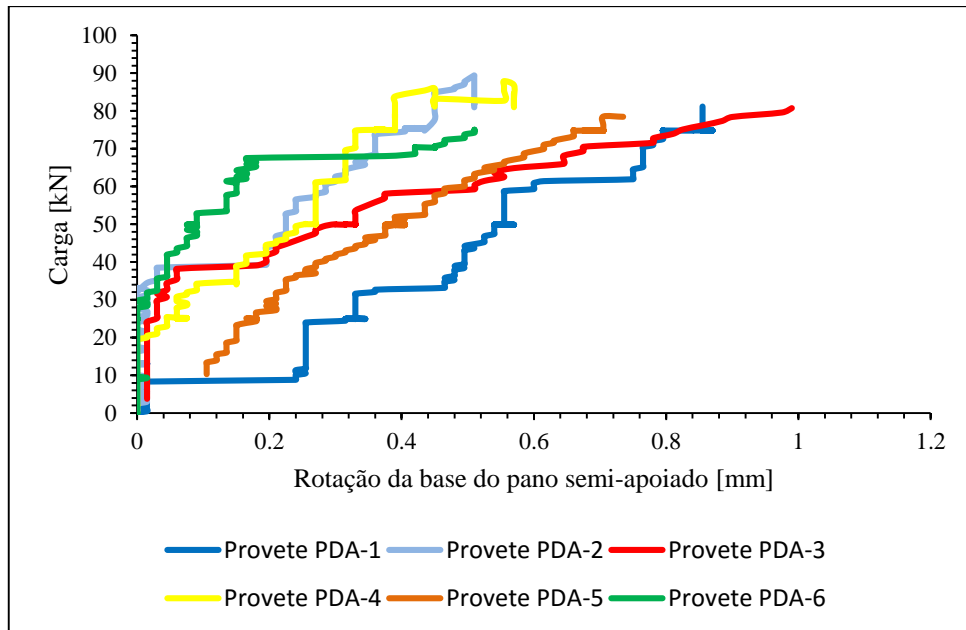


Figura 100 - Resumo da carga vs. rotação da base do pano semi-apoiado de todos os provetes com paredes duplas de alvenaria

Deste modo, mais do que qualquer instrumentação, o registo fotográfico e a filmagem representam os métodos de aquisição de dados mais importantes para este tipo de ensaios, dado que, permitem registar e identificar fissurações, roturas e danos nos provetes à medida que os ensaios progridem. Assim, comparando as imagens relativas ao resultado final de cada ensaio, pode constatar-se claramente que os grampos desempenham um papel preponderante na estabilidade das paredes duplas de alvenaria. Em relação aos dois provetes sem grampos (PDA-1 e PDA-2), observou-se o colapso para fora do plano de um ou dos dois panos de alvenaria. Já relativamente aos provetes com grampos, estes evidenciaram resultados finais bastante mais satisfatórios, dado que, apenas se verificou o colapso do provete PDA-3 como se observa na Figura 102.



Figura 101 - Resultado final dos ensaios aos provetes sem grampos PDA-1 e PDA-2



Figura 102 - Resultado final dos ensaios aos provetes com grampos PDA-3, PDA-4, PDA-5 e PDA-6, respetivamente

6. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Introdução

As paredes duplas de alvenaria têm sido amplamente utilizadas como sistema de enchimento em edifícios de betão armado, contudo ainda existem muitas questões no que diz respeito ao seu comportamento quando conjugadas com as estruturas em betão armado. A fim de dar resposta a estas questões, têm vindo a ser desenvolvidos vários estudos abordando inúmeros fatores que influenciam direta ou indiretamente o comportamento das paredes. Todavia pode constatar-se que a questão do grampeamento de paredes duplas de alvenaria sofre ainda de um incompleto conhecimento devido à escassez de trabalhos científicos, o que motivou o desenvolvimento desta dissertação.

Assim, pretendeu-se com a presente dissertação estudar a influência do grampeamento na estabilidade de paredes duplas de alvenaria quando sujeitas a carregamentos verticais. O estudo efetuado baseou-se no desenvolvimento de uma campanha experimental, onde se procedeu ao ensaio de vários provetes de paredes duplas de alvenaria, com várias configurações e diferentes quantidades de grampos. A partir dos resultados obtidos e de alguns parâmetros determinados, foi possível compreender e de certa forma, tecer algumas observações e conclusões.

6.2. Conclusão

A campanha experimental revelou-se bastante trabalhosa, desde a fase inicial da construção dos provetes até ao ensaio dos mesmos, onde se tornou necessário recorrer a novos métodos e se apelou à criatividade para instrumentar os provetes e extrair o máximo de informação possível dos mesmos.

Apresentam-se, de seguida, as observações e conclusões alcançadas a partir dos resultados obtidos e apresentados ao longo desta dissertação.

Assim, através dos resultados dos ensaios aos provetes de paredes simples de alvenaria, PSA-1 e PSA-2, foi possível perceber que os dois provetes apresentaram comportamentos díspares no decorrer do ensaio, sendo que o provete PSA-2, composto por tijolos 30×20×11, apresentou uma resistência maior comparativamente ao provete PSA-1, composto por tijolos 30×20×11. Relativamente a esta fase de ensaios foi ainda perceptível uma diminuição da rigidez do provete PSA-1 para o provete PSA-2.

A partir dos resultados da segunda fase de ensaios, onde foram ensaiados os provetes constituídos por paredes duplas de alvenaria com e sem grampos, PDA-1 PDA-2 PDA-3 PDA-4 PDA-5 e PDA-6, verificou-se claramente que a resistência dos provetes aumentou, à medida que, o número de grampos ia crescendo, de provete para provete, primeiro indicador de que os grampos assumem um papel positivo na estabilidade das paredes de alvenaria.

Ainda na segunda fase de ensaios, comprovou-se que o tipo de apoio parcial utilizado aliado à ausência de grampos deteve uma grande influência no colapso da parede para fora do seu plano, verificando-se assim o colapso dos panos de alvenaria dos provetes PDA-1 e PDA-2.

Torna-se ainda importante salientar que para este tipo de ensaios, mais do que qualquer medição ou registo de dados, o aspeto final dos provetes após os ensaios é essencial, dado tratar-se de um relevante indicador da influência dos grampos na estabilidade das paredes. Assim, resumidamente verificou-se o colapso para fora do plano dos provetes PDA-1 (0 grampos), PDA-2 (0 grampos) e PDA-3 (4 grampos), contudo para os provetes PDA-4 (5 grampos), PDA-5 (9 grampos) e PDA-6 (2 armaduras) tal colapso não se verificou tendo-se mantido o provete na posição vertical, apesar dos danos provocados nas unidades de alvenaria.

Por último, importa mencionar que devido à natureza heterogénea dos provetes, provetes constituídos por vários materiais, os ensaios poderão ter apresentado resultados que não correspondem à realidade, pelo que seria necessário aumentar o número de amostras para cada tipo de provete, a fim de se tornar estatisticamente correto tecer mais conclusões sobre este tema.

6.3. Trabalhos futuros

Com base no estudo efetuado apresentam-se, de seguida, propostas para futuros estudos experimentais:

- Continuar a campanha experimental realizada nesta dissertação, aumentando a tipologia e quantidade de grampos, bem como a amostragem de cada tipo de provete, procurando assim alcançar conclusões com um grau de certeza superior;
- Desenvolver novos ensaios com métodos de aplicação de carga diferentes, como por exemplo a utilização de *Airbags* para aplicação de cargas horizontais;
- Desenvolver um estudo que culminasse na determinação de um número ótimo de grampos por metro quadrado a utilizar na construção de paredes duplas de alvenaria de enchimento.

Bibliografia

- APICER. (2000). *Manual de Alvenaria de Tijolo*.
- BIU. (2005a). Ficha técnica armaduras Murfor.
- BIU. (2005b). Ficha técnica grampo tradicional com pingadeira.
- Borges, A. (2015). *Identificação das tipologias de paredes de alvenaria de enchimento e caracterização do sistema estrutural em edifícios existentes de betão armado*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- CEN. (1999). *EN1015-11-Methods of test for mortar for masonry – Part 11: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*.
- CEN. (2002a). *NP EN1052-1-Método de ensaio para alvenarias. Parte 1: Determinação da resistência à compressão*.
- CEN. (2002b). *NP EN 772-1-Métodos de ensaio de blocos para alvenaria – part3 1: Determinação da resistência à compressão*.
- CEN. (2005). *Eurocode 6 Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for buildings. Rules for reinforced and unreinforced masonry*.
- CEN. (2010). *Eurocódigo 8 Projeto de estruturas para resistência aos sismos - Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios*.
- Dawe, J., & Seah, C. (1988). Out-of-plane resistance of concrete masonry infilled panels. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 854-864.
- Furtado, A., Costa, C., Rodrigues, H., & Arêde, A. (2014). *Characterization of structural characteristics of Portuguese RC buildings with masonry infill walls stock*. Paper presented at the 9th International Masonry Conference, Guimarães.
- Furtado, A., Rodrigues, H., Arêde, A., & Varum, H. (2016). Experimental evaluation of out-of-plane capacity of masonry infill walls. *Engineering Structures*, 111, 48-63.
- Lourenço, P., Pereira, M., Leite, J., & Costa, A. (2011). *Comportamento das paredes não estruturais a ações sísmicas*. Paper presented at the Seminário sobre Paredes Divisórias, Porto.

- Martins, A., Vasconcelos, G., & Costa, A. (2016). *Caracterização Experimental do Comportamento de Ligadores em Paredes de Tijolo Face à Vista à Tração e à Compressão*. Paper presented at the 10º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica, Açores.
- Mortars, C. (2001). Educational Guide to Mortar Testing.
- Oliveira, F. (2001). *Reabilitação de paredes de alvenaria pela aplicação de revestimentos resistentes de argamassa armada*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Pereira, M. (2005). *Anomalias em Paredes de Alvenaria sem Função Estrutural*. Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães.
- Pereira, M. (2010). *Caracterização Experimental da Resposta Mecânica no Seu Plano e Fora do Plano de Paredes de Alvenaria de Enchimento*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- Pereira, M., Aguiar, J., Camões, A., & Cruz, H. (2010). *Caracterização de argamassas para assentamento de alvenaria de tijolo*. Paper presented at the 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Lisboa.
- Pinho, F. (2007). *Paredes de Alvenaria Ordinária Estudo Experimental com Modelos Simples e Reforçados*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Prélis. (2014a). Ficha técnica tijolo cerâmico 300x196x110. Leiria.
- Prélis. (2014b). Ficha técnica tijolo cerâmico 300x196x150. Leiria.
- Ribeiro, S. (2013). *Soluções de Reabilitação - Grampeamento de Paredes de Alvenaria*. Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Rodrigues, H. (2005). *Desenvolvimento e calibração de modelos numéricos para a análise sísmica de edifícios*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- Santos, L. (2016). *Caracterização experimental do comportamento de painéis de alvenaria de enchimento fora-doplano com diferentes condições de apoio*. Faculdade de Engenharia do Porto, Universidade do Porto, Porto.
- Soares, F. (2012). *Comportamento mecânico de alvenaria. A influência de abertura de roços*. Universidade de Aveiro, Aveiro.

Sousa, H. (2002). *Alvenarias em Portugal Situação Actual e Perspectivas Futuras* Paper presented at the Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto.

Sousa, H. (2003). *Sebenta de Construções em Alvenaria*. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Varum, H., Rodrigues, H., Vicente, R., & Costa, A. (2011). *A influência das paredes de enchimento na resposta sísmica de estruturas de edifícios* Paper presented at the Seminário "Paredes Divisórias: Passado, Presente e Futuro", Porto.

Vicente, R., H., R., Varum, H., Costa, A., & Silva, J. M. d. (2010). *Danos em paredes de alvenaria de fachada em edifícios correntes de betão armado: Lições do sismo de abril de 2009 de l'áquila itália*. Paper presented at the SÍSMICA 2010 – 8º CONGRESSO DE SISMOLOGIA E ENGENHARIA SÍSMICA.

Vicente, R., & J., M. d. S. (2006). Defects of non-loadbearing masonry walls due to partial basal supports. *Construction and Building Materials*, 21, 1977-1990.