

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PAREDES DE ALVENARIA AO CORTE

JOÃO MÁRIO MIRANDA DO NASCIMENTO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Hipólito José Campos de Sousa

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

RESUMO

O trabalho apresentado resulta de um trabalho de natureza fundamentalmente experimental, levado a cabo no Laboratório de Sistemas e Componentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Este consistiu na realização de uma campanha experimental onde se procurou avaliar a influência da presença de revestimentos na resistência mecânica de uma parede de alvenaria ao corte.

Aborda-se no trabalho o estado de arte das construções em alvenaria, com especial destaque para as alvenarias estruturais. São focados os métodos de dimensionamento destas estruturas, em particular os que se encontram actualmente em vigor, definidos pelo Eurocódigo 6.

É também abordada a temática dos revestimentos de parede, e analisado o seu papel no desempenho das paredes de alvenarias. Salienta-se que o trabalho desenvolvido se foca especificamente nos revestimentos simples de argamassa, pelo que a estes é dado o natural destaque.

A campanha experimental desenvolvida consistiu no ensaio de duas séries de provetes de alvenaria de blocos de betão, sendo uma das séries dotada de um revestimento de argamassa. O estado de tensão que se pretendeu estudar consistia na actuação simultânea de forças de compressão e corte, o que justificou a escolha de um ensaio de compressão diagonal, de acordo com a norma americana ASTM E519-02.

PALAVRAS-CHAVE: alvenaria, revestimento, argamassa, resistência ao corte, compressão diagonal.

ABSTRACT

The following project is the result of a work of a mostly experimental nature, conducted in the Laboratory of Systems and Components of Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. The project consisted in the conduction of an experimental work, aimed at measuring the influence of the presence of renders in the mechanical resistance of a masonry wall.

The study covers the state of the art for masonry construction, with particular emphasis on structural masonry. It also emphasizes the methods for designing these structures, in particular the code methods currently employed, as defined in the Eurocode 6.

The thematic of wall renders is also covered, as well as their function in the performance of masonry walls. It should be noted that as the conducted experimental study is focused in mortar finishings in particular, these are therefore naturally highlighted.

The experimental campaign consisted on the testing of two series of masonry wall specimens, built in laboratory, one of which is reinforced with a mortar overlay. The stress state aimed by this study was a combination of compressive and shear stress, justifying the option for a diagonal tension test, according to the american standard ASTM E519-02.

KEYWORDS: masonry, renders, mortar, shear strength, diagonal tension.

ÍNDICE GERAL

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1. ALVENARIAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL	1
1.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA	1
1.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DE PAREDES DE ALVENARIA	4
1.3. ALVENARIAS ESTRUTURAIS	4
1.4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS	6
1.5. SISTEMAS ETICS	2
1.6. MATERIAIS	8
1.6.1. GENERALIDADES	8
1.6.2. UNIDADES DE ALVENARIA	8
1.6.2.1. Tijolo Cerâmico	8
1.6.2.2. Bloco de Betão	11
1.6.2.3. Pedra	12
1.6.2.4. Classificação Segundo o Eurocódigo 6	13
1.6.2. ARGAMASSA	14
1.6.3. OUTROS COMPONENTES	15
2. REVESTIMENTOS PARA ALVENARIAS	17
2.1. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	17
2.2. CLASSIFICAÇÃO	18
2.3. MATERIAIS CONSTITUINTES	20
2.3.1. GENERALIDADES	20
2.3.2. LIGANTES	20
2.3.2.1. Cimento	20
2.3.2.2. Gesso	22
2.3.2.3. Cal	23
2.3.3. AGREGADO	23
2.3.4. ADITIVOS	25
2.3.5. FIBRAS DE REFORÇO	25

2.4. APLICAÇÃO EM OBRA	25
2.4.1. MÉTODOS DE APLICAÇÃO	25
2.4.2. TRAÇOS.....	26
3. RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ALVENARIAS	31
3.1. MÉTODOS DE CÁLCULO E PARÂMETROS CONSIDERADOS	31
3.2. MÉTODOS DE CÁLCULO DO EUROCÓDIGO 6	32
3.2.1. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO.....	32
3.2.1.1. Expressões do Eurocódigo 6.....	32
3.2.1.2. Resultados Experimentais do Documento Nacional de Aplicação Português.....	35
3.2.2. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA AO CORTE	36
3.2.3. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À FLEXÃO	38
3.3. INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA	40
4. CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL	43
4.1. OBJECTIVO E NORMALIZAÇÃO	43
4.2. PORMENORIZAÇÃO DO ENSAIO	44
4.2.1. INFORMAÇÕES GERAIS DO ENSAIO.....	44
4.2.2. UNIDADES DE ALVENARIA	44
4.2.3. ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REBOCO.....	44
4.2.4. CARACTERÍSTICAS DOS PROVETES	45
4.2.5. EQUIPAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO	46
4.3. PROCEDIMENTO	48
4.3.1. EXECUÇÃO EXPERIMENTAL.....	48
4.2.2. CÁLCULOS EFECTUADOS.....	50
5. RESULTADOS	53
5.1. RESULTADOS	53
5.1.1. SÉRIE 1	53
5.1.2. SÉRIE 2	56
5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS	58

6. CONCLUSÕES61

BIBLIOGRAFIA.....63

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Grande pirâmide do Egito	1
Fig. 2 - Acrópole de Atenas e edifício de banhos romano	2
Fig. 2 - Cidadela de Carcassonne, França	2
Fig. 2 - City Hall, Filadélfia, e Monadnock Building, Chicago	3
Fig. 2 - Edifícios em alvenaria estrutural: Felice Due, Curitiba, e Solar dos Alcantara, São Paulo.....	3
Fig.6 – Construção em alvenaria estrutural	5
Fig.7 – Alvenaria armada	6
Fig.8 – Evolução dos sistemas construtivos em Portugal.....	6
Fig.9 – Paredes duplas	7
Fig.10 – Paredes simples.....	8
Fig.11 – Parede de dois panos	8
Fig.12 – Sistema ETICS.....	9
Fig.13 – Sistema ETICS danificado por punçoamento	10
Fig.14 – Classificação de tijolos de acordo com a furação.....	11
Fig.15 – Blocos de betão normal.....	13
Fig.16 – Blocos de betão de agregados leves: Bloco Térmico e Isolbloco	13
Fig.17 – Habitação em alvenaria de pedra	14
Fig.18 – Esquema de produção de cimento da Cimpor.....	23
Fig.19 – Curvas granulométricas: contínua e extensa (bem graduada), descontínua e uniforme	26
Fig.20 – Evolução da fendilhação numa alvenaria em compressão.....	32
Fig.21 – Modelos de rotura por corte: esgotamento da aderência e esgotamento da resistência ao corte da argamassa.....	36
Fig.22 – Esquema de ensaio para determinar a resistência ao corte de acordo com a EN1052-3	36
Fig.23 – Planos de rotura por flexão de paredes de alvenaria	38
Fig.24 – Modelo de colapso e gráfico força-distorção previsto de um ensaio de compressão diagonal	43
Fig.25 – Bloco Conforto.....	44
Fig.26 – Dimensões e aparelho de assentamento do provete ensaiado.....	45
Fig.27 – Proвете não revestido (série 1) antes do ensaio	45
Fig.28 – Proвете revestido (série 2) antes do ensaio.....	46
Fig.29 – Máquina de ensaios	46

Fig.30 – Sapata para apoio dos provetes.....	47
Fig.31 – Localização dos transdutores no provete.....	47
Fig.32 – Transdutores.....	48
Fig.33 – Provede não revestido e provede revestido durante o ensaio.....	48
Fig.34 – Modelo de rotura dos provedes não revestidos e dos provedes revestidos.....	49
Fig.35 – Provede não revestido após a rotura.....	49
Fig.36 – Provede revestido após a rotura.....	50
Fig.37 – Gráficos força-extensão dos provedes da série 1.....	55
Fig.38 – Gráficos força-distorção dos provedes da série 1.....	55
Fig.39 – Gráficos força-extensão dos provedes da série 2.....	57
Fig.40 – Gráficos força-distorção dos provedes da série 2.....	57
Fig.41 – Gráficos força-distorção das séries 1 e 2.....	58
Fig.42 – Efeito da excentricidade da carga num provede (efeito exagerado).....	59

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Propriedades do tijolo cerâmico	10
Quadro 2 – Dimensões e resistências mais comuns em tijolos cerâmicos	10
Quadro 3 – Dimensões e resistências das unidades de betão mais comuns em Portugal.....	12
Quadro 4 – Classificação das unidades de alvenaria segundo o Eurocódigo 6.....	13
Quadro 5 – Classes de resistência de argamassas e traços recomendados.....	15
Quadro 6 – Classificação funcional de revestimentos de parede exterior.....	19
Quadro 7 – Classificação funcional de revestimentos de parede interior.....	19
Quadro 8 – Propriedades das argamassas, de acordo com o traço	27
Quadro 9 – Valores de K definidos pelo Eurocódigo 6	34
Quadro 10 – Resistência característica de alvenarias com argamassa convencional e unidades do Grupo 1.....	35
Quadro 11 – Resistência característica de alvenarias com argamassa convencional e unidades do Grupo 2a.....	35
Quadro 12 – Resistência característica de alvenarias com argamassa convencional e unidades do Grupo 3.....	35
Quadro 13 – Resistência característica de alvenarias com argamassa-cola e unidades do Grupo 1 ..	35
Quadro 14 – Resistência ao corte inicial característica, sob compressão nula.....	37
Quadro 15 – Resistência característica à flexão com plano de rotura paralelo às juntas de assentamento.....	39
Quadro 16 – Resistência característica à flexão com plano de rotura perpendicular às juntas de assentamento	39
Quadro 17 – Resultados de ensaios à compressão simples de provetes revestidos	40
Quadro 18 – Resultados de ensaios à compressão diagonal de provetes revestidos	41
Quadro 19 – Força máxima e tensão de rotura dos provetes da primeira série	53
Quadro 20 – Distorção e módulo de rigidez dos provetes da primeira série.....	53
Quadro 21 – Valores médios da tensão de rotura e módulo de rigidez da primeira série.....	54
Quadro 22 – Valores médios da tensão de rotura e módulo de rigidez da primeira série, incluindo o ensaio 1	54
Quadro 23 – Força máxima e tensão de rotura dos provetes da segunda série.....	56
Quadro 24 – Distorção e módulo de rigidez dos provetes da segunda série	56
Quadro 25 – Valores médios da tensão de rotura e módulo de rigidez da segunda série.....	56
Quadro 26 – Comparação da tensão de rotura e módulo de rigidez médios das duas séries de ensaios	58

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A_n – Área efectiva [m²]

b – Espessura [m]

e_h – Deformação média registada nos transdutores horizontais [mm]

e_v – Deformação média registada nos transdutores verticais [mm]

f_b – Resistência à compressão característica normalizada das unidades de alvenaria [N/mm²]

f_k – Resistência à compressão característica [N/mm²]

f_m – Resistência à compressão característica da argamassa [N/mm²]

f_{vk} – Resistência ao corte característica [N/mm²]

f_{vk0} – Resistência ao corte inicial característica [N/mm²]

f_{xk1} – Resistência característica à flexão segundo plano de rotura paralelo às juntas de assentamento [N/mm²]

f_{xk2} – Resistência característica à flexão segundo plano de rotura perpendicular às juntas de assentamento [N/mm²]

g – Distância média entre pontos de aplicação dos transdutores verticais [m]

G – Módulo de distorção [MPa]

h – Altura [m]

l – Comprimento [m]

n – Percentagem de área sólida

P – Força actuante [kN]

γ – Distorção [mm/m]

ΔH – Deformação horizontal [mm/m]

ΔV – Deformação vertical [mm/m]

σ_d – Tensão de compressão [N/mm²]

σ_s – Tensão de corte [MPa]

ASTM – American Society for Testing and Materials

DNA – Documento Nacional de Aplicação

EN – European Norm

EOTA – European Organization for Technical Approvals

ETICS – External Thermal Insulation Composite System

LECA – Light Expanded Clay Aggregate

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia civil

NP – Norma Portuguesa

RILEM – Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux, Systemes de Construction et Ouvrages

1

ALVENARIAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL

1.1. PERSPECTIVA HISTÓRICA

A utilização da alvenaria como material de construção é uma técnica tão antiga como a própria civilização, remontando ao período neolítico, aquando da criação das primeiras comunidades sedentárias. Os primeiros abrigos eram então construídos em pedra em bruto, utilizando argamassas de argila. Mais tarde, a evolução natural desta técnica de construção passou pelo emprego de pedras talhadas para o efeito, por forma a conferir estabilidade às paredes, bem como pela utilização de materiais como a cal e o gesso como ligantes na argamassa.



Fig.1 – Grande pirâmide do Egípto

A construção em alvenaria foi amplamente empregue pelos grandes impérios da antiguidade. São bem conhecidas, por exemplo, as grandes cidades-templo do Egípto, tirando partido da excelente qualidade dos materiais da região, e cujas pirâmides representam ainda hoje um testemunho da durabilidade desse tipo de construção. Foi no entanto com a descoberta do tijolo cozido que a construção em alvenaria se industrializou. Durante o domínio do Império Romano, este material foi utilizado, conjuntamente com cimentos resultantes da mistura de pozolanas e cal, em todo o tipo de construções, desde habitações individuais aos grandes edifícios de serviços públicos, passando por estradas e pontes que permanecem funcionais até aos dias de hoje.



Fig.2 – Acrópole de Atenas (esquerda) e edifício de banhos romano (direita)

A queda do Império Romano trouxe consigo o declínio da construção em alvenaria no mundo ocidental. Apenas por volta do século IX esta recuperaria alguma visibilidade, com a construção de castelos e fortificações a proliferar por toda a Europa, bem como a de edifícios religiosos. Durante o renascimento a tendência foi, também a nível arquitectónico, de recriar os modelos clássicos das civilizações grega e romana.



Fig.3 – Cidadela de Carcassonne, França

Os grandes desafios à construção em alvenaria, no entanto, surgiram após a revolução industrial, com o desenvolvimento do betão. O interesse súbito por esta nova forma de construção deu origem a numerosos estudos, resultando no desenvolvimento do betão armado, material de propriedades e funcionamento estrutural devidamente conhecidos. A alvenaria, por outro lado, era ainda empregue com base em regras empíricas, sendo a força resistente de compressão dada tradicionalmente pela combinação das resistências de blocos e argamassa, afectados da espessura da parede, excentricidade das cargas, e de um factor de segurança. Este método, eficaz para construções de pequena dimensão, exigia, no caso de construções em altura, paredes de espessuras exageradas. Não espanta, portanto, que a construção em alvenaria tenha entrado em declínio a partir de meados do século XIX, em favor do betão e do aço.



Fig.4 – Philadelphia City Hall, Filadélfia (esquerda) e Monadnock Building, Chicago (direita)

Apenas a partir de finais de 1940, o reconhecimento das vantagens da alvenaria, nomeadamente a nível económico e de durabilidade, bem como a sua capacidade de desempenhar diversas funções para além da estrutural, deu origem ao desenvolvimento de diversos estudos sobre o assunto. A aplicação de modelos estruturais à alvenaria veio permitir que esta se tornasse novamente competitiva, ressurgindo assim como uma alternativa viável à construção em betão.



Fig.5 – Edifícios em alvenaria estrutural: Felice Due, Curitiba (esquerda) e Solar dos Alcantara, São Paulo (direita)

Actualmente, a alvenaria é amplamente utilizada com fins estruturais em diversos países. A regulamentação existente é já bastante avançada, distanciando-se dos métodos empíricos tradicionais,

e baseando-se numa filosofia de segurança relativamente a estados limites últimos e de utilização, muito semelhante à empregue para o betão armado. Na Europa, o Eurocódigo 6 funciona como principal documento regulador da construção em alvenaria, fornecendo regras gerais para a escolha dos materiais e tecnologias de construção, dimensionamento das estruturas e métodos de execução, bem como regras específicas para resistência à acção do fogo e a carregamentos laterais.

1.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS DE PAREDES DE ALVENARIA

Actualmente, segundo o método exigencial, uma parede de alvenaria deve, como qualquer outro elemento de construção, satisfazer uma série de requisitos para que o seu desempenho seja satisfatório. De acordo com a Directiva dos Produtos de Construção, de 21 de Dezembro de 1988, todos os produtos destinados a obras de construção civil devem, através das suas características, permitir aos elementos onde são incluídos satisfazer seis exigências essenciais:

- resistência mecânica e estabilidade, nomadamente em relação a cargas permanentes, sobrecargas, acções térmicas, sísmicas, do vento, impulsos de terras, ou choques e outras acções acidentais;
- segurança em caso de incêndio, respeitando as classes de reacção ao fogo e resistência ao fogo regulamentares;
- higiene, saúde e protecção do ambiente;
- segurança na utilização;
- protecção contra o ruído;
- economia de energia e isolamento térmico.

No que diz respeito a estruturas de alvenaria, as exigências relativas a resistência e estabilidade, bem como segurança relativamente à acção do fogo, estão especificamente regulamentadas no Eurocódigo 6. Para as restantes exigências, as características a verificar pelos materiais não são de tão fácil definição, podendo incluir um adequado isolamento acústico, relativamente a transmissões quer por via aérea quer por via sólida, a impermeabilidade à água, permeabilidade ao vapor, uma elevada inércia térmica e reduzido coeficiente de transmissão térmica, facilidade de manutenção, segurança contra intrusão, entre outros parâmetros [19].

As paredes de alvenaria apresentam como uma importante vantagem, relativamente a outros sistemas de construção como o betão armado, a particularidade de um mesmo elemento poder desempenhar diferentes funções, nomeadamente estruturais, isolamento térmico e acústico, protecção contra a acção do fogo e aspecto estético.

Esta característica, associada ao custo comparativamente reduzido da construção em alvenaria - justificado em grande parte pela abundância da matéria-prima necessária e simplicidade de produção dos materiais - bem como à sua elevada durabilidade, torna as soluções em alvenaria numa alternativa economicamente competitiva relativamente aos restantes sistemas construtivos. Compreende-se assim a sua importância primordial na construção civil, verificando-se actualmente uma tendência de aumento do volume de construções em alvenaria, não obstante a sua elevada dependência de uma mão-de-obra especializada e experiente.

1.3. ALVENARIAS ESTRUTURAIIS

Aos panos de alvenaria com funções de transmissão de cargas é dado o nome de alvenarias estruturais ou resistentes. Estas paredes representam a base estrutural do edifício, pelo que a segurança estrutural

é claramente o aspecto prioritário na concepção das mesmas. Uma parede de alvenaria estrutural não armada apresenta tipicamente elevada resistência à compressão, mas reduzida capacidade de tracção. Assim, é natural tentar-se garantir, aquando da fase de projecto de uma construção em alvenaria, que a totalidade da estrutura resistente de encontre em estado de compressão. A ocorrência de forças horizontais perpendiculares ao plano da parede é especialmente prejudicial ao comportamento destas estruturas, uma vez que provoca a flexão da parede, segundo o eixo de menor rigidez, podendo dar origem a tracções no interior da mesma.

Por este motivo, é importante para estas estruturas uma correcta disposição das paredes estruturais. Esta deve garantir uma adequada rigidez e estabilidade à acção de forças laterais, o que se consegue com o correcto balanço entre paredes orientadas em direcções ortogonais, como se pode observar na figura 6. Na maioria dos edifícios correntes este balanço será fácil de obter, mas no caso de edifícios com uma grande extensão de paredes numa direcção, pode ser necessário o dimensionamento de paredes ortogonais para aumentar a rigidez nessa direcção. Estas paredes, ditas de contraventamento, deverão resistir a forças de corte, havendo por isso interesse em que estejam também sujeitas a forças verticais de compressão, por forma a reduzir ou anular as tensões de tracção no seu interior [8].



Fig.6 – Construção em alvenaria estrutural

Estas estruturas de alvenaria simples são particularmente vantajosas para construções com vãos de pequena ou média dimensão, com paredes estruturais que se prolongam ininterruptamente desde as fundações até ao telhado do edifício. As alvenarias reforçadas (figura 7), constituídas por blocos atravessados na vertical ou na horizontal por armaduras de aço, de funcionamento estrutural semelhante ao betão armado, permitem aumentar significativamente a resistência à tracção da alvenaria, sendo por isso de especial interesse para estruturas com vãos de elevada dimensão. Proporcionam, também, melhorias do comportamento das paredes quando sujeitas a forças dinâmicas, pelo que são muito utilizadas em zonas de elevada actividade sísmica [2]. É ainda possível o recurso a alvenarias pré-esforçadas, uma tecnologia análoga ao betão pré-esforçado, com resultados semelhantes na melhoria do comportamento à tracção.

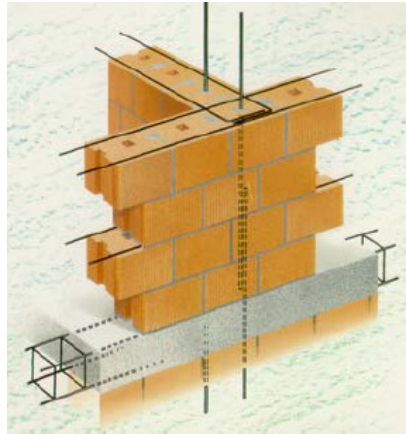


Fig.7 – Alvenaria armada [2]

As paredes de compartimentação, por outro lado, não têm funções estruturais, pelo que precisam apenas de suportar o seu peso próprio. Nestas paredes, os aspectos principais a garantir prendem-se com habitabilidade e a segurança das mesmas. Características relacionadas com o conforto higrotérmico, o isolamento ao ruído e a segurança contra a incêndios, bem como o aspecto estético, são preponderantes no projecto destas paredes. A contribuição destas para o desempenho estrutural da obra é quase nula.

1.4. SISTEMAS CONSTRUTIVOS

A primeira decisão na concepção de qualquer parede de alvenaria, e aquela que mais influência terá no desempenho da mesma, será necessariamente a escolha do sistema construtivo a adoptar. Existe actualmente uma grande variedade de sistemas, em muitos casos devidamente estudados e regulamentados, sendo o conhecimento dos mesmos fundamental para uma tomada de decisão que nem sempre é simples, mas é de primeira importância em qualquer projecto envolvendo alvenarias.

A escolha de um sistema construtivo deve, portanto, ser baseada numa análise cuidada, recorrendo a uma metodologia de exigências funcionais. A solução adoptada dependerá das características que se pretendem asseguradas para a parede, e variará portanto drasticamente conforme se trate de uma parede interior ou de fachada, e conforme a sua importância estrutural.

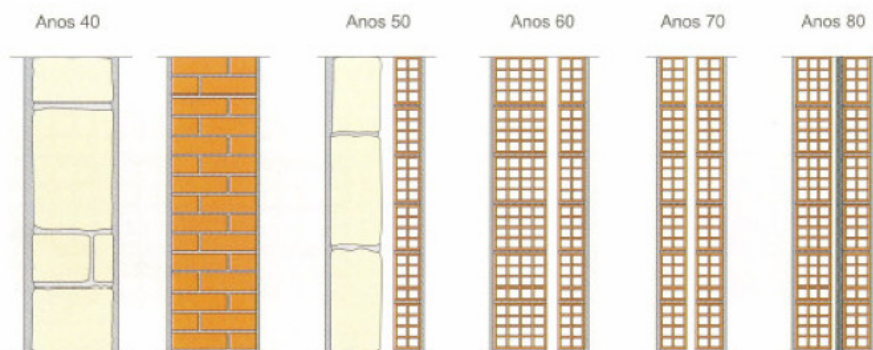


Fig.8 – Evolução dos sistemas construtivos em Portugal

As paredes duplas com caixa de ar são, actualmente, a solução mais comum para paredes de fachada. As espessuras mais correntes para cada pano são de 11 e 15 cm, sendo sempre o pano exterior o mais espesso. Os panos devem estar travados entre si, e o isolante térmico, normalmente poliestireno ou poliuretano, preenche parcialmente a caixa de ar, encostado ao pano interior e nunca entrando em contacto com o pano exterior. É ainda importante a drenagem da caixa de ar, o que normalmente é conseguido por meio de uma meia-calha na base da parede, com drenos para o exterior.

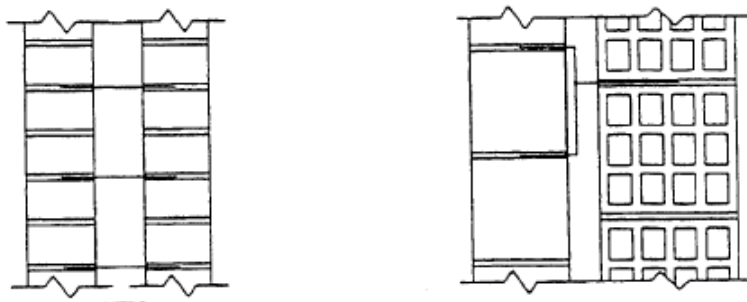


Fig.9 – Paredes duplas [25]

Uma variação menos utilizada deste sistema consiste no preenchimento por completo da caixa de ar com isolante térmico. Esta técnica requer normalmente a aplicação de um revestimento de elevada impermeabilidade, dada a ausência de uma caixa de ar ventilada que impeça a infiltração da água. Também devido à não existência de caixa de ar, o isolamento acústico proporcionado por esta solução é significativamente inferior.

As paredes duplas de face à vista são um caso particular em que a face exterior da parede não se encontra protegida por um revestimento, encontrando-se a alvenaria exposta directamente ao exterior. Nesta situação é normalmente reforçada a impermeabilidade à água do pano interior, nomeadamente por via de um revestimento impermeável na face exterior do mesmo.

A utilização de paredes simples em fachadas não é actualmente muito comum em Portugal, embora se verifique uma tendência significativa para o aumento do emprego deste sistema. Consiste num só pano de alvenaria, de espessura superior aos panos empregues em paredes simples, normalmente com um mínimo de 20 ou 22 cm, conforme se trate de paredes de blocos de betão ou tijolo, respectivamente. Actualmente, o isolamento térmico e acústico e a estanquidade destas paredes são conseguidos graças à aplicação de um sistema ETICS na face exterior da parede, substituindo o revestimento tradicional. Este consiste fundamentalmente na fixação de uma camada de isolante térmico à face exterior da parede, a qual é depois recoberta com várias camadas de argamassa, incluindo uma camada de reboco armado. Este sistema construtivo encontra-se analisado em maior detalhe no ponto 2.5 do presente trabalho.

Quanto às paredes interiores não estruturais, o sistema construtivo utilizado é geralmente de parede simples, com espessuras variáveis entre os 7 e os 11 cm. As maiores espessuras empregam-se em regra para paredes de compartimentos de serviço, como cozinhas, lavandarias e casas de banho, onde é necessária a instalação de canalizações.

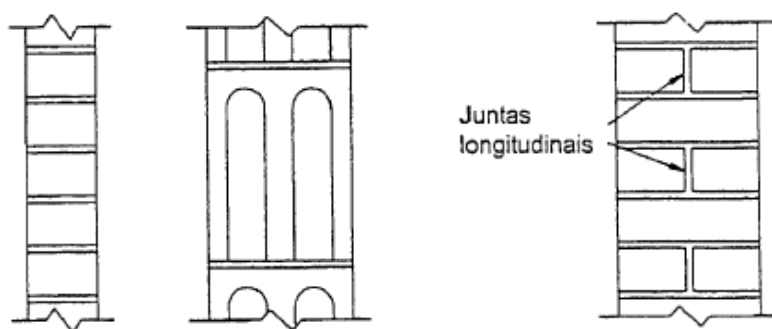


Fig.10 – Paredes simples [25]

Para paredes com funções de divisão de fogos, ou em contacto com áreas comuns, o maior grau de exigências, nomeadamente térmicas e acústicas, a que estão sujeitas, implica que sejam frequentemente construídas num sistema de parede dupla, com a caixa de ar completamente preenchida por um material de isolamento acústico.

Outros sistemas construtivos são ainda aplicados na construção civil actual, embora com menos expressão. É o caso, por exemplo, das paredes de dois panos, ou paredes compostas, constituídas como o próprio nome indica por dois panos de alvenaria, mas que contrariamente às paredes duplas não apresentam um caixa de ar, estando os dois panos separados apenas por uma junta longitudinal.

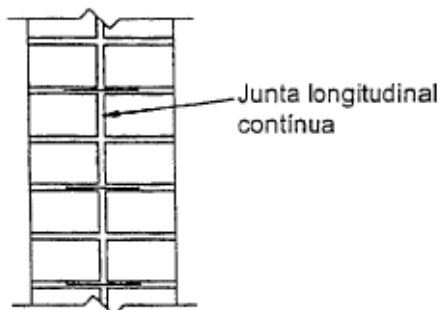


Fig.11 – Parede de dois panos [25]

1.5. SISTEMAS ETICS

O sistema de revestimento de paredes *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS) merece destaque por se tratar de uma tecnologia especialmente concebida para paredes simples de fachada, que conjuga a protecção física e acabamento de uma argamassa de revestimento com um adequado isolamento térmico, essencial para este tipo de paredes.

O sistema, conforme definido pela *European Organization for Technical Approvals* (EOTA) na orientação ETAG 004, consiste na aplicação de um isolamento térmico sobre o suporte, o qual é recoberto com uma ou várias camadas de reboco de recobrimento, incorporando este uma rede de reforço. A disposição das várias camadas é ilustrada na figura 12.

O isolamento térmico adoptado é, regra geral, o poliestireno expandido, embora o poliestireno extrudido possa também ser utilizado, enquanto a armadura é constituída por uma rede flexível de fibra de vidro. A fixação do sistema à base pode ser efectuada por meio de colagem ou fixações mecânicas.

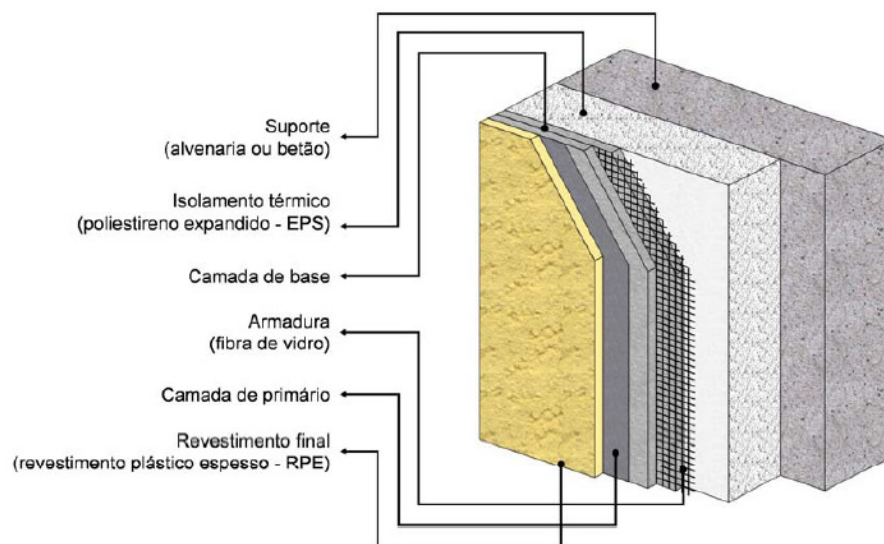


Fig.12 – Sistema ETICS [6]

Esta tecnologia é bastante comum em Portugal, como em diversos países europeus, apresentando diversas vantagens relativamente aos rebocos tradicionais, nomeadamente [6]:

- maior facilidade de tratamento de pontes térmicas;
- aumento da inércia térmica do edifício, já que a totalidade do suporte da parede fica interior ao isolamento térmico;
- diminuição do risco de ocorrência de condensações internas na parede;
- maior impermeabilidade e resistência mecânica;
- redução da espessura total da parede, visto que permite a execução de paredes de um só pano, e consequentemente o aumento da área habitável.

Relativamente às desvantagens inerentes ao sistema, interessa referir:

- maior fragilidade do sistema, uma vez que o isolamento térmico apenas se encontra protegido pelo revestimento armado;
- menor resistência ao punçoamento, comparativamente a um revestimento comum;
- aspecto final limitado ao número restrito de opções disponíveis no mercado;
- pode originar dificuldades de execução junto a pontos singulares;
- requer mão-de-obra experiente na sua aplicação;
- maior custo de execução por m²;
- facilidade de desenvolvimento de humidades na superfície;
- risco elevado de ocorrência de patologias se for incorrectamente executado.



Fig.13 – Sistema ETICS danificado por punçoamento

Existe correntemente no mercado uma grande diversidade de sistemas ETICS. Na escolha do sistema adequado, o qual deverá encontrar-se devidamente homologado, importa atender a factores como a natureza do suporte, a exposição do mesmo às condições climáticas locais, o nível de conforto térmico pretendido para o edifício, as exigências regulamentares de segurança contra incêndios, e o tipo de acabamento desejado.

1.6 – MATERIAIS

1.6.1. GENERALIDADES

Uma parede de alvenaria é uma estrutura heterogénea e anisotrópica, composta por unidades de alvenaria, dispostas em camadas segundo um determinado aparelho de assentamento, e unidas entre si por uma argamassa de assentamento. As unidades de alvenaria, que não devem ser confundidas com a alvenaria propriamente dita, são geralmente tijolos ou blocos de betão, embora outros materiais possam ser utilizados.

1.6.2. UNIDADES DE ALVENARIA

1.6.2.1. TIJOLO CERÂMICO

O tijolo é correntemente o material mais utilizado na construção em alvenaria, em Portugal. A sua ampla utilização é o resultado de um baixo custo unitário, associado às características mecânicas apropriadas para a função que desempenha.

Os tijolos actualmente empregues em construção civil são materiais cerâmicos, fabricados a partir de argila, secos por processos mecânicos, e seguidamente cozidos em fornos por forma a conferir-lhes as características desejáveis.

As propriedades mecânicas a atingir, bem como as dimensões comerciais, encontravam-se normalizadas, até recentemente, pelas normas portuguesas NP 80 e NP 834, datadas das décadas de 1964 e 1971, respectivamente.

Actualmente, os esforços por parte da União Europeia no sentido da normalização dos productos de construção resultaram na elaboração da norma europeia EN 771-1, respeitante a tijolos para alvenaria. A metodologia empregue neste documento é diferente da seguida pelas normas portuguesas, no sentido em que não especifica os valores a alcançar pelas propriedades dos tijolos, mas apenas as tolerâncias admissíveis para estas propriedades. A norma EN 772, por outro lado, especifica os ensaios a realizar para a determinação das características das unidades de alvenaria. É assim da responsabilidade do produtor a declaração das características asseguradas pelo seu produto, passando a responsabilidade pela definição das exigências mínimas para o lado do comprador.

A classificação mais corrente dos tijolos é ainda derivada da NP 80, tendo como base a existência e disposição de furos no seu interior, apresentada na figura 12.

- Tijolo maciço: não apresenta furação, sendo o volume da argila superior a 85% do volume aparente da unidade.
- Tijolo perfurado: apresenta furos perpendiculares às faces de assentamento.
- Tijolo furado: apresenta furos horizontais, na direcção da maior dimensão da unidade.
- Tijolo para aplicação à vista, ou tijolo aparente: destina-se a ficar visível, no interior ou exterior. São tijolos de boa aparência, frequentemente vitrificados e de porosidade reduzida.

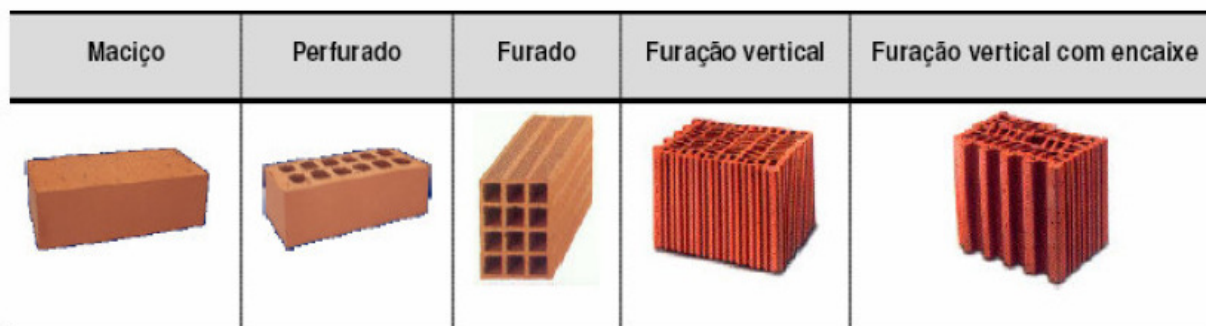


Fig.14 – Classificação de tijolos de acordo com a furação [23]








Relativamente à densidade aparente das unidades de alvenaria, a EN 771-1 divide-as em dois grupos, de baixa densidade (LD) quando a massa volúmica aparente é inferior ou igual a 1000 kg/m³, e de alta densidade (HD) quando é superior a este valor.

Os quadros 1 e 2 apresentam, para os tijolos cerâmicos de utilização mais comum em Portugal, as propriedades físicas relevantes, bem como as suas dimensões, peso, percentagem de furação e resistência à compressão.

Quadro 1 – Propriedades dos tijolos cerâmicos mais comuns em Portugal [24]

Características do material cerâmico	Valores	Unidades
Massa volúmica aparente	1800 – 2000	kg/ m ³
Porosidade aberta	20 – 30	%
Absorção de água por imersão a frio	9 – 13	%
Coefficiente de saturação	0.6 – 0.8	
Absorção da água por capilaridade (1min.)	11	g/(dm ² min)
Condutibilidade térmica	1,15	w/m ² k
Coefficiente de absorção da radiação solar	0.65 – 0.8	
Dilatação térmica linear	$3.5 \cdot 10^{-6}$ – $5.8 \cdot 10^{-6}$	m/m °C
Expansão por humidade	0.9 – 1.7	mm/m
Humidade em equilíbrio (20 °C e 80 % HR)	0.11	%
Módulo de elasticidade longitudinal	8300	MPa
Coefficiente de Poisson	0,2	

Quadro 2 – Dimensões e resistências dos tijolos cerâmicos mais comuns [24]

Formas	Dimensões (cm)	Peso aproximado (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão ⁽²⁾ (MPa)
	30*20*22 ⁽¹⁾	7,0-11,0	55-70	1,9-3,9
	30*20*15 ⁽¹⁾	5,0-7,0	50-65	2,5-4,9
	30*20*11 ⁽¹⁾	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 ⁽¹⁾	3,0-5,0	40-60	3,7-7,0
	30*20*4	2,0-3,0	40-50	6,0-7,0
	22*11*7 ⁽¹⁾	1,5-2,5	25-40	8,0-9,5
	22*11*5	1,2-1,7	25-40	8,0-9,5
	22*11*7 ⁽¹⁾	2,5-3,5	0	17,0-48,0

Observações:

⁽¹⁾ Dimensões de acordo com a NP 834 [16];

⁽²⁾ Resistência à compressão é expressa em termos de área aparente, não normalizada pelos factores de forma.

1.6.2.2. UNIDADES DE BETÃO

Os blocos de betão para alvenaria são um material mais recente relativamente ao tijolo, o que ajuda a explicar a sua menor implantação. Como o tijolo, trata-se de um material económico e de elevada resistência e durabilidade. Os tipos de bloco mais utilizados em Portugal, bem como as respectivas características, encontram-se representados no quadro 3.

A composição destas unidades consta de cimento Portland, água e um agregado, cuja natureza irá influenciar as características do bloco. Para os blocos de betão normal, o agregado utilizado é normalmente areia ou gravilha fina.

O bloco de betão de agregados leves é um produto bastante divulgado internacionalmente, mas que não é ainda muito comum em Portugal. Os agregados empregues são grânulos de argila expandidos, também conhecidos pela sigla LECA (Light Expanded Clay Aggregate). Este produto tem um comportamento substancialmente diferente do bloco de betão normal, distinguindo-se em particular pela sua massa volúmica reduzida e maior isolamento térmico [10].



Fig.15 – Blocos de betão normal









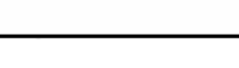

Fig.16 – Blocos de betão de agregados leves: Bloco Térmico (esquerda) e Isolbloco (direita) [10]

O bloco de betão celular autoclavado é pouco utilizado em Portugal, tendo sido suspensa a produção do mesmo em território nacional. Trata-se de um betão constituído por cimento Portland, cal, areia e água. Na fase final de produção, adiciona-se ao betão alumínio em pó, o que dá origem à formação de bolhas de hidrogénio no interior do mesmo, originando um betão poroso de estrutura celular. O resultado é uma unidade de alvenaria de baixa densidade que apresenta todas as características expectáveis de um bloco de betão normal, mas com um custo de produção comparativamente elevado. [7]

Estes produtos encontram-se devidamente regulamentados segundo a norma europeia EN 771-3. Este documento segue uma filosofia em tudo idêntica à adoptada na norma EN 771-1 para as unidades

cerâmicas. Assim, cabe também aos produtores a declaração das propriedades mecânicas dos blocos, estando igualmente os métodos de ensaio definidos na norma EN 772.

Quadro 3 – Dimensões e resistências das unidades de betão mais comuns em Portugal [24]

Formas	Dimensões (cm)	Peso aproximado (kg)	Furação (%)	Resistência à compressão (MPa)
	40*20*30	20-29	45-65	3.5-4.5
	50*20*30			
	40*20*25	20-25	45-65	3.0-4.5
	50*20*25			
	40*20*20	15-22	40-50	3.0-4.5
	50*20*20			
	40*20*15	12-18	40-50	4.0-5.0
	50*20*15			
	40*20*12	12-15	40-50	4.0-5.0
	50*20*12			
	40*20*10	10-13	30-50	4.0-5.0
	50*20*10			
	40*20*8	8-12	30-50	4.0-6.0
	50*20*8			
	40*20*5	8-10	-	6.0-8.0
	50*20*5			

1.6.2.3. PEDRA

A construção em alvenaria recorrendo a unidades de pedra natural não é comum na actualidade, limitando-se geralmente a trabalhos de restauro ou a pequenas obras. No entanto, trata-se de um sistema que se encontra ainda frequentemente em utilização em edifícios antigos, particularmente em meios rurais.



Fig.17 – Habitação em alvenaria de pedra

1.6.2.4. CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO O EUROCÓDIGO 6

Para efeitos de dimensionamento de estruturas, o Eurocódigo 6 divide as unidades de alvenaria em grupos distintos. Actualmente, a classificação que entrou em vigor em 2005 define os seguintes grupos:

- Grupo 1: unidades maciças;
- Grupos 2 e 3: unidades de furação vertical;
- Grupo 4: unidades de furação horizontal.

Os requisitos a cumprir pelas unidades para se enquadrarem nestes grupos encontram-se sintetizados no quadro 4.

Quadro 4 – Classificação das unidades de alvenaria segundo o Eurocódigo 6 (versão de 2005) [26]

	Materiais e limites para as unidades de alvenaria									
	Grupo 1 (todos os materiais)	Unidades	Grupo 2				Grupo 3		Grupo 4	
			Furação vertical				Furação horizontal			
Volume total da furação (% do volume grosso)	≤ 25	Argila	> 25; ≤ 55		≥ 25; ≤ 70		> 25; ≤ 70			
		Silicatos de cálcio	> 25; ≤ 55		não utilizado		não utilizado			
		Betão**	> 25; ≤ 60		> 25; ≤ 70		> 25; ≤ 50			
Volume de cada furo (% do volume grosso)	≤ 15,5	Argila	cada um de múltiplos furos ≤ 2 orifícios para preenchimento até um total de 12,5		cada um de múltiplos furos ≤ 2 orifícios para preenchimento até um total de 12,5		cada um de múltiplos furos ≤ 30			
		Silicatos de cálcio	cada um de múltiplos furos ≤ 15 orifícios para preenchimento até um total de 30		não utilizado		não utilizado			
		Betão**	cada um de múltiplos furos ≤ 30 orifícios para preenchimento até um total de 30		cada um de múltiplos furos ≤ 30 orifícios para preenchimento até um total de 30		cada um de múltiplos furos ≤ 25			
Valores declarados da espessura dos septos interior e exterior (mm)	Sem requerimentos		septo interior	septo exterior	septo interior	septo exterior	septo interior	septo exterior		
		Argila	≥ 5	≥ 8	≥ 3	≥ 6	≥ 5	≥ 6		
		Silicatos de cálcio	≥ 5	≥ 10	não utilizado		não utilizado			
		Betão**	≥ 15	≥ 18	≥ 15	≥ 15	≥ 20	≥ 20		
Valores declarados da espessura combinada* dos septos interior e exterior (% da largura total)	Sem requerimentos	Argila	≥ 16		≥ 12		≥ 12			
		Silicatos de cálcio	≥ 20		não utilizado		não utilizado			
		Betão**	≥ 18		≥ 15		≥ 45			

* A espessura combinada é a espessura dos septos interior e exterior, medida horizontalmente segundo a direcção relevante. A verificação deve ser vista como um teste de qualificação e apenas necessita de repetição em caso de alterações importantes nas dimensões de projecto da peça.

** No caso de furação cónica ou celular, deverá ser utilizado o valor médio da espessura dos septos interior e exterior.

1.6.3. ARGAMASSA

A argamassa é o componente da alvenaria que forma as juntas de assentamento, efectuando a ligação mecânica entre as unidades de alvenaria. Trata-se por isso de um material plástico que, antes da secagem, adere facilmente a materiais porosos, como tijolos e blocos de betão, ganhando consistência e resistência mecânica após a secagem.

A qualidade da argamassa empregue numa parede de alvenaria é determinante no desempenho da mesma, particularmente no respeitante à sua resistência mecânica. Para além da solidarização dos elementos de alvenaria, uma argamassa de assentamento deve ainda aumentar a resistência ao corte e à tracção da parede, e distribuir uniformemente as tensões internas desenvolvidas entre as unidades. É também importante assegurar que a argamassa tenha capacidade de acomodar as deformações da parede. Por último, esta deve ainda dar uma contribuição para o isolamento térmico e acústico da parede, bem como para a estanquidade da mesma.

Os constituintes de uma argamassa são normalmente um ligante, um agregado, em geral a areia, água, e eventualmente adjuvantes. O cimento Portland é o ligante utilizado na maioria destas argamassas, mas outras alternativas são viáveis, e uma classificação frequentemente adoptada baseia-se no tipo de ligante empregue. As mais comuns em construção civil são as argamassas de cimento, de cal hidráulica, e as argamassas bastardas, compostas por uma mistura de cimento e cal. Existem ainda argamassas de cal aérea, as quais não são frequentes em construções de alvenaria, sendo a sua utilização limitada a trabalhos de reabilitação.

A produção de argamassas é relativamente simples, sendo frequente a sua preparação em obra. No entanto, existe no mercado uma grande variedade de argamassas pré-doseadas, ensacadas em pó e prontas para aplicação em alvenarias, sendo apenas necessária a adição de água. Estes produtos industriais têm a vantagem de apresentar propriedades mais regulares e devidamente indicadas pelo fabricante, enquanto as argamassas produzidas em estaleiro apresentam variações significativas de propriedades conforme as dosagens utilizadas e a qualidade da mão-de-obra empregue.

As propriedades de uma argamassa podem separar-se em dois grandes grupos, conforme a sua relevância se aplique antes ou após o endurecimento.

As propriedades relacionadas com a argamassa antes do endurecimento, em estado fresco, são a trabalhabilidade, consistência e retenção de água. Estas características são particularmente importantes para uma aplicação simples e correcta, e um comportamento adequado até à secagem.

Após o endurecimento, as propriedades mais importantes para o desempenho da argamassa são a resistência à compressão, capacidade para a absorção de deformações, aderência, retracção e durabilidade. A aderência e a resistência à compressão são de particular importância para as características mecânicas da parede, em particular a resistência desta à tracção e à compressão, respectivamente. A retracção e a capacidade para absorver deformações são determinantes para evitar a abertura de fissuras na argamassa. Por último, uma adequada durabilidade permite aumentar a resistência à acção dos factores climáticos agressivos, particularmente os ciclos de gelo-degelo.

As argamassas encontram-se devidamente regulamentadas na União Europeia pela norma EN 998-2, onde são definidas as propriedades que estas devem assegurar, bem como os ensaios aplicáveis para a sua determinação. Os ensaios previstos encontram-se detalhados na norma EN 1015. Seguindo a mesma metodologia dos regulamentos para unidades de alvenaria, esta norma não especifica valores mínimos a garantir pelas argamassas, sendo a sua declaração da responsabilidade do produtor.

O Eurocódigo 6 aborda também as argamassas para alvenaria, classificando-as segundo a resistência mínima à compressão, aos 28 dias, em classes de resistência M2, M5, M10, M15 e M20. São também

indicadas as composições de referência a utilizar para a obtenção de argamassas de cada uma destas classes (quadro 5).

Quadro 5 – Classes de resistência de argamassas e traços recomendados [24]

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 ½	10.0
M5	1	½ – 1 ¼	5 – 6	5.0
M2	1	½ – 1 ¼	8 – 9	2.0

1.6.4. OUTROS COMPONENTES

Uma grande variedade de outros materiais pode ser aplicada em paredes de alvenaria, conforme o sistema construtivo adoptado. É o caso dos materiais de isolamento térmico ou acústico, materiais de impermeabilização, barreiras pára-vapor, armaduras para estruturas de alvenaria armada, ou materiais para ventilação e drenagem das caixas de ar. Alguns materiais empregam-se apenas pontualmente, como cimento-cola para a ligação com elementos de betão, grampos de ligação a pilares, ou peças específicas para pontos singulares, como cunhais, ombreiras, padieiras e peitoris.

2

REVESTIMENTOS PARA ALVENARIAS

2.1 – EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

A escolha do material de revestimento de uma parede requer conhecimento dos materiais e respectivas características, bem como técnicas de aplicação e adequabilidade do revestimento à base. Importa ainda conhecer as condições de utilização, nomeadamente o estado de tensão da parede e a agressividade do meio.

O revestimento deverá pois satisfazer uma série de exigências funcionais, as quais dependerão decisivamente, para além do nível de qualidade exigido e das condições da obra, do tipo de parede em questão: de fachada ou interior, estrutural ou não estrutural.

As exigências específicas a serem asseguradas pelo revestimento decorrem directamente das exigências aplicadas à parede de alvenaria, dado que estas se aplicam à parede na sua totalidade. Os revestimentos, tal como o tosco da parede, contribuem pelas suas propriedades para a satisfação destas exigências.

Assim, as seis Exigências Essenciais impostas pela Directiva dos Produtos de Construção - resistência mecânica e estabilidade; segurança em caso de incêndio; higiene, saúde e protecção do ambiente; segurança na utilização; protecção contra o ruído; economia de energia e isolamento térmico - requerem por parte dos revestimentos uma série de características que lhes permitam desempenhar as funções que o tosco da parede não é capaz, por si só, de assegurar.

As exigências mais relevantes são, geralmente, a estabilidade, durabilidade, impermeabilidade à água, permeabilidade ao vapor, segurança no contacto, estética e facilidade de manutenção.

A estabilidade implica a capacidade do revestimento absorver as tensões que lhe são impostas devido a deformações da base, bem como a correcta aderência a esta. Problemas de estabilidade são uma causa frequente de patologias em fachadas, podendo causar fissuração das argamassas de revestimento, ou destacamentos, em particular no caso de azulejos ou revestimentos em placas.

Quanto à durabilidade, esta deverá ser suficiente para resistir ao desgaste e à acção dos elementos durante um determinado período de tempo, garantindo a conservação da integridade do material, da sua cor, brilho e textura. No caso das argamassas, está relacionada com a sua composição, sendo a resistência à compressão um bom indicador da respectiva durabilidade.

A impermeabilidade à água é essencial para a protecção da alvenaria, particularmente em paredes expostas à acção da chuva, uma vez que as unidades de alvenaria mais comuns são geralmente porosas e bastante permeáveis. Esta protecção é normalmente conseguida através do controlo das propriedades da argamassa, ou da aplicação de um acabamento final impermeável.

Por outro lado, a permeabilidade do revestimento ao vapor, no sentido do exterior, deve ser também assegurada, para as paredes em contacto com o meio exterior. Evita-se assim a ocorrência de condensações no interior da parede, as quais provocam a degradação dos materiais e podem dar origem ao desenvolvimento de fungos, muitas vezes prejudiciais à saúde.

A segurança no contacto traduz-se por uma superfície regular, sem ângulos cortantes, saliências perigosas, ou outras características susceptíveis de provocar lesões aos utilizadores em consequência do contacto

Relativamente à estética, o acabamento deverá ser visualmente agradável e compatível com o padrão do edifício, bem como eventualmente da envolvente urbana em que se encontra inserido, não comprometendo o aspecto estético do edifício.

Finalmente, para garantir a facilidade de manutenção, o revestimento deve ser facilmente lavável, e devem ser tidas em consideração as condições de acesso a toda a superfície revestida, bem como o custo das operações de manutenção.

2.2. CLASSIFICAÇÃO

Os revestimentos de parede podem ser classificados de diversas formas, segundo as suas características. Para revestimentos exteriores, a classificação mais utilizada actualmente, e que se revela mais efectiva para a aplicação do método de selecção exigencial, é a proposta pelo LNEC [20] com base na função, sintetizada no quadro 6. Os revestimentos encontram-se divididos em quatro grandes grupos, conforme as exigências funcionais que estão habilitados a satisfazer.

- Revestimentos de estanquidade são aqueles que garantem a estanquidade da parede à água, independentemente da base. Assim, mesmo que esta se encontre fendilhada, o revestimento consegue por si só impedir a ocorrência de infiltrações. No entanto, dependendo do tipo de revestimento, este pode apenas garantir a estanquidade até um limite máximo de fendilhação da parede.
- Revestimentos de impermeabilidade são aqueles que são um contributo para a resistência à infiltração de água, mas não garantem individualmente a estanquidade da parede. Por este motivo, se a base se encontrar fissurada ou apresentar uma deficiente resistência à passagem da água, a parede está sujeita à infiltração de água para o interior. Estão nesta situação a maioria das argamassas simples de revestimento.
- Revestimentos de isolamento térmico são os que têm como preocupação principal a melhoria das propriedades térmicas da parede. São particularmente utilizados em paredes simples, visto que o isolamento térmico das paredes duplas é geralmente instalado na caixa de ar. É por exemplo o caso dos sistemas de revestimento ETICS.
- Revestimentos de acabamento são os que não contribuem significativamente para a impermeabilização da parede ou para o seu isolamento térmico, tendo apenas como função o acabamento das paredes.

Quadro 6 – Classificação funcional de revestimentos de parede exterior [20]

Classificação Funcional	Tipos Principais de Revestimentos exteriores de Paredes usados no nosso país
Revestimentos de Estanquidade	Placas de pedra natural fixadas mecanicamente ao suporte, com lâmina de ar
	Placas de outros materiais (fibrocimento, materiais plásticos, materiais cerâmicos) fixadas mecanicamente ao suporte, com lâmina de ar
	Revestimentos de ligante sintético armados
Revestimentos de Impermeabilização	Rebocos tradicionais
	Rebocos pré-doseados (monocamada ou outros)
	Revestimentos de ligante misto (cimento e resina)
	Revestimentos de ligante sintético
Revestimentos de Isolamento Térmico	Revestimentos por elementos descontínuos independentes com isolante na caixa de ar
	Revestimentos por componentes isolantes
	Revestimentos aplicados sobre isolante (ETICS)
Revestimentos de acabamento ou decorativos	Revestimentos por elementos descontínuos colados ou fixados mecanicamente sem lâmina de ar (ladrilhos, azulejos)
	Revestimentos por pintura

A classificação de revestimentos interiores segue uma metodologia semelhante à adoptada para revestimentos exteriores, dividindo-os em quatro grupos de acordo com a principal função desempenhada (quadro 7). Definem-se assim revestimentos de regularização, acabamento, resistência à água e decorativos.

Quadro 7 – Classificação funcional de revestimentos de parede interior [20]

Classificação Funcional	Tipos Principais de Revestimentos interiores de Paredes usados no nosso país
Revestimentos de regularização	Rebocos tradicionais
	Rebocos pré-doseados
	Revestimentos de ligante misto
	Estuques tradicionais de gesso e cal
	Estuques pré-doseados de gesso
	Estuques pré-doseados sintéticos
Revestimentos de acabamento	Estuques tradicionais de gesso e cal (camada de acabamento)
	Estuques pré-doseados de gesso (camada de acabamento)
	Estuques pré-doseados sintéticos (camada de acabamento)
Revestimentos resistentes à água	Revestimentos cerâmicos colados
	Revestimentos de pedra natural colados
	Revestimentos de pedra artificial colados
	Revestimentos epoxídicos
	Revestimentos de ligante sintético (esmaltes e vernizes)
Revestimentos decorativos	Revestimentos em rolo (de papel, plásticos, têxteis, de cortiça)
	Revestimentos em placas de aglomerado de cortiça expandida
	Revestimentos por pintura

Outras formas de classificação existem ainda, citando-se como exemplo a classificação segundo o material. Esta divide tipicamente os revestimentos em três grupos distintos: pétreos naturais, incluindo as rochas mais comuns, como granitos, calcário, arenito e mármore; conglomerados, ou seja, cimentos e argamassas de revestimento; e cerâmicos, incluindo tijolos de revestimento, azulejos e outros cerâmicos [1].

2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES

2.3.1. GENERALIDADES

As argamassas correntes são constituídas, na sua forma mais básica, por um ou mais tipos de agregado granular, um ligante, e água.

Relativamente aos ligantes, são sobretudo utilizados nas argamassas os ligantes hidrófilos, cujo endurecimento se dá após a mistura com água. Os materiais mais comuns são o cimento, o gesso, e a cal. Materiais hidrófobos, como resinas sintéticas e poliéster, entre outros, são por vezes utilizados, embora em muito menor escala.

Quanto ao agregado, a areia é a opção mais comum em Portugal, mas uma grande variedade de outros materiais granulares pode ser utilizada, desde que apresentem as características necessárias, nomeadamente a nível de granulometria e de estabilidade química e dimensional.

Outros materiais utilizados na preparação de argamassas incluem os aditivos, produtos que são adicionados à mistura, em pequenas quantidades, por forma a alterar as suas propriedades. Eventualmente, pode ser vantajosa a utilização de uma argamassa armada, incluindo esta fibras especiais de reforço.

2.3.2. LIGANTES

2.3.2.1 CIMENTO

Relativamente aos cimentos, aqueles de maior interesse para a engenharia civil são os cimentos hidráulicos calcários, cuja composição consta sobretudo de silicatos e aluminatos de cálcio. Estes podem ser classificados em três grandes grupos:

- Cimentos Portland;
- Cimentos naturais;
- Cimentos aluminosos.

Destes, o mais utilizado em obra é sem dúvida o cimento Portland. Este material, desenvolvido em 1824 por Joseph Aspden, resulta de uma mistura de cerca de 78% de calcário ou cré com 22% de argila ou xisto argiloso. A produção pode resultar de dois processos distintos, conhecidos por via húmida e via seca.

Na produção por via húmida, as matérias-primas são extraídas, britadas e homogeneizadas dentro de água. Os constituintes químicos da mistura são então testados e os seus constituintes ajustados conforme o necessário, sendo de seguida a pasta resultante incinerada em fornos próprios para o efeito, a temperaturas de cerca de 1650 °C. Obtém-se assim o clínquer de cimento, o qual é então arrefecido, misturado com uma quantidade de gesso entre 1 e 5%, com a finalidade de evitar o endurecimento repentino do cimento, e finalmente triturado até se atingirem as dimensões pretendidas.

Quanto à via seca, a diferença reside no facto de as matérias utilizadas conterem uma quantidade de água reduzida, o que permite uma redução da energia dispendida no aquecimento. A economia de custos resultante faz deste o método mais utilizado na produção de cimento. [16]

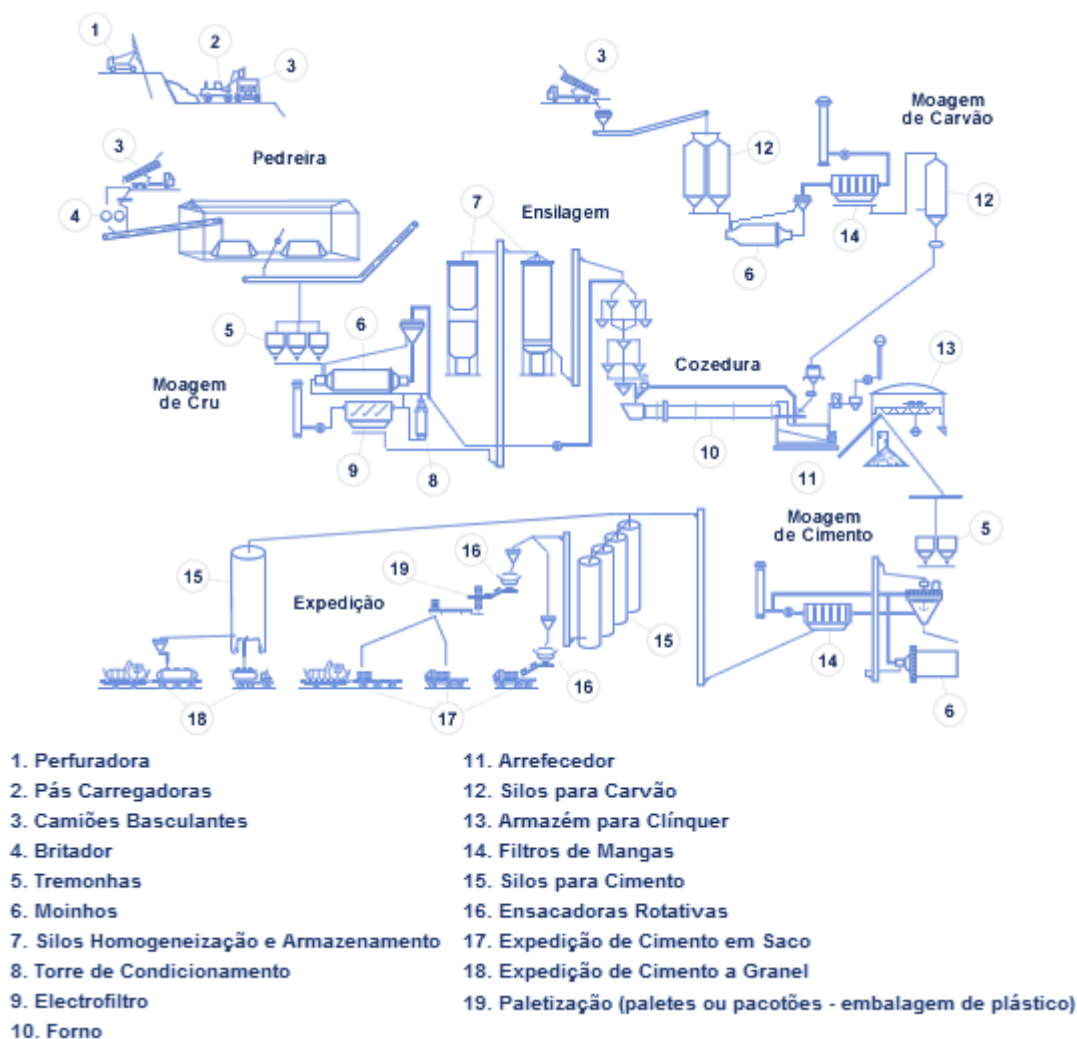


Fig.18 – Esquema de produção de cimento da Cimpor [23]

A indústria de fabrico de cimento encontra-se bem desenvolvida e regulamentada, obedecendo a sua produção a critérios rígidos, nomeadamente respeitantes à sua resistência, composição química e tempo de presa. Para os cimentos comuns, a normalização é estabelecida na norma EN 197-1, enquanto para os cimentos brancos, a norma equivalente é a NP 4326.

A presa do cimento tem características hidráulicas, ou seja, desenvolve-se através de reacções exotérmicas de hidratação, podendo ocorrer tanto em contacto com o ar como submersa. Em condições normais, a presa tem início entre duas a quatro horas após a amassadura do cimento, devendo estar concluída após cerca de 10 horas. Durante este período o cimento ganha rigidez rapidamente, permanecendo no entanto a sua resistência mecânica muito reduzida.

O endurecimento do cimento começa apenas após a conclusão da presa, e prolonga-se indefinidamente, desde que exista água disponível para a hidratação. Por este motivo, e para garantir um correcto endurecimento, no caso de trabalhos importantes, o cimento deverá ser curado, por forma a controlar a perda de humidade do mesmo.

Outros tipos de cimento incluem o cimento Portland branco, produzido a partir de clínquer com reduzidos teores de óxidos de ferro e manganês, e o cimento corado, resultante da mistura de Portland

comum com cimento branco. O Portland de endurecimento rápido é produzido da mesma forma que o Portland comum, mas com material mais finamente moído e aquecido a temperaturas mais elevadas, resultando um cimento de produção mais dispendiosa, mas de presa e endurecimento mais rápido. O cimento à prova de água é constituído por Portland com adição de finos, até ao preenchimento completo dos poros do mesmo.

O cimento com elevado teor de alumina, por outro lado, não resulta da mistura de argila com gesso, mas sim com bauxite, originando-se assim um cimento preto, de presa e endurecimento mais rápidos que o Portland, e com uma resistência química significativa [16].

2.3.2.2. GESSO

O gesso é um ligante hidrófilo aéreo, não sendo por isso resistente à acção da água, composto essencialmente por sulfatos de cálcio com diversos graus de hidratação. Este material é já utilizado desde a antiguidade na preparação de argamassas, devido à sua abundância e facilidade de produção.

Como principais vantagens do gesso, destacam-se a sua economia de produção, a resistência ao fogo elevada, um isolamento térmico e acústico adequado, e um acabamento de qualidade. Por outro lado, é um produto que apresenta uma aderência insatisfatória em superfícies lisas, e provoca a corrosão do ferro e do aço, podendo colocar em risco as armaduras.

O gesso é produzido a partir da pedra de gesso, por trituração e aquecimento em fornos até à eliminação de cerca de 75% da água de cristalização presente no material. Este processo dá origem a um gesso semi-hidratado, conhecido por gesso de Paris ou gesso calcinado, o qual solidifica com a adição de água. Por este motivo, o gesso deve sempre ser protegido da humidade antes da utilização. Não pode também ser misturado com cimento Portland, já que provoca a formação de sulfoaluminatos, nem deve ser aplicado sobre metal desprotegido sob risco de originar corrosão.

Durante a solidificação, a mesma quantidade de água removida durante o aquecimento é reabsorvida pelo gesso, provocando uma expansão do mesmo proporcional à água absorvida, o que pode por vezes originar a fissuração.

A quantidade de água a adicionar na amassadura influencia decisivamente as propriedades do gesso. Um volume de água reduzido, muito próximo do mínimo necessário para a hidratação, dará origem a um gesso com reduzida porosidade e elevada resistência mecânica, mas por outro lado com um tempo de presa demasiado curto. É necessário, por isso, encontrar um balanço que compatibilize as boas características mecânicas com um tempo de presa aceitável, ou alternativamente a adição de um retardador de presa.

Para a classificação do gesso definem-se geralmente quatro classes, A, B, C e D. O gesso classe A corresponde ao gesso de Paris, o qual endurece demasiado rapidamente e por isso tem pouca aplicação em obra. Por adição de um retardador obtém-se o gesso classe B, que corresponde ao gesso semi-hidratado retardado correntemente utilizado. A classe C representa um gesso anídrico, obtido pela remoção da totalidade da água de cristalização durante o fabrico, o qual endurece mais lentamente mas proporciona um acabamento com maior resistência. Finalmente a classe D corresponde aos gessos de giz, os quais são produzidos a temperaturas mais elevadas e contêm aceleradores para reduzir o tempo de endurecimento, apresentando a particularidade de poderem ser temperados mais que uma vez sem efeitos negativos sobre a resistência final [16].

2.3.2.3. CAL

A cal é um ligante obtido a partir da pedra calcária, o qual é, tal como o gesso, utilizado desde a antiguidade. O calcário, depois de extraído, é triturado e calcinado em fornos próprios para o efeito. O óxido de cálcio assim obtido é então misturado com água, originando hidróxido de cálcio, a cal apagada ou cal em pasta. Este material endurece com perda de água, formando ligações químicas com o dióxido de carbono atmosférico, processo conhecido por carbonatação.

Associado ao calcário, encontram-se sempre uma quantidade variável de impurezas, nomeadamente argila. A percentagem de argila presente na pedra calcária determinará o grau de hidraulicidade da cal, factor decisivo para o seu comportamento, e segundo o qual se faz a sua classificação.

- A cal aérea é a resultante de um calcário mais puro, com uma percentagem de argila inferior a cerca de 5%, e até 98% de óxido de cálcio.
- A cal hidráulica, por outro lado, contém uma percentagem superior de argila, da ordem dos 8% – 20%, que lhe confere propriedades semelhantes às do cimento Portland.
- A cal semi-hidráulica, como o próprio nome indica, representa um meio-ponto entre a cal hidráulica e a não-hidráulica, apresentando propriedades hidráulicas fracas ou médias, conforme o grau de impurezas.
- Para quantidades de argila ainda superiores, entre os 20% e os 40%, não estamos já na presença de uma cal, mas de um cimento natural.

Entre as restantes impurezas eventualmente presentes no material contam-se ainda a alumina, óxido de ferro e enxofre. A variação da quantidade destas impurezas na cal irá influenciar diversos parâmetros da mesma, como o tempo de cura, a trabalhabilidade e a robustez.

A cal hidratada é um produto de produção mais dispendiosa, normalmente vendido em pó, em sacos próprios. É obtida a partir de cal com elevada percentagem de cálcio, a qual é apagada sob condições controladas, removendo-se no final a água em excesso. A cal assim produzida apresenta um excelente rendimento e trabalhabilidade [16].

2.3.3. AGREGADOS

Relativamente aos agregados, o material mais utilizado é claramente a areia, mas outras possibilidades incluem seixos, escória, resíduos de construção e demolição (RCD), ou agregados leves como a perlite expandida, vermiculite, pedra-pomes granulada, lascas de granito e lascas de carborundo.

O factor mais importante no desempenho do agregado será a granulometria do mesmo, e assim também a classificação destes é feita de acordo com as suas características granulométricas. Assim, é considerado agregado fino aquele que passa num peneiro de 4 mm, e agregado grosso o restante.

Uma correcta distribuição granulométrica implica a distribuição do agregado por uma gama alargada de dimensões, resultando numa curva granulométrica mais alargada, como se pode observar na figura 19. Um agregado com estas características é desejável, visto que resulta num menor número de vazios, e conseqüentemente num menor consumo de ligante para o mesmo volume de argamassa. Para além da redução do custo de produção, a argamassa constituída por um agregado de granulometria extensa ganha assim uma maior resistência mecânica e menor porosidade, bem como uma maior trabalhabilidade.

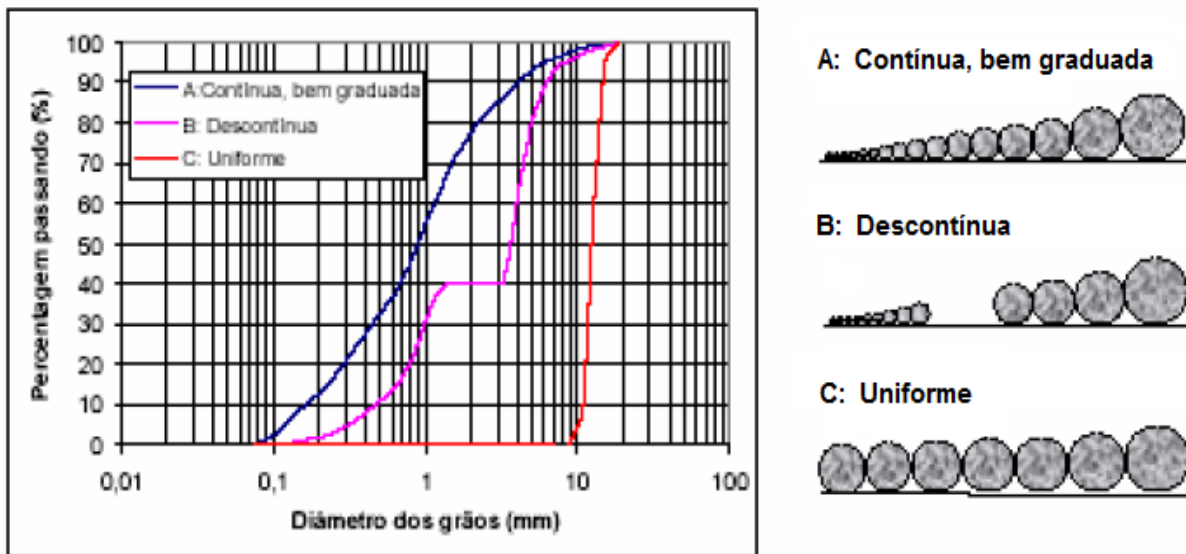


Fig. 19 – Curvas granulométricas: contínua e extensa (bem graduada), descontínua e uniforme

Um outro factor respeitante à granulometria que importa assegurar é a continuidade do agregado. Esta traduz-se por uma distribuição regular do agregado entre as suas maior e menor dimensão. A ausência de uma determinada classe de dimensão, traduzida pela não retenção de material no peneiro de abertura correspondente, é facilmente identificável na curva granulométrica, dando origem a uma linha quebrada, com um patamar, indicadora de uma descontinuidade. À semelhança do que sucede com o aumento da extensão granulométrica, uma granulometria contínua permitirá a redução do índice de vazios, com os mesmos efeitos positivos sobre a sua resistência, permeabilidade e trabalhabilidade.

Tal como a dimensão do agregado, também a forma desempenha um papel fundamental nas características da argamassa. Os agregados mais angulosos, em geral produzidos artificialmente por moagem de rochas ou materiais reciclados, permitem um maior encaixe entre partículas relativamente aos materiais naturais, mais arredondados. Este encaixe, para além da redução do índice de vazios, favorece o atrito interno entre partículas, aumentando também a resistência e durabilidade do agregado. No entanto, estas partículas exigem também maior quantidade de ligante para assegurar a sua trabalhabilidade.

Por outro lado, é desejável que cada partícula apresente a mesma ordem de grandeza para as três dimensões principais. Agregados com predomínio claro de uma ou duas dimensões, portanto de forma alongada ou achatada, têm tendência a dispor-se na argamassa segundo uma mesma orientação, conferindo-lhe assim propriedades anisotrópicas indesejáveis.

Outras características que importa garantir na escolha do agregado incluem a estabilidade química, assegurando a não ocorrência de reacções entre este e o ligante, bem como um reduzido coeficiente de expansão térmica e uma durabilidade elevada. Há ainda a considerar a densidade do agregado e a quantidade e natureza das impurezas presentes no mesmo.

As características exigíveis a um agregado para argamassa encontram-se especificadas na norma EN 13139:2005, Esta refere-se especificamente aos agregados utilizados em argamassas com funções de assentamento, revestimento, fundação, reparação e injecção.

2.3.4. ADITIVOS

Com vista à adaptação das características dos materiais às exigências de utilização, são frequentemente utilizados um número crescente de substâncias cuja adição em quantidades reduzidas permite a manipulação, dentro de certos limites, das propriedades das argamassas. Os efeitos pretendidos são muito variáveis, incluindo a aceleração ou retardamento da presa, melhoria da trabalhabilidade, aceleração do endurecimento, impermeabilização da argamassa, entre outros.

O rápido desenvolvimento destes produtos, bem como a sua diversidade, dificulta a adopção de um sistema normalizado de classificação dos mesmos. Uma classificação que interessa destacar é a proposta pelo RILEM, já em 1967, que divide os aditivos em quatro classes, de acordo com a função desempenhada [13]:

- Modificadores de reologia da massa fresca – Alteram a consistência da massa, podendo incluir produtos plastificantes, introdutores de ar, retentores de água, e promotores da aderência e coesão.
- Modificadores de tempo de presa – Permitem o aumento ou diminuição do tempo de presa da argamassa, ou a aceleração do endurecimento da mesma.
- Impermeabilizantes e hidrófugantes – Produtos que impedem, total ou parcialmente, a penetração ou circulação da água na argamassa.
- Expansivos – Provocam uma ligeira expansão, por forma a contrariar a retracção característica das argamassas.

2.3.5. FIBRAS DE REFORÇO

Em algumas situações tem interesse a melhoria das qualidades mecânicas do revestimento, como a resistência ou a coesão. Nesta situação, são normalmente adicionadas ao ligante fibras que aumentam a resistência da mesma. O processo é já conhecido desde a antiguidade, quando eram tradicionalmente utilizadas fibras animais, nomeadamente pêlos de vaca ou de cabra. Na actualidade, podem ser utilizadas com o mesmo fim malhas de metal, fibra de vidro, ou fibras curtas vegetais ou sintéticas, como o linho, sisal, juta ou nylon [16].

2.4 – APLICAÇÃO EM OBRA

2.4.1. MÉTODOS DE APLICAÇÃO

Um revestimento de parede em argamassa é em geral aplicado manualmente, estando por isso a sua qualidade final muito dependente da sua correcta execução. Uma aplicação defeituosa do revestimento é uma causa frequente de anomalias, particularmente em paredes de fachada. Justifica-se portanto, para esta tarefa, o emprego de uma mão-de-obra qualificada e experiente.

O revestimento de argamassa é tradicionalmente constituído por uma série de camadas sobrepostas, de composição e função diferentes:

- Chapisco – a primeira camada aplicada, tem por função a melhoria das condições de aderência entre a parede e o revestimento;
- Emboço – esta camada intermédia, por vezes aplicada faseadamente em subcamadas, constitui o corpo do revestimento, sendo a principal responsável pela sua resistência e impermeabilidade;

- Reboco – uma camada de acabamento, responsável pelo alisamento da parede e preparação desta para a aplicação da pintura.

Estas camadas são aplicadas sequencialmente, garantindo-se a correcta secagem de cada uma delas antes da aplicação da camada seguinte. Os traços a adoptar variam conforme a camada, devendo garantir-se um aumento da resistência mecânica da camada do exterior para o interior, sem no entanto exceder a resistência da base. Também a granulometria do agregado deve ser pensada por forma a que a camada de acabamento contenha a maior percentagem de agregado fino.

Actualmente, é já comum em Portugal a aplicação de revestimentos monocamada. Esta solução é constituída por uma única camada, desempenhando simultaneamente as funções de protecção, regularização e decoração. Uma vez que dispensam a aplicação de diversas camadas, estes revestimentos permitem uma maior facilidade e rapidez de execução. Ressalva-se que, dependendo das características da base, pode ser ainda necessária a aplicação de um primário para a preparação da mesma.

2.4.2. TRAÇOS

O traço de uma argamassa é definido pela proporção relativa de agregado e ligante presente na mesma, geralmente indicado em volume para facilitar a medição em obra. Esta é uma consideração importante aquando da escolha do revestimento, utilizando-se actualmente em construção civil uma grande variedade de traços, conforme as características pretendidas para o revestimento.

Em geral, verifica-se nas argamassas um aumento de resistência mecânica proporcional ao consumo de cimento da mesma, resultante da diminuição da sua porosidade e aumento da compacidade. Assim, traços com maior teor de cimento, ditos mais ricos, devem ser preferidos para revestimentos, que necessitam de maior resistência, como os que se encontram expostos a choques ou acções climáticas adversas.

Por outro lado, teores demasiado elevados de cimento podem conduzir a valores insatisfatórios de algumas propriedades, nomeadamente o módulo de elasticidade e a retracção, e apresentar por isso maior susceptibilidade à fendilhação. Por este motivo, para revestimentos menos expostos e que não requerem resistências elevadas, é recomendável a utilização de traços mais pobres em cimento.

O quadro 8 apresenta alguns valores das propriedades acima referidas, obtidas por via experimental, para argamassas de diferentes traços.

Quadro 8 – Propriedades das argamassas, determinadas experimentalmente, de acordo com o traço [4]

Traços	I	II	III	IV	V	VI
	1:2:9	1:2:7	1:1:6	1:9	1:1:10	1:6
	ci:cal:ar	ci:cal:ar	ci:cal:ar	ci:arg. Pré-	ci:pozolan:ar	ci:ar
		+ Sika1		misturada		+ morter
Propriedades						
Consumo de cimento	9,09	11,10	14,30	11,10	9,09	16,60
(%)Volume						
Consumo de cal	16,67	20,00	12,50	13,00	-	-
(%) Volume						
Relação água/cimento	2,67	2,12	1,85	1,83	3,75	1,95
Relação água/aglom.	0,89	0,71	0,92	0,98	1,88	1,95
Relação areia/finos	3,0	2,33	3,0	2,57	5,0	6,0
Resistência à compressão Axial	1,43	2,22	3,99	1,15	0,11	1,48
(MPa)						
Resistência à tração por compressão diametral	0,14	0,157	0,44	0,08	0,004	0,22
(MPa)						
Módulo de deformação estática	1.472,14	4.549,95	8.004,14	1.183,09	0	2.770,79
(MPa)						
Resistência de aderência à tração	0,28	0,30	0,54	0,38	0,23	0,39
(MPa)						
Resistência de aderência ao corte	0,42	0,47	0,54	0,51	0,39	0,51
(MPa)						
Retração (%)	0,052	0,158	0,135	0,062	0,049	0,02
Absorção (cm³)	2,25	1,49	1,75	1,52	1,91	3,09

3

RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ALVENARIAS

3.1 – MÉTODOS DE CÁLCULO E PARÂMETROS CONSIDERADOS

Na definição das resistência mecânica de um elemento de alvenaria para utilização em projecto, consideram-se geralmente quatro parâmetros, nomeadamente:

- Resistência à compressão;
- Resistência ao corte;
- Resistência à flexão;
- Relação tensões-extensões.

A resistência à tracção de estruturas de alvenaria é normalmente considerada desprezável.

As propriedades mecânicas de um pano de alvenaria dependem de uma vasta gama de factores, alguns deles de difícil quantificação. Particularmente, a construção em alvenaria é muito dependente da qualidade da mão-de-obra empregue. Por este motivo, o método preferencial para a determinação das propriedades mecânicas da alvenaria é a realização de ensaios experimentais.

São no geral consideradas três classes distintas de ensaios:

- Ensaios sobre as unidades e sobre a argamassa, cujas resistências à compressão podem ser relacionadas analiticamente com a resistência à compressão da alvenaria;
- Ensaios sobre provetes, cujas resistências podem frequentemente ser estendidas à totalidade do pano de alvenaria;
- Ensaios sobre uma secção completa do pano de alvenaria, permitindo tomar em consideração factores como a esbelteza da parede.

Para as situações em que não é viável a realização de ensaios, e não se encontrando disponíveis resultados comparáveis, como é frequentemente o caso em obra, os valores da resistência da alvenaria podem ser estimados com base em regras empíricas. Estas permitem um cálculo simplificado do desempenho esperado da estrutura, tendo normalmente como dados de partida o tipo de argamassa de assentamento e das unidades de alvenaria, e conseqüentemente a resistência mecânica das mesmas, as características das juntas horizontais e verticais, e a espessura da parede.

O método empírico de dimensionamento de estruturas é tradicionalmente muito utilizado, e a falta de estudos sobre o tema deu origem no passado a construções estruturalmente pouco eficazes. No entanto, actualmente as estruturas de alvenaria encontram-se já bem estudadas e regulamentadas. O Eurocódigo 6, embora preconizando também a determinação da resistência mecânica através de ensaios, apresenta expressões empíricas para o cálculo das resistências características à compressão e ao corte, as quais têm por base campanhas experimentais alargadas, e que podem ser utilizadas em

caso de ausência de resultados de ensaios. Destaca-se que estas resistências características não se referem a valores médios esperados, mas sim a resistências com 95% de probabilidade de serem asseguradas pela alvenaria [25].

3.2. MÉTODOS DE CÁLCULO DO EUROCÓDIGO 6

3.2.1. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO

3.2.1.1. EXPRESSÕES DO EUROCÓDIGO 6

A rotura de um pano de alvenaria por compressão é o resultado do esforço transverso desenvolvido paralelamente ao carregamento. Este irá provocar esforços de tracção nas unidades de alvenaria, levando no limite à abertura de fendas paralelas à direcção do carregamento, nas unidades e juntas verticais, situação ilustrada na figura 20.

Como resultado deste modelo de rotura, a resistência à tracção das unidades é um factor condicionante na resistência à compressão da alvenaria. Também a resistência à compressão da argamassa se revela importante, visto que uma maior resistência leva à diminuição do esforço transverso.

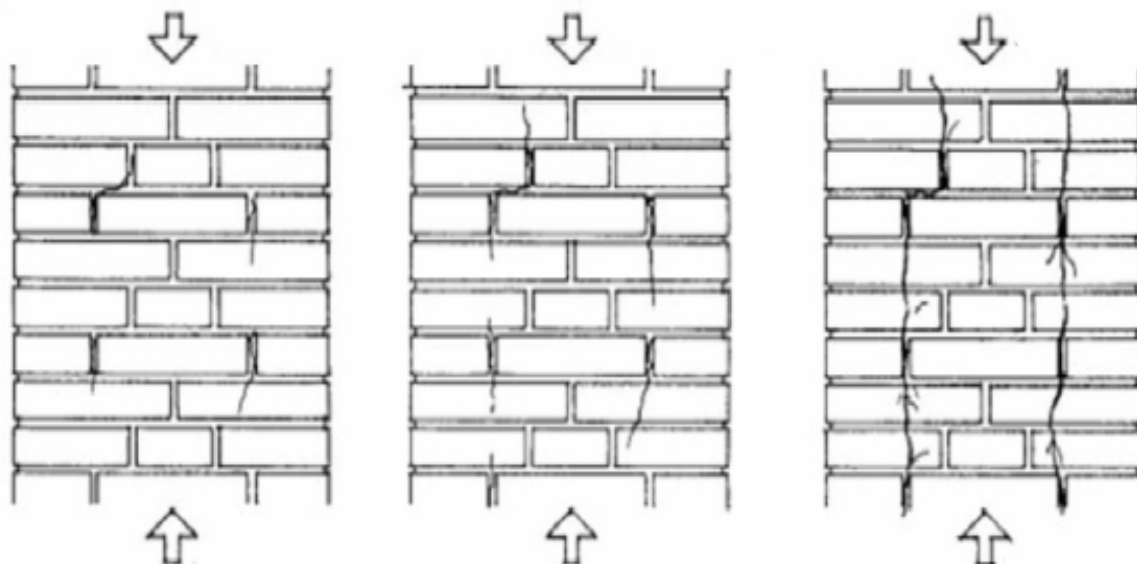


Fig.20 – Evolução da fendilhação numa alvenaria em compressão

Como foi referido atrás, o método preferencial a utilizar na definição da resistência característica das alvenarias é, segundo o Eurocódigo 6, a adopção de valores obtidos por meio de ensaios experimentais devidamente normalizados. Para o caso da resistência característica à compressão, os ensaios deverão ser efectuados de acordo com a norma EN 1052-1.

Quando não se encontram disponíveis os resultados destes ensaios, a resistência poderá ser determinada analiticamente, a partir da relação entre esta e as resistências da alvenaria e argamassa constituintes da alvenaria. É no entanto imperativo, para a verificação desta relação, que a parede de alvenaria seja realizada de acordo com as disposições construtivas especificadas no Eurocódigo 6.

De acordo com o ponto 3.6.1 do Eurocódigo 6 [26], para alvenarias realizadas com argamassa convencional, carregadas perpendicularmente à direção das juntas de assentamento, a resistência característica à compressão pode admitir-se como a calculada pela seguinte expressão:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad (1)$$

onde:

f_k é a resistência à compressão característica da alvenaria, em N/mm²;

f_b é a resistência à compressão característica normalizada das unidades, em N/mm²;

f_m é a resistência à compressão característica da argamassa, em N/mm².

No caso de paredes de alvenaria executadas com argamassa-cola, com espessura das juntas variável entre 0,5 mm e 3 mm, e unidades de betão de inertes, betão celular autoclavado, sílico-calcáreas, ou tijolo dos Grupos 1 e 4, a resistência característica à compressão é calculada pela expressão:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} \quad (2)$$

Para paredes realizadas com argamassa-cola e unidades de tijolo dos Grupos 2 e 3, a resistência característica à compressão pode ainda ser calculada por uma expressão semelhante:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \quad (3)$$

A constante K varia conforme o tipo de unidades e de argamassa utilizadas, de acordo com o quadro 9.

No entanto, para que qualquer das expressões anteriores seja considerada aplicável, é ainda necessária a verificação das seguintes condicionantes:

- parede realizada de acordo com a secção 8 de Eurocódigo 6;
- juntas preenchidas, de acordo com os parágrafos 8.1.5 (1) e (3);
- para alvenarias de argamassa ordinária, considerar uma resistência normalizada à compressão das unidades (f_b) menor ou igual a 75 N/mm²;
- para alvenarias de argamassa-cola, considerar uma resistência normalizada à compressão das unidades (f_b) menor ou igual a 50 N/mm²;
- para alvenarias de argamassa comum, considerar uma resistência à compressão da argamassa (f_m) menor ou igual a 20 N/mm², e menor ou igual a 2 f_b ;
- para alvenarias de argamassa leve, considerar uma resistência à compressão da argamassa (f_m) menor ou igual a 20 N/mm²;
- espessura da parede igual ao comprimento ou espessura das unidades, por forma a garantir a não existência de juntas longitudinais na totalidade ou em parte da parede;
- coeficiente de variação da resistência à compressão das unidades inferior a 25%.

Quadro 9 – Valores de K definidos pelo Eurocódigo 6, em função da argamassa e das unidades [26]

Unidades de alvenaria		Argamassa comum	Argamassa-cola (juntas de assentamento $\geq 0,5$ mm e ≤ 3 mm)	Argamassa leve de densidade	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho_d \leq 1300$ kg/m ³
Argila	Grupo 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Grupo 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Grupo 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Grupo 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Silicatos de cálcio	Grupo 1	0,55	0,80	+	+
	Grupo 2	0,45	0,65	+	+
Betão	Grupo 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Grupo 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Grupo 3	0,40	0,50	+	+
	Grupo 4	0,35	+	+	+
Betão celular autoclavado	Grupo 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Pedra manufacturada	Grupo 1	0,45	0,75	+	+
Pedra natural	Grupo 1	0,45	+	+	+
+ Combinação de argamassa/unidade pouco usual pelo que não é fornecido um valor.					

As expressões (1) a (3) são válidas para paredes de alvenaria com juntas verticais preenchidas, ou seja, ocupando como mínimo 40% da espessura das unidades. Estas podem, no entanto, ser estendidas a alvenarias com juntas não preenchidas, para efeitos de verificação de segurança a carregamentos verticais e a cargas concentradas, desde que se tomem cuidados para garantir a segurança às acções de corte, devendo ser tomadas em consideração todas as acções horizontais actuantes na estrutura.

Alvenarias que contenham juntas longitudinais em qualquer parte da parede, podem ainda ser calculadas de acordo com as expressões (1) a (3), multiplicando os valores de K por um coeficiente de 0,8.

Para o caso de alvenarias com juntas horizontais descontínuas, com unidades assentes em duas faixas iguais de argamassa ao longo das arestas exteriores da faixa de assentamento, a resistência característica à compressão poderá ser calculada pela expressão (1), desde que, adicionalmente aos critérios de aplicação da expressão, se verifiquem as seguintes condições:

- Para unidades dos Grupos 1 e 4:
 - largura de cada uma das faixas de argamassa igual ou superior a 30 mm;
 - não existência de juntas longitudinais;
 - razão g/t inferior ou igual a 0,6, sendo g o somatório das espessuras das faixas de argamassa, e t a espessura da parede;
 - valores de K reduzidos para 50% quando a razão g/t é inferior ou igual a 0,4, e 100% quando g/t é igual a 1, devendo os restantes valores ser obtidos por interpolação linear.
- Para unidades dos Grupos 2 e 3, a resistência normalizada à compressão das unidades deve ser obtida através de ensaios de acordo com a norma EN 772-1, com as unidades assentes sobre duas faixas de argamassa de assentamento semelhantes às que se pretendem utilizar.

3.2.1.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO DOCUMENTO NACIONAL DE APLICAÇÃO PORTUGUÊS

Em Portugal, por forma a facilitar a correcta determinação da resistência característica à compressão das alvenarias, o Documento Nacional de Aplicação (DNA) preliminar do Eurocódigo 6 fornece os resultados obtidos pelas expressões (1) a (3), para os produtos de utilização mais comum no país.

Quadro 10 – Resistência característica de alvenarias com argamassa convencional e unidades do Grupo 1

Argamassa	Unidades (Grupo 1)		
	U10	U15	U20
M5	4,0	5,2	6,3
M10	4,8	6,2	7,5

Quadro 11 – Resistência característica de alvenarias com argamassa convencional e unidades do Grupo 2a

Argamassa	Unidades (Grupo 2a)		
	U4	U5	U7
M5	2,0	2,3	2,9
M10	-	-	3,5

Quadro 12 – Resistência característica de alvenarias com argamassa convencional e unidades do Grupo 3

Argamassa	Unidades (Grupo 3)		
	U4	U5	U7
M5	1,5	1,7	2,1
M10	-	-	2,5

Quadro 13 – Resistência característica de alvenarias com argamassa-cola e unidades do Grupo 1

Argamassa	Unidades (Grupo 1)		
	U4	U5	U7
M5	2,6	3,1	4,2

3.2.2. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA AO CORTE

A tensão de corte desenvolvida numa alvenaria resulta da aplicação de forças laterais, perpendiculares à direcção principal de carregamento, as quais dão origem a esforços transversos na estrutura. A fendilhação desenvolve-se por isso em planos paralelos ao plano de tensões transversais, ao longo das juntas de assentamento.

A rotura da alvenaria pode dar-se a partir do interface argamassa-unidades, quando o factor limitante da tensão de rotura é a aderência entre ambos, ou a partir da junta de assentamento, situação em que o factor limitante é a resistência ao corte da argamassa.

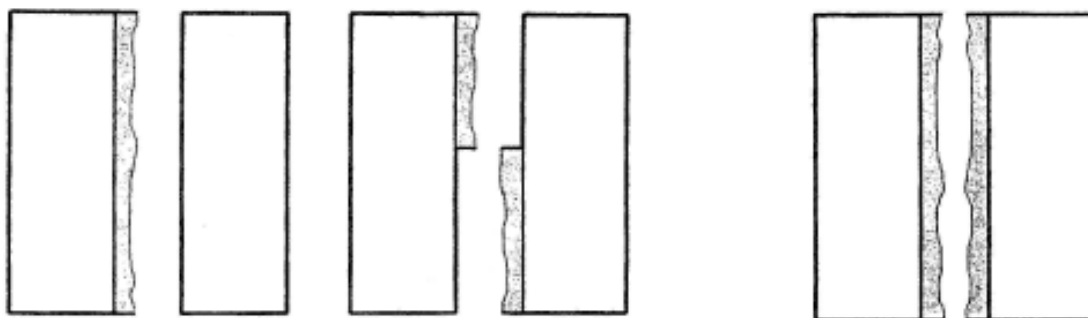


Fig.21 – Modelos de rotura por corte: esgotamento da aderência (esquerda e centro) e esgotamento da resistência ao corte da argamassa (direita)

De acordo com o ponto 3.6.2 do Eurocódigo 6 [26], a resistência característica ao corte da alvenaria, tal como a resistência à compressão, deverá sempre que possível ser determinada por via experimental, segundo a norma EN 1052-3. A figura 22 apresenta um esquema do método de ensaio referido.

Sempre que não se encontrem disponíveis os resultados destes ensaios, é possível determinar esta resistência relacionando-a com a resistência inicial ao corte da alvenaria e a tensão de compressão actuante na mesma.

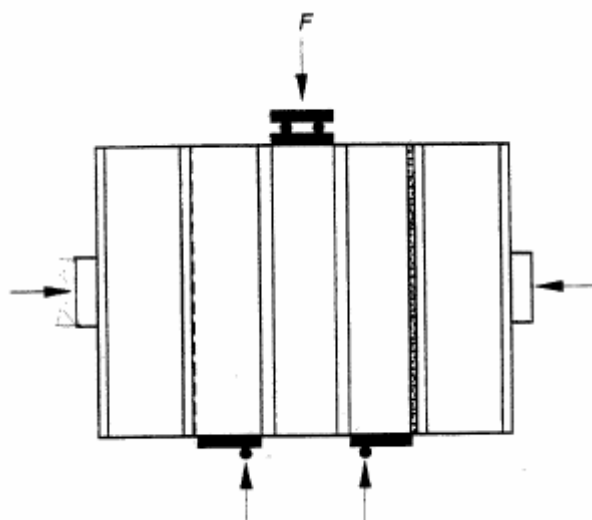


Fig.22 – Esquema de ensaio para determinar a resistência ao corte, de acordo com a EN 1052-3

A resistência característica ao corte de uma parede de alvenaria realizada com argamassa convencional, com juntas preenchidas, pode calcular-se pela expressão:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d \quad (4)$$

onde:

f_{vk} é a resistência ao corte característica da alvenaria, em N/mm²;

f_{vk0} é a resistência ao corte inicial característica da alvenaria, sob compressão nula, em N/mm²;

σ_d é a tensão de compressão actuante, em N/mm².

O valor de f_{vk0} é a resistência ao corte sob compressão nula, conforme obtida pelas normas EN 1052-3 e EN 1052-4, podendo ser considerada igual a 0,1 N/mm² quando não se encontrem resultados de ensaios disponíveis, ou obtida através do quadro 14, desde que as argamassas convencionais não contenham aditivos ou adjuvantes.

σ_d é o valor de cálculo da tensão de compressão, na direcção perpendicular ao corte, segundo o método de combinação de acções.

O valor de f_{vk} assim calculado, no entanto, não deve nunca ser considerado superior a 0,065 f_b .

Quadro 14 – Resistência ao corte inicial característica, sob compressão nula [26]

Unidades de alvenaria	f_{vko} (N/mm ²)		
	Argamassa comum da Classe de Resistência	Argamassa-cola (juntas de assentamento $\geq 0,5$ mm e ≤ 3 mm)	Argamassa leve
Argila	M10 - M20	0,30	0,30
	M2,5 - M9	0,20	
	M1 - M2	0,10	
Silicatos de cálcio	M10 - M20	0,20	0,40
	M2,5 - M9	0,15	
	M1 - M2	0,10	
Betão	M10 - M20	0,20	0,30
Betão celular autoclavado	M2,5 - M9	0,15	
Pedra manufactural e natural	M1 - M2	0,10	

Para paredes realizadas com juntas verticais não preenchidas, desde que seja garantido que as faces contíguas das unidades se encontram firmemente encostadas, a resistência característica ao corte pode calcular-se pela expressão (4), mas multiplicando o valor de f_{vk0} por um coeficiente de 0,5.

Para paredes realizadas com juntas descontínuas de argamassa convencional, conforme definidas no ponto 4.2.1.1, a resistência característica ao corte pode ainda calcular-se com recurso à expressão (4), multiplicando f_{kv0} por um coeficiente igual a g/t , sendo g a largura total de ambas as faixas de argamassa das juntas e t a espessura total da parede.

Se a alvenaria incluir uma barreira de estanquidade, a resistência característica ao corte deverá ser determinada de acordo com a EN 1052-4.

3.2.3. RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À FLEXÃO

O método previsto no Eurocódigo 6 para cálculo da resistência característica à flexão é a realização de ensaios em provetes, de acordo com a norma EN 1052-2. Para a determinação da resistência, importa definir correctamente a orientação do plano de rotura, o qual pode ser paralelo às juntas de assentamento, no caso de acções normais à superfície da parede, nomeadamente a acção do vento, ou perpendicular às juntas de assentamento nos restantes casos.

Alternativamente, o Eurocódigo 6 fornece os valores a considerar, para diversos tipos de unidades e argamassa, para a rotura por flexão segundo um plano de rotura paralelo às juntas de assentamento (f_{xk1}), ou perpendicular às juntas (f_{xk2}) [26].

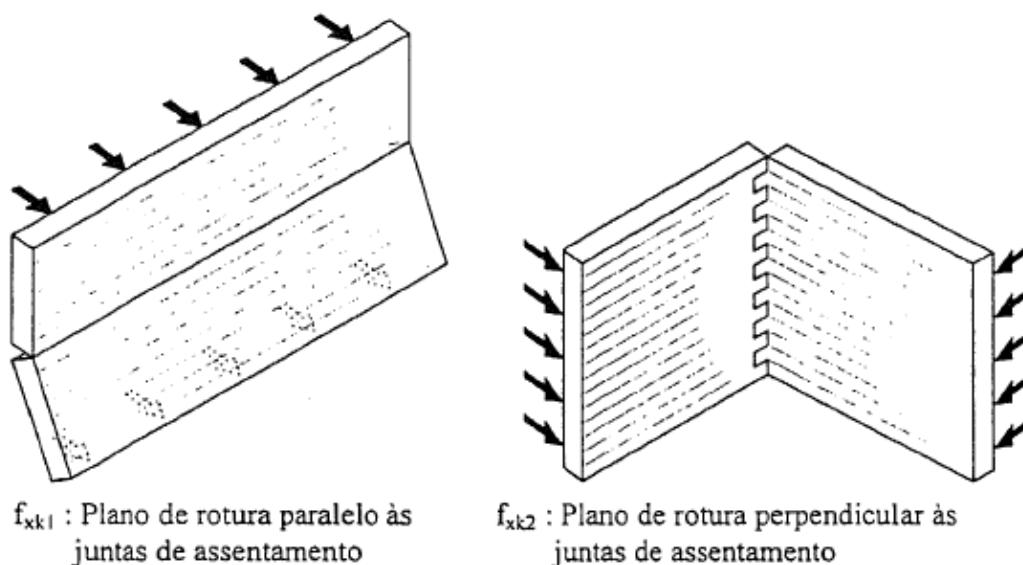


Fig.23 – Planos de rotura por flexão de paredes de alvenaria [25]

Os valores de resistência característica à flexão a adoptar para cada caso, f_{xk1} e f_{xk2} , podem ser retirados dos quadros 15 e 16, respectivamente, em função do tipo de unidades e argamassa de

assentamento utilizadas. Os valores de f_{xk2} não devem nunca ser considerados superiores à resistência característica à flexão das unidades.

Quadro 15 – Resistência característica à flexão com plano de rotura paralelo às juntas de assentamento [26]

Unidades de alvenaria	f_{xk1} (N/mm ²)			
	Argamassa comum		Argamassa-cola	Argamassa leve
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m \geq 5$ N/mm ²		
Argila	0,10	0,10	0,15	0,10
Silicatos de cálcio	0,05	0,10	0,20	não utilizado
Betão	0,05	0,10	0,20	não utilizado
Betão celular autoclavado	0,05	0,10	0,15	0,10
Pedra manufacturada	0,05	0,10	não utilizado	não utilizado
Pedra natural	0,05	0,10	0,15	não utilizado

Quadro 16 – Resistência característica à flexão com plano de rotura perpendicular às juntas de assentamento [26]

Unidades de alvenaria	f_{xk2} (N/mm ²)			
	Argamassa comum		Argamassa-cola	Argamassa leve
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m \geq 5$ N/mm ²		
Argila	0,20	0,40	0,15	0,10
Silicatos de cálcio	0,20	0,40	0,30	não utilizado
Betão	0,20	0,40	0,30	não utilizado
Betão celular autoclavado	$\rho < 400$ kg/m ³	0,20	0,20	0,15
	$\rho \geq 400$ kg/m ³	0,20	0,40	0,15
Pedra manufacturada	0,20	0,40	não utilizado	não utilizado
Pedra natural	0,20	0,40	0,15	não utilizado

Para situações em que a rotura da parede possa conduzir a um colapso ou perda de estabilidade significativa na estrutura, a resistência característica à flexão da alvenaria deve ser considerada como nula [25].

3.3. INFLUÊNCIA DOS REVESTIMENTOS NA RESISTÊNCIA MECÂNICA

Como é possível verificar atrás, os principais factores referidos pelo Eurocódigo para o cálculo dos carregamentos limite nas alvenarias são o tipo e a resistência das unidades e da argamassa de assentamento, e a configuração das juntas horizontais, verticais e eventualmente longitudinais. As

características do revestimento e a sua contribuição para a resistência mecânica da parede são, por esse motivo, geralmente desprezadas nesta estimativa.

Existem já no entanto alguns ensaios nesta área, maioritariamente focados na aplicação de revestimentos de argamassa armada. Refere-se a campanha de ensaios conduzida por Fabiana Lopes da Oliveira e João Bento de Hanai na sequência da publicação *Reabilitação de Paredes de Alvenaria pela Aplicação de Revestimentos Resistentes de Argamassa Armada* [13], onde se ensaiam provetes com revestimentos de argamassa com diferentes resistências, argamassa armada e telas soldadas, entre outros, e cujos resultados mais relevantes para este trabalho se apresentam nos quadros 17 e 18.

Os resultados desta campanha revelam, no geral, um aumento da resistência e rigidez dos provetes revestidos, em particular nas situações em que nestes se desenvolvem esforços de tracção, como é o caso da compressão diagonal. Verifica-se ainda que os revestimentos mais eficazes nesta situação são claramente os de telas soldadas e os de argamassa com fibras de reforço [13].

Estes revestimentos armados já são, aliás, utilizados com frequência na reabilitação e reforço estrutural de edifícios de alvenaria. Trata-se de uma solução que implica alterações estéticas, no caso das alvenarias aparentes, mas bastante eficaz no tratamento de paredes com elevada degradação superficial. A sua aplicação, além de aumentar a durabilidade e a resistência às acções atmosféricas, conduz a um aumento da resistência à tracção e ao corte, bem como ao controle da fendilhação e eventualmente uma melhoria da ligação entre diferentes elementos.

As armaduras a utilizar nas argamassas reforçadas podem incluir malhas de aço electrosoldadas, malhas de metal distendido, redes de fibra de vidro, ou fibras curtas de aço ou sintéticas. Estas redes são fixas à parede a reparar, e recobertas pela camada de argamassa de revestimento, a qual deverá ter uma espessura suficiente, entre 2 e 3 cm [13].

Quadro 17 – Resultados de ensaios à compressão simples de provetes revestidos [13]

Condição de revestimento	Parede	$f_{\text{arg.rev.}}$ (MPa)	$F_{\text{máx.}}$ (kN)	$F_{\text{med.}}$ (kN)	$\frac{F_{\text{CR}}}{F_{\text{SR}}}$
Sem revestimento	P01	—	406		1,00
	P02	—	387	397	
Argamassa “fraca”	P03	3	485		1,22
	P04	3	300*	485	
Argamassa “forte”	P05	26	489		1,18
	P06	24	450	470	
Telas soldadas	P07	24	543		1,43
	P08	23	592	568	
Telas soldadas + conectores 1	P09	23	556		1,44
	P10	23	583	570	
Argamassa “fraca” + fibras de	P11	3	369		0,90
	P12	3	343	356	
Argamassa “forte” + fibras de aço	P13	22	463		1,16
	P14	23	454	459	
Telas soldadas + conectores 2	P15	24	518		1,20
	P16	24	436	477	

Observações:

$f_{\text{arg.rev.}}$ = resistência da argamassa de revestimento

$F_{\text{máx.}}$ = força máxima aplicada

$F_{\text{med.}}$ = carregamento médio aplicado

F_{CR} = força máxima aplicada na parede com revestimento

F_{SR} = força máxima aplicada na parede sem revestimento

* = resultado descartado

Quadro 18 – Resultados de ensaios à compressão diagonal de provetes revestidos [13]

Condição de revestimento	Parede	$f_{\text{arg.rev}}$ (MPa)	$F_{\text{máx.}}$ (kN)	$F_{\text{med.}}$ (kN)	τ_b (MPa)	$\frac{\tau_b \text{CR}}{\tau_b \text{SR}}$
Sem revestimento	P01	-	59	0,38	0,48	1,00
	P02	-	89	0,57		
Argamassa “fraca”	P03	4	154	0,77	0,74	1,55
	P04	4	140	0,70		
Argamassa “forte”	P05	23	200	0,99	0,96	2,02
	P06	23	188	0,93		
Telas soldadas	P07	21	254	1,26	1,16	2,43
	P08	21	212	1,05		
Telas soldadas + conectores 1	P09	21	319	1,59	1,56	3,28
	P10	21	307	1,53		
Argamassa “fraca” + fibras de polipropileno	P11	3	137	0,68	0,65	1,37
	P12	3	124	0,62		
Argamassa “forte” + fibras de aço	P13	20	212	1,05	1,18	2,47
	P14	20	261	1,30		
Telas soldadas + conectores 2	P15	21	242	1,20	1,25	2,62
	P16	21	260	1,29		

Observações:

$f_{\text{arg.rev.}}$ = resistência à compressão axial da argamassa de revestimento

$F_{\text{máx.}}$ = força máxima aplicada

$F_{\text{med.}}$ = carregamento médio aplicado

τ_b = tensão de corte em relação à área bruta

$\tau_b \text{CR}$ = tensão de corte em relação à área bruta, com revestimento

$\tau_b \text{SR}$ = tensão de corte em relação à área bruta, sem revestimento

4

CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL

4.1. OBJECTIVO E NORMALIZAÇÃO

Procurou-se, através da campanha experimental a seguir descrita, proceder à quantificação da influência de um reboco de argamassa comum na tensão de rotura das alvenarias, quando sujeitas a esforços de compressão diagonal. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma americana ASTM E519/2002 – *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages* [27].

A escolha deste modelo de carregamento fica a dever-se ao facto de este desenvolver simultaneamente esforços de compressão e de corte na alvenaria, permitindo um estudo da actuação conjunta dos dois fenómenos. O carregamento desenvolve-se segundo uma direcção diagonal, através da aplicação de cargas concentradas em dois vértices opostos do provete. A rotura dá-se geralmente com abertura de fendas ao longo da direcção do carregamento, e eventualmente esmagamento dos vértices onde é aplicado o carregamento (figura 24). Para permitir a transmissão das cargas da máquina de ensaios ao provete, bem como para evitar a rotura prematura dos vértices carregados, estes são assentes em duas sapatas de aço.

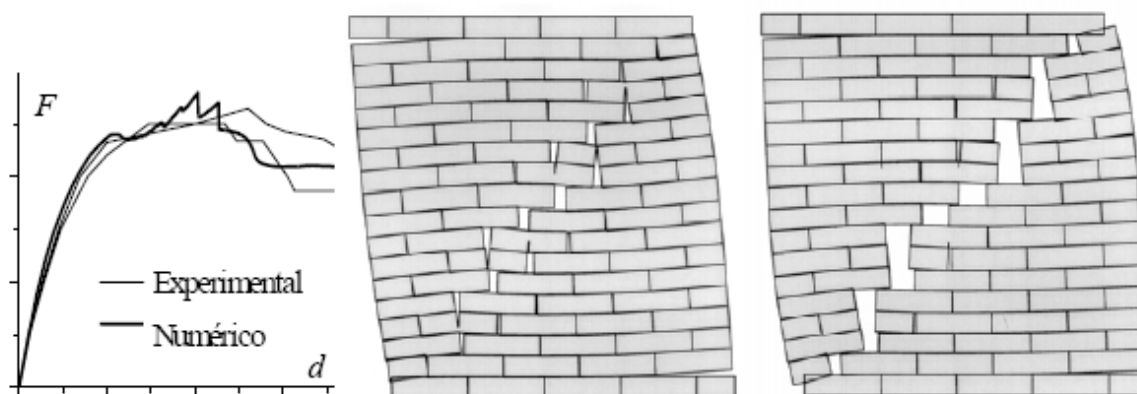


Fig.24 – Modelo de colapso e gráfico força-distorção previsto de um ensaio de compressão diagonal [9]

Foram ensaiadas duas séries idênticas de provetes, numa das quais foi aplicado um reboco simples em ambas as faces. Uma vez que se pretendia fazer a comparação entre as tensões desenvolvidas no tosco da parede para as duas séries, a espessura desta camada de revestimento não foi considerada na determinação da área do provete, para efeitos de cálculo de tensão.

4.2. PORMENORIZAÇÃO DO ENSAIO

4.2.1. INFORMAÇÕES GERAIS DO ENSAIO

O ensaio foi efectuado no Laboratório de Sistemas e Componentes da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, de acordo com a norma ASTM E519/2002. Foram consideradas duas séries de ensaios, correspondentes a provetes não revestidos e com um revestimento de argamassa corrente, ensaiando-se 4 provetes por série. Os materiais e a mão-de-obra para construção dos provetes foram fornecidos pela empresa Maxit.

4.2.2. UNIDADES DE ALVENARIA

As unidades de alvenaria utilizadas nos ensaios foram blocos de betão de agregados leves, concretamente de argila expandida, com furação vertical, de designação comercial Bloco Conforto. Os blocos têm dimensões exteriores nominais de 350x350x190 mm (comprimento x largura x altura), e uma percentagem de furação de 26%, possuindo ainda uma face destinada ao assentamento com argamassa de juntas horizontais descontínuas. Trata-se de um produto concebido para a construção de alvenarias estruturais em parede simples, cumprindo os critérios do Eurocódigo 6, em particular os *Parâmetros Determinados a Nível Nacional (NDP)* para o território português [10].

Os blocos apresentam uma resistência média à compressão normalizada de $2,6 \text{ N/mm}^2$, com um coeficiente de variação de 11,1%, valores obtidos experimentalmente de acordo com a norma NP EN 772-1:2002. A idade dos blocos aquando da construção dos provetes foi de 26 dias.

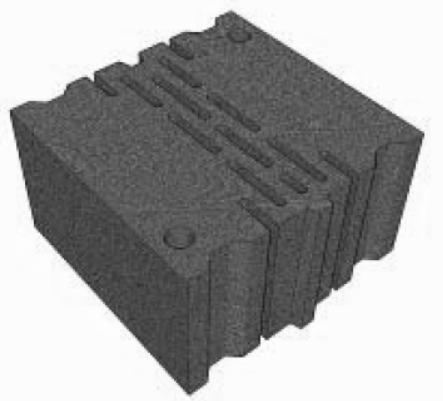


Fig.25 – Bloco Conforto [10]

4.2.3. ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REBOCO

A argamassa de assentamento utilizada foi uma argamassa de agregados leves, seca e pré-doseada, de designação comercial Maxit AM5 light. A amassadura foi efectuada em laboratório, com adição de água. A resistência média à compressão desta argamassa é de $11,5 \text{ N/mm}^2$, enquanto a resistência média à tracção em flexão é de $2,4 \text{ N/mm}^2$. Estes valores foram obtidos através de ensaios efectuados no Laboratório de Materiais, de acordo com a norma EN 1015-11:1999.

Na segunda série de provetes ensaiada foi aplicado um revestimento de argamassa convencional, com 1,5 cm de espessura, em ambas as faces dos provetes. A argamassa utilizada foi Maxit AM5 light, de características idênticas à aplicada nas juntas de assentamento.

4.2.4. CARACTERÍSTICAS DOS PROVETES

Utilizaram-se, para cada série de ensaios, 4 provetes de alvenaria, com dimensões médias 800x800x350 mm (comprimento x altura x espessura), e peso médio de 204 kg. Estas dimensões foram adoptadas tendo em consideração o equipamento utilizado.

Relativamente ao aparelho de assentamento, as juntas horizontais são descontínuas, realizadas com argamassa Maxit AM5 light, em 2 faixas de argamassa, com 120 mm de largura e 10mm de espessura cada. As juntas verticais são desencontradas em 175 mm, conforme o esquematizado na figura 26, e preenchidas com argamassa nas bolsas existentes nos blocos para esse efeito, as quais representam cerca 40% da largura do bloco.

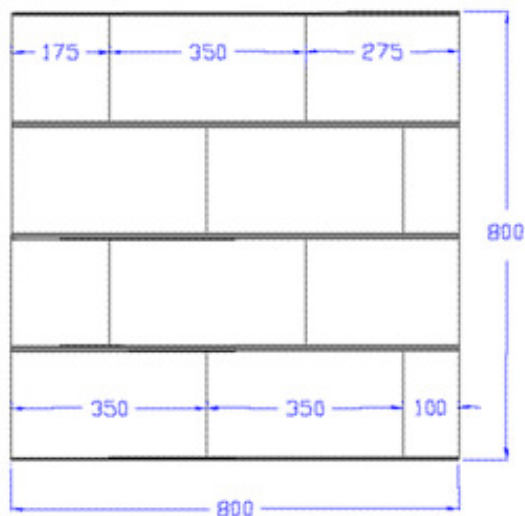


Fig.26 – Dimensões e aparelho de assentamento do provete ensaiado

Os provetes foram construídos e conservados ao ar em laboratório até à data de ensaio, em sala não condicionada. A temperatura variou entre 19° e 21°, e a humidade relativa entre 60% e 65%.



Fig.27 – Provede não revestido (série 1) antes do ensaio

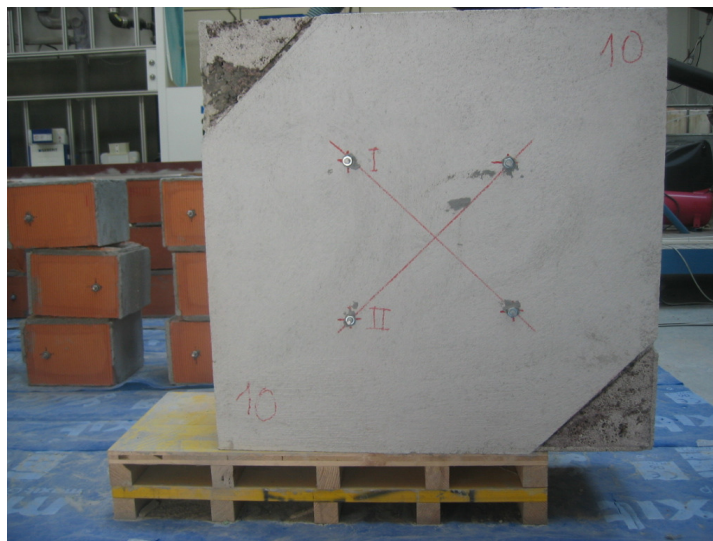


Fig.28 – Provetes revestido (série 2) antes do ensaio

4.2.5. EQUIPAMENTO E INSTRUMENTAÇÃO

Para o carregamento dos provetes, foi empregue uma máquina de ensaios à compressão com controlo de força aplicada. O equipamento utilizado apresenta uma capacidade de carga máxima de 3000 kN, permitindo um aumento de carga constante, a velocidades compreendidas entre os 0,01 kN/s e 99,99 kN/s. Este equipamento possui bases horizontais em aço, com uma área de contacto disponível de 400x600 mm², e capacidade para acomodar provetes com um máximo de 1,5 m de altura.



Fig.29 – Máquina de ensaios



Fig.30 – Sapata para apoio dos provetes

Para medição das deformações foram aplicados em cada provete, imediatamente antes do respectivo ensaio, 4 transdutores electrónicos. Estes foram dispostos ortogonalmente entre si, conforme o esquematizado na figura 31, por forma a medir as deformações verticais, segundo o eixo de carregamento, e horizontais, perpendicularmente a este eixo. Foi instalado um par de transdutores em cada face do provete, permitindo medir eventuais variações de deformação devidas a erros na aplicação da carga ou assimetrias dos provetes.

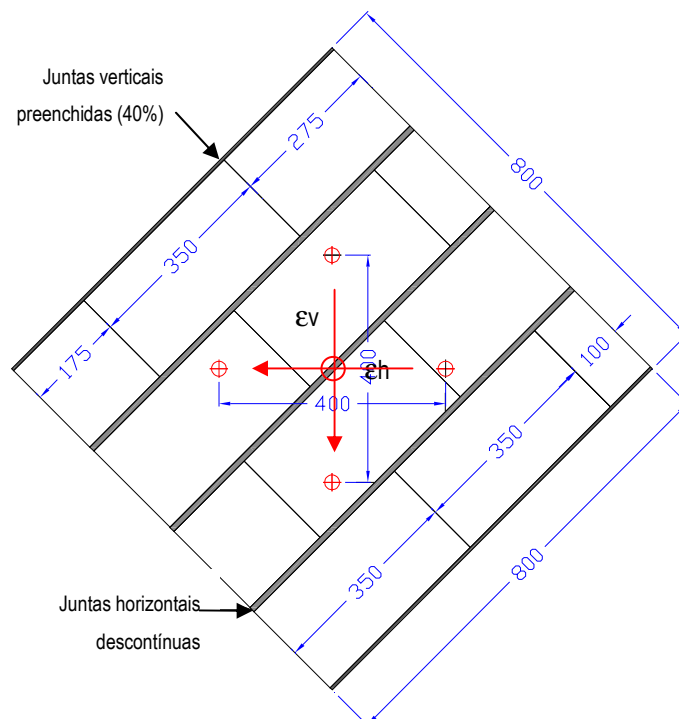


Fig.31 – Localização dos transdutores no provete



Fig.32 – Transdutores

4.3. PROCEDIMENTO

4.3.1. EXECUÇÃO EXPERIMENTAL

As sapatas foram fixas ao provete, em vértices opostos, e este foi posicionado no centro da máquina de ensaios. Foram então instalados os transdutores, e o provete foi carregado na vertical até à rotura, a velocidade constante de 5 kN/s. A intervalos de tempo regulares, o aumento de carga foi interrompido, registando-se a carga aplicada no provete, bem como as deformações horizontais e verticais registadas pelos transdutores. A rotura do provete foi atingida ao fim de aproximadamente 5 minutos, e o carregamento foi então imediatamente interrompido, registando-se a força máxima actuante.

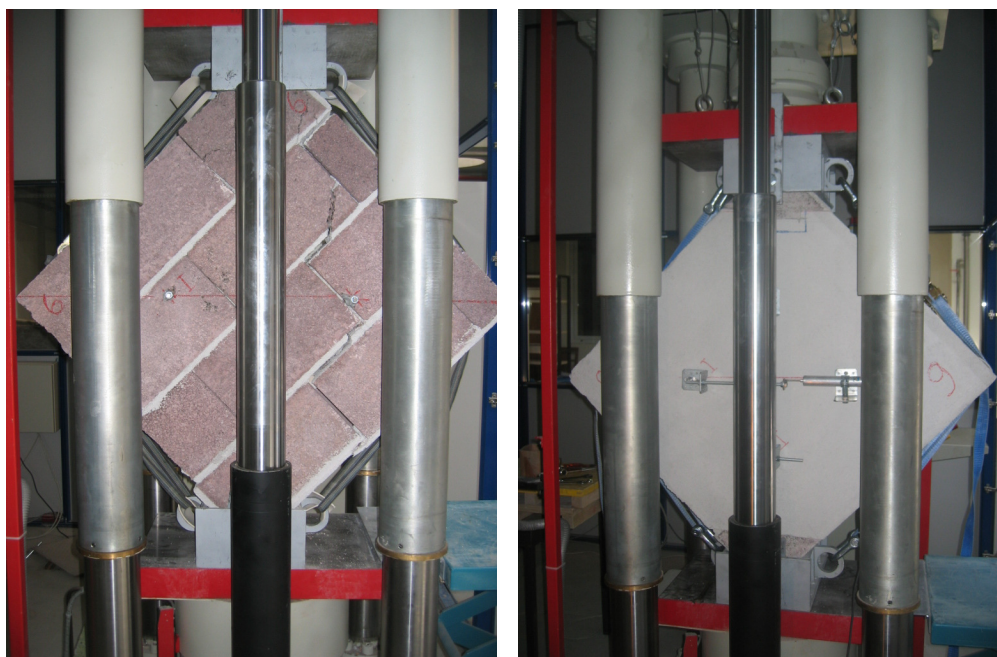


Fig.33 – Provete não revestido (esquerda) e provete revestido (direita) durante o ensaio

A rotura deu-se com abertura de fendas segundo a direcção do carregamento, diagonalmente ao provete. A fissuração desenvolveu-se maioritariamente na interface bloco-argamassa, ao longo das juntas de assentamento horizontais. Não foi possível, devido à configuração dos blocos, observar a ocorrência de fissuras nas juntas verticais.

Nos provetes revestidos com reboco, foi também visível o desenvolvimento de uma fenda na direcção diagonal, embora não acompanhando as juntas de assentamento neste caso. Não ocorreram situações de destacamento de reboco do provete.

Em alguns provetes verificou-se ainda um esmagamento localizado dos vértices nos quais foi aplicado o carregamento.

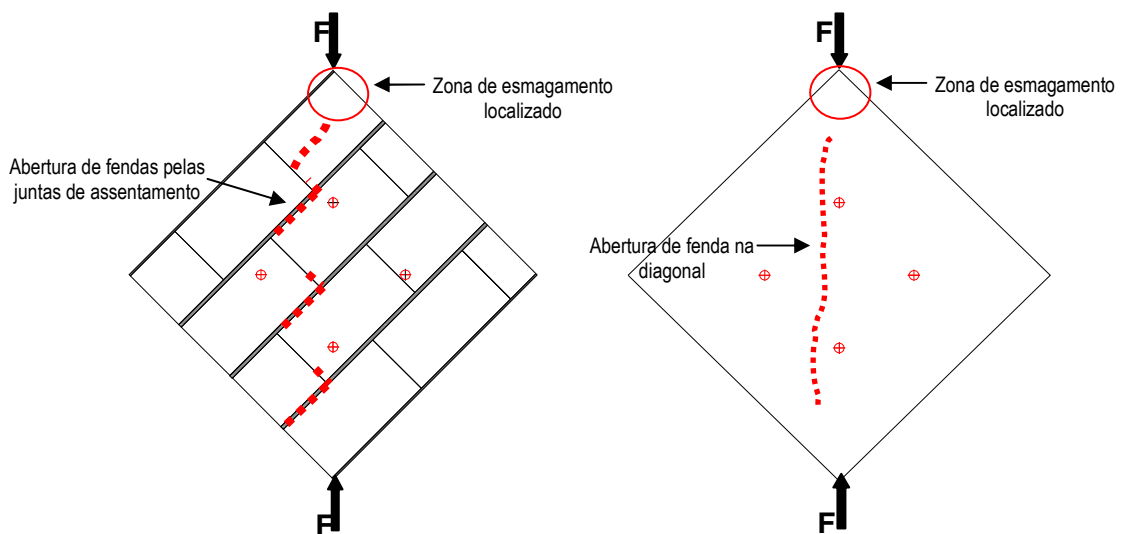


Fig.34 – Modelo de rotura dos provetes não revestidos (esquerda) e dos provetes revestidos (direita)



Fig.35 – Provede não revestido após a rotura

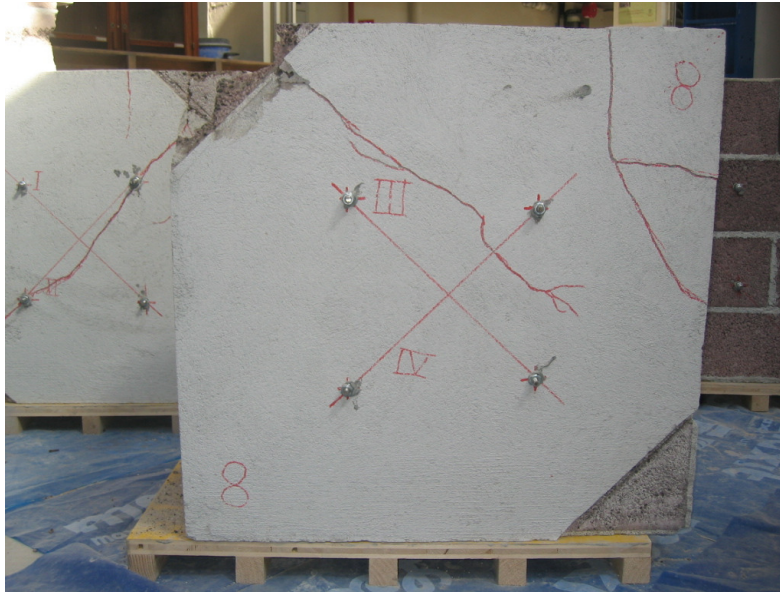


Fig.36 – Provete revestido após a rotura

4.3.2. CÁLCULOS EFECTUADOS

A área efectiva para efeitos de cálculo da tensão de corte foi calculada pela fórmula:

$$A_n = \left(\frac{l+h}{2} \right) b n \quad (5)$$

onde:

A_n é a área efectiva do provete, em m^2 ;

l é o comprimento do provete, em m;

h é a altura do provete, em m;

b é a espessura do provete, em m;

n é a percentagem de área sólida das unidades, ou seja, a diferença para a unidade da percentagem de furação.

Para os provetes ensaiados, com dimensões 800x800x350, e unidades de alvenaria com 26% de furação, logo 74% de área sólida, a área efectiva será então:

$$A_n = \left(\frac{0,80+0,80}{2} \right) x 0,35 x 0,74 = 0,207 \text{ m}^2 \quad (6)$$

Foi então calculada a tensão de corte dos provetes, de acordo com a fórmula:

$$\sigma_s = \frac{0.707 P}{A_n} \quad (7)$$

onde:

σ_s é a tensão de corte no provete, em MPa;

P é a força actuante no provete, em kN;

As deformações verticais e horizontais foram calculadas, para cada um dos pontos registados, pelas fórmulas:

$$\Delta V = \frac{e_v}{g} \quad (8)$$

$$\Delta H = \frac{e_h}{g} \quad (9)$$

onde:

e_v é a deformação média registada nos transdutores verticais, em mm;

ΔV é a deformação vertical, em mm/m;

g é a distância média entre os pontos de aplicação dos transdutores verticais, em m;

e_h é a deformação média registada nos transdutores horizontais, em mm;

ΔH é a deformação horizontal, em mm/m.

A distorção foi obtida pelo somatório das respectivas deformações verticais e horizontais:

$$\gamma = \Delta V + \Delta H \quad (10)$$

onde:

γ é a distorção, em mm/m.

O módulo de distorção foi calculado para uma carga correspondente a 1/3 da carga máxima, situação em que os provetes apresentam ainda um comportamento elástico. As deformações correspondentes a

este carregamento foram interpoladas linearmente a partir dos dois valores registados mais próximos, e o módulo de distorção foi então calculado pela fórmula:

$$G = \frac{\sigma_s}{\gamma} \quad (11)$$

onde:

G é o módulo de distorção, a 1/3 da força máxima, em MPa.

5

RESULTADOS

5.1. RESULTADOS OBTIDOS

5.1.1. SÉRIE 1

As forças máximas atingidas na primeira série de ensaios, correspondentes a provetes não revestidos, bem como as correspondentes tensões máximas, apresentam-se no quadro 19. Para cada provete, foi obtida por interpolação linear a distorção correspondente a 1/3 da carga máxima, e calculado o respectivo módulo de distorção, apresentando-se os respectivos valores no quadro 20.

Quadro 19 – Força máxima e tensão de rotura dos provetes da primeira série

Provete	Força Máxima [kN]	Tensão de Rotura [MPa]
CDalv-A1	133	0,453
CDalv-A2	158	0,539
CDalv-A3	181	0,619
CDalv-A4	176	0,600

Quadro 20 – Distorção e módulo de distorção dos provetes da primeira série

Provete	Distorção (1/3 P _{máx}) [mm/m]	Módulo de Distorção (1/3 P _{máx}) [MPa]
CDalv-A1	0,078	1932
CDalv-A2	0,103	1742
CDalv-A3	0,131	1570
CDalv-A4	0,141	1419

A análise dos valores obtidos para cada um dos provetes, bem como dos respectivos gráficos força-distorção, revela uma discrepância entre o primeiro provete (CDalv-A1) e os restantes. Visto tratar-se do primeiro provete a ser ensaiado, há uma possibilidade elevada de estes valores terem sido afectados por erros significativos durante o ensaio, os quais terão sido posteriormente corrigidos. Optou-se por

isso, no tratamento estatístico dos resultados e na análise dos mesmos, por excluir o ensaio de resultado duvidoso, mantendo apenas os 3 restantes. Foram então calculados para estes ensaios os valores médios da tensão de rotura e módulo de distorção, bem como os correspondentes desvios padrão e coeficientes de variação. Estes resultados gerais apresentam-se no quadro 21.

No entanto, visto que apenas foram ensaiados 4 provetes para cada série, não é possível afirmar com elevado grau de certeza que o resultado do primeiro ensaio é de facto anómalo. Por este motivo, apresentam-se também, para efeitos comparativos, os dados estatísticos relativos ao conjunto dos 4 ensaios, no quadro 22.

Quadro 21 – Valores médios da tensão de rotura e módulo de distorção da primeira série

	Tensão de Rotura [MPa]	Módulo de Distorção (1/3 P _{máx}) [MPa]
Média	0,586	1577
Desvio Padrão	0,042	161
Coeficiente de Variação	7,09%	10,23%

Quadro 22 – Valores médios da tensão de rotura e módulo de distorção da primeira série, incluindo o ensaio 1

	Tensão de Rotura [MPa]	Módulo de Distorção (1/3 P _{máx}) [MPa]
Média	0,553	1666
Desvio Padrão	0,074	221
Coeficiente de Variação	13,48%	13,28%

Recorrendo aos dados relativos a forças actuantes e deformações verticais e horizontais, para cada patamar de carregamento, foram traçadas as curvas força-extensão vertical, força-extensão horizontal, e força-distorção para cada um dos provetes (figuras 37 e 38). Os resultados completos, que serviram de base ao traçado dos gráficos, apresentam-se no anexo A1.

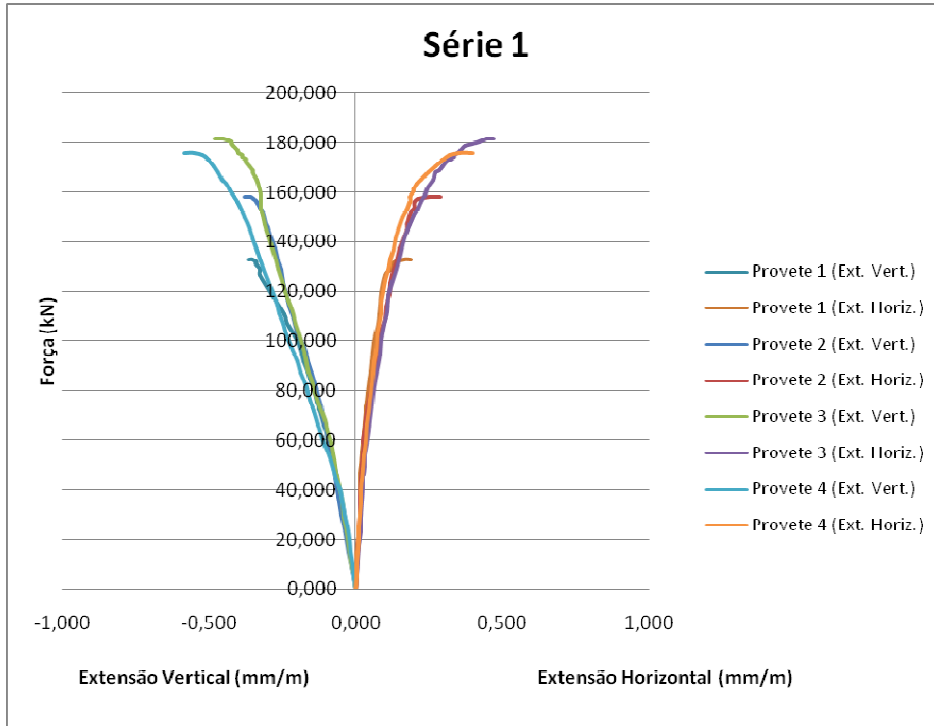


Fig.37 – Gráficos força-extensão dos provetes da série 1

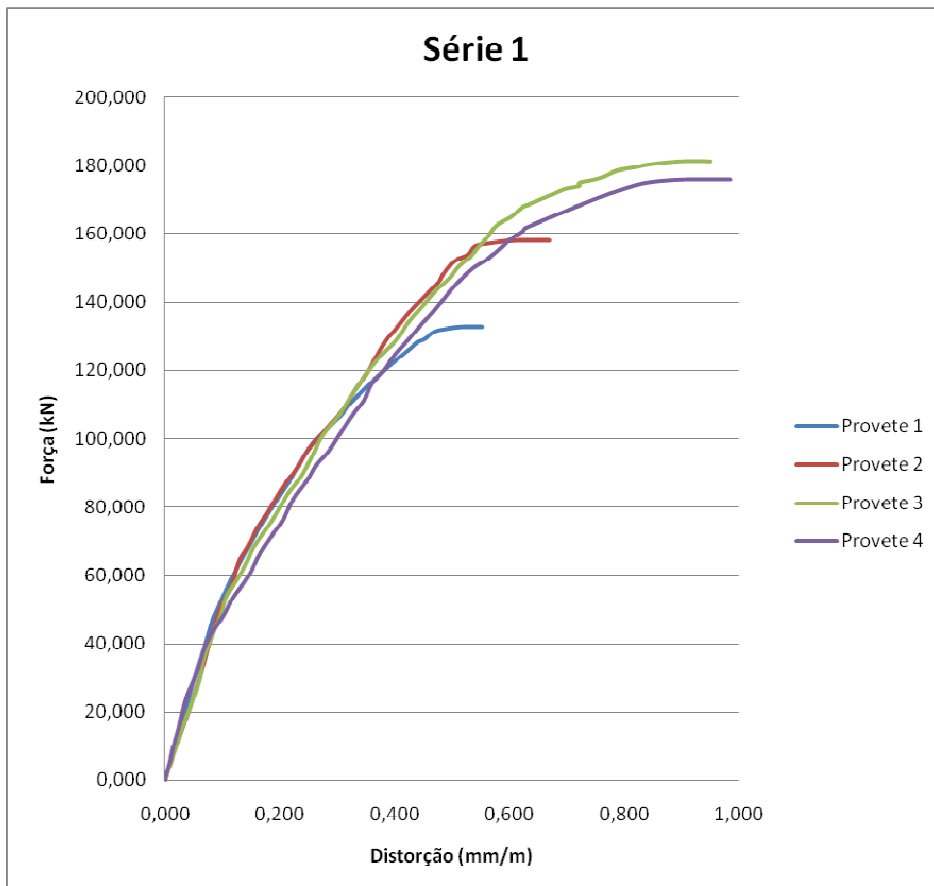


Fig.38 – Gráficos força-distorção dos provetes da série 1

5.1.2. SÉRIE 2

Para a segunda série de ensaios, correspondente a provetes com revestimento de argamassa, foram igualmente calculadas a tensão de rotura e o módulo de distorção correspondente a 1/3 da carga máxima. Os valores obtidos, bem como os respectivos gráficos força-distorção, encontram-se neste caso bastante próximos, pelo que não se considerou adequada a exclusão de nenhum dos ensaios no tratamento estatístico dos resultados.

Quadro 23 – Força máxima e tensão de rotura dos provetes da segunda série

Provete	Força Máxima [kN]	Tensão de Rotura [MPa]
CDalv-C1	175	0,599
CDalv-C2	192	0,654
CDalv-C3	180	0,614
CDalv-C4	190	0,648

Quadro 24 – Distorção e módulo de distorção dos provetes da segunda série

Provete	Distorção (1/3 P _{máx}) [mm/m]	Módulo de Distorção (1/3 P _{máx}) [MPa]
CDalv-C1	0,122	1635
CDalv-C2	0,141	1548
CDalv-C3	0,090	2268
CDalv-C4	0,108	2008

Quadro 25 – Valores médios da tensão de rotura e módulo de distorção da segunda série

	Tensão de Rotura [MPa]	Módulo de Distorção (1/3 P _{máx}) [MPa]
Média	0,629	1865
Desvio Padrão	0,027	335
Coeficiente de Variação	4,25%	17,96%

Foram igualmente traçadas as curvas força-extensão vertical, força-extensão horizontal, e força-distorção para os 4 provetes (figuras 39 e 40), com base nos resultados completos relativos a cargas e deformações, para cada patamar de carregamento, apresentados no anexo A2.

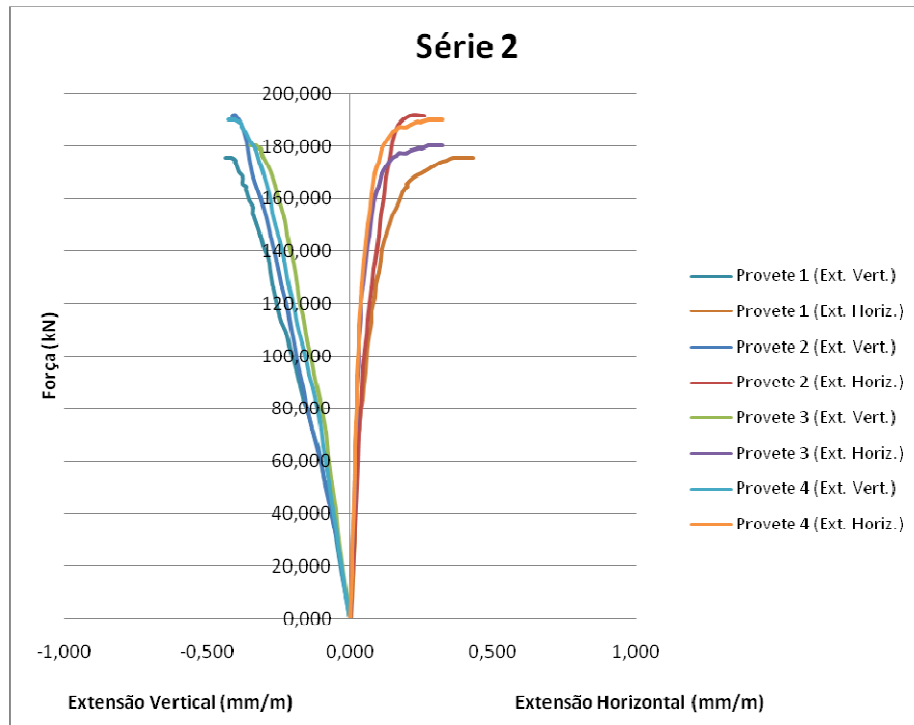


Fig.39 – Gráficos força-extensão dos provetes da série 2

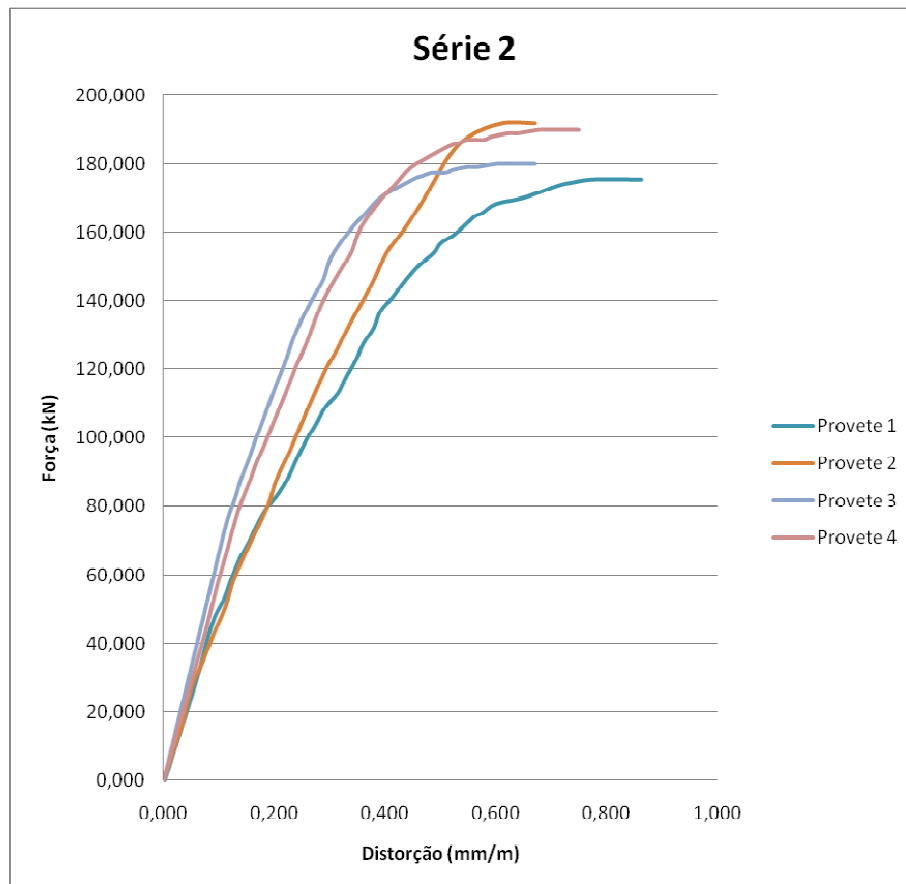


Fig.40 – Gráficos força-distorção dos provetes da série 2

5.2. ANÁLISE DE RESULTADOS

A comparação dos resultados das duas séries de ensaios revela algumas variações significativas, quer a nível de tensões de rotura, quer a nível de deformações.

Quanto às tensões, os provetes com revestimento apresentaram uma resistência mais elevada, suportando em média cerca de 7% mais carga antes de entrarem em rotura. O efeito mais significativo, no entanto, foi a redução da dispersão entre resultados. Os valores obtidos para os provetes da série 2 foram bastante semelhantes entre si, resultando numa diminuição de cerca de 40% do coeficiente de variação, relativamente à série 1.

Relativamente ao módulo de distorção, este revelou-se significativamente mais elevado nos provetes da série 2, sendo a sua média 18% superior. No entanto, inversamente ao sucedido para a tensão de rotura, os resultados da série 2 foram consideravelmente mais dispersos, resultando num coeficiente de variação cerca de 76% mais elevado que o da série 1.

Quadro 26 – Comparação da tensão de rotura e módulo de distorção médios das duas séries de ensaios

	Tensão de Rotura [MPa]			Módulo de Distorção (1/3 P _{máx}) [MPa]		
	Série 1	Série 2	Variação	Série 1	Série 2	Variação
Média	0,586	0,629	7,3%	1577	1865	18,2%
Desvio Padrão	0,042	0,027	-35,7%	161	335	107,5%
Coeficiente de Variação	7,09%	4,25%	-40,1%	10,23%	17,96%	75,5%

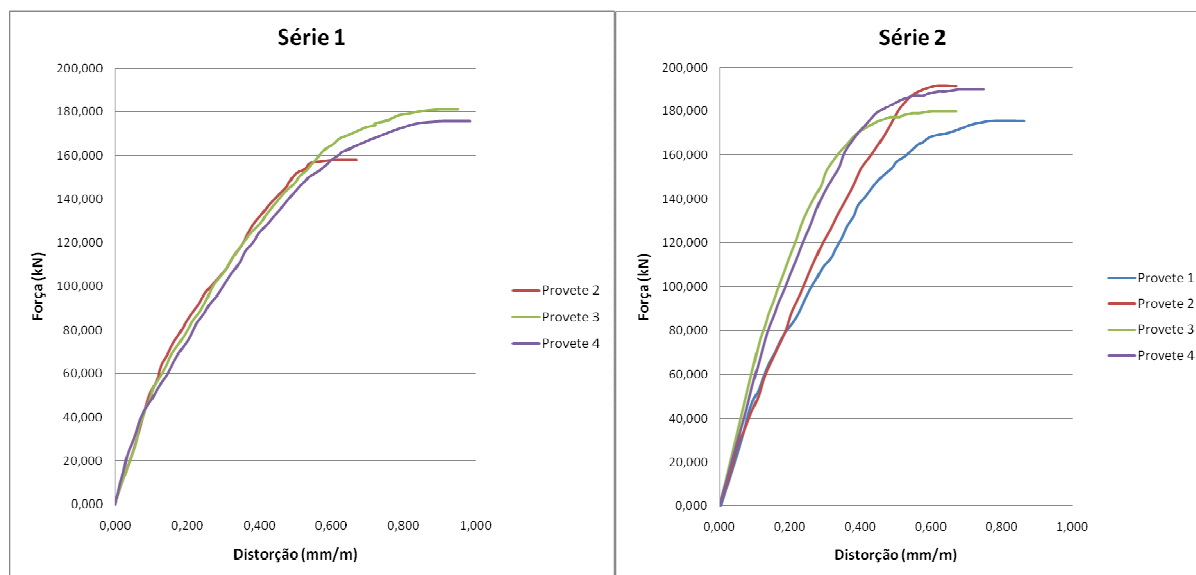


Fig.41 – Gráficos força-distorção das séries 1 e 2

Os resultados observados correspondem em geral ao expectável para uma situação em que o limite de resistência da argamassa é atingido muito antes da rotura do provete, mas esta apresenta uma ductilidade que lhe permite resistir até à rotura sem sofrer destacamentos. Assim, a carga máxima suportada pelos provetes revestidos será ligeiramente superior, visto que a argamassa continua em carregamento até se atingir a rotura. Por outro lado, como esta se mantém solidária com o tosco da parede, contribui para reduzir os deslocamentos, originando um aumento da rigidez do provete.

Verifica-se ainda que as curvas força-distorção são mais aproximadas entre si para a série de provetes não revestidos, o que resulta num menor coeficiente de variação para o módulo de distorção nesta série. No entanto, atendendo agora à tensão de rotura, é a série 2, correspondente a provetes revestidos, que se revela mais homogénea, mesmo tendo em atenção que o valor mais reduzido da série 1 não está a ser considerado. Assim, os ensaios sugerem que a aplicação do revestimento resulta na uniformização dos valores do carregamento limite suportado pelos provetes.

Admite-se, como hipótese explicativa destes resultados, o facto de as camadas de revestimento aumentarem a espessura do provete, diminuindo assim o coeficiente de esbelteza (definido como o quociente entre a altura efectiva e a espessura). Este efeito reduz o risco do desenvolvimento de instabilidades no provete, como resultado de cargas ligeiramente excêntricas ou defeitos do próprio provete, as quais podem afectar a resistência, como exemplificado na figura 42, levando à rotura para carregamentos inferiores ao previsto.

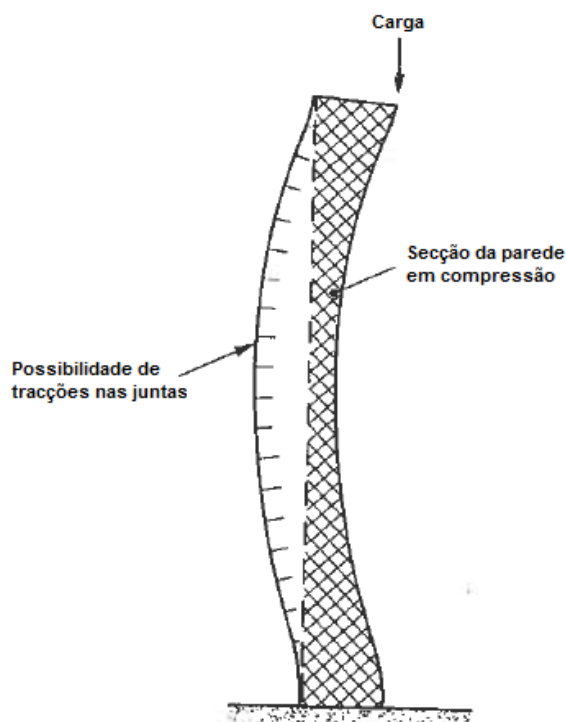


Fig.42 – Efeito da excentricidade da carga num provete (efeito exagerado) [21]

O modelo de ruína dos provetes, com abertura de fendas na interface entre os blocos e a argamassa, indica a ocorrência de uma rotura por esgotamento da aderência entre os materiais, e não da sua capacidade resistente. No entanto, nas proximidades dos vértices onde foi aplicado o carregamento, as tensões de compressão são mais elevadas, atingindo mesmo o limite de resistência, dando origem ao esmagamento localizado dos blocos nessas zonas.

6

CONCLUSÕES

A resistência ao corte das paredes é um factor de grande importância no projecto de estruturas resistentes de alvenaria. Uma vez que estas estruturas resistem a esforços de compressão elevados, a resistência ao corte, frequentemente condicionada por fenómenos de adesão entre os materiais, é muitas vezes condicionante no dimensionamento. As forças horizontais responsáveis pela solicitação da estrutura ao corte são em geral forças variáveis, que podem eventualmente atingir valores muito elevados, como a acção do vento ou dos sismos, causando facilmente a rotura de estruturas não preparadas para as suportar. Este fenómeno é também de interesse para alvenarias de preenchimento, as quais se vêem muitas vezes sujeitas a forças de corte, resultantes da deformação da estrutura de betão armado adjacente. Por este motivo, desenvolveram-se já alguns estudos nesta área, procurando caracterizar o comportamento das alvenarias quando sujeitas a esforços de corte.

A campanha de ensaios realizada procurou desenvolver o conhecimento nesta área, focando-se em particular no contributo de revestimentos de argamassa comum no comportamento estrutural de paredes simples alvenarias. Em particular, foram analisadas e comparadas, para uma série de provetes desprovida de revestimento e para uma série revestida com argamassa, as respectivas distorções e tensões de rotura.

O modelo de carregamento adoptado para os ensaios experimentais consistiu numa conjugação de esforços de compressão e corte, aplicados por compressão diagonal dos provetes. Tal combinação representa uma situação frequente em edifícios de alvenaria resistente, onde se procura que as paredes sujeitas a acções horizontais de corte se encontrem também comprimidas verticalmente, por forma a aumentar a resistência ao corte das mesmas.

A pesquisa bibliográfica efectuada levou à previsão de uma rotura dos provetes por abertura de uma fenda na direcção do carregamento, com possibilidades de ocorrência de esmagamentos localizados. De acordo com os resultados de ensaios anteriores, esperava-se um aumento da tensão de rotura e da distorção da série de provetes revestidos, relativamente à série de alvenaria exposta.

O modelo de rotura resultante dos ensaios experimentais coincidiu com o previsto, observando-se no entanto uma variação entre o desenvolvimento da fendilhação para as duas séries. Assim, enquanto a fendilhação nos provetes não revestidos acompanha as juntas da alvenaria durante a quase totalidade do provete, resultando numa fenda em 'zigzag' entre os pontos de carregamento, para os provetes revestidos esta fenda é relativamente mais linear, não acompanhando as juntas. Este dado sugere uma distribuição mais uniforme das forças de corte desenvolvidas no interior dos provetes com revestimento, diminuindo o impacto geral das juntas enquanto pontos fracos na resistência da estrutura.

Relativamente às tensões de rotura registadas, os resultados experimentais apontaram para um ligeiro aumento da resistência ao corte das paredes revestidas, de cerca de 7%. Este valor fica muito aquém do obtido em ensaios semelhantes, em que foram mesmo obtidos aumentos de resistência da ordem dos 50%, para as paredes revestidas. As diferenças na argamassa e nos blocos utilizados, bem como no próprio procedimento experimental, associadas ainda ao reduzido número de ensaios e a um coeficiente de variação conseqüentemente elevado, ajudam a explicar a diferença de valores observada, relativamente aos ensaios previamente realizados.

Quanto às deformações desenvolvidas para tensões de serviço, em regime elástico, as diferenças observadas foram mais significativas, verificando-se que as paredes com revestimento apresentam deformações mais reduzidas, que resultam num módulo de distorção cerca de 18% superior. Ressalva-se que, tal como acontece para a análise das tensões de rotura, o número de provetes ensaiados, associado à variabilidade característica das alvenarias, não permite que se tomem estes números como valores exactos, mas apenas como indicadores aproximados.

Observou-se ainda que a presença de uma camada de revestimento tende a provocar a diminuição dos coeficientes de variação, tanto a nível de deformações, como a nível de carregamentos limite, uniformizando assim o desempenho das paredes. Isto explica-se pela capacidade do revestimento de, envolvendo a alvenaria, colmatar deficiências de construção dos provetes ou das próprias unidades. Por outro lado, o aumento de espessura do provete decorrente da sua aplicação conduz a uma menor esbelteza do mesmo, diminuindo o impacto negativo de carregamentos excêntricos ou assimetrias do próprio provete. No conjunto, estes efeitos resultam num aumento de estabilidade do provete, ajudando assim a que a resistência do tosco da parede é mobilizada na sua totalidade.

Pode portanto concluir-se que a camada de revestimento de uma parede de alvenaria contribui positivamente para o desempenho da mesma, por um lado reduzindo as deformações em condições normais de serviço, e por outro aumentando a segurança para situações de carregamento próximas do estado limite último, por via de uma previsão mais fiável do seu comportamento.

Como futuros trabalhos a desenvolver dentro desta temática, sugere-se a realização de ensaios experimentais semelhantes com diferentes revestimentos, nomeadamente de argamassa de alta resistência, bem como de argamassa reforçada. Terá também interesse o estudo da evolução do impacto destes revestimentos na alvenaria, em função da relação entre as espessuras do reboco e das unidades.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BAUER, L. A. Falcão, *Materiais de Construção*. LTC Editora, 2005.
- [2] DIAS, António Baio, *Construção em Tijolo Cerâmico: das Exigências Normativas do Produto à Prática da Aplicação*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.
- [3] DUARTE, Carlos M., *Inovação nas Argamassas de Construção para Alvenaria*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2007.
- [4] DUBAJ, Eduardo, *Estudo Comparativo entre Traços de Argamassa de Revestimento Utilizadas em Porto Alegre*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Rio Grande do Sul – Escola de Engenharia, 2000.
- [5] FOSS, Malcolm, *Diagonal Tension in Unreinforced Masonry Assemblages*. Georgia Institute of Technology, 2001
- [6] FREITAS, Vasco Peixoto de, *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior*. Maxit Group, Porto, 2002.
- [7] GUERREIRO, Vitor Manuel Dias, *Paredes de Alvenaria em Blocos de Betão Celular Autoclavado*. Instituto Superior Técnico, 2002
- [8] HENDRY, Arnold W., *Structural Masonry*. Palgrave Macmillan, 1998.
- [9] LOURENÇO, Paulo B., *Concepção e Projecto para Alvenaria*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.
- [10] MELO, A. C. Fontes de., *Desenvolvimentos Recentes em Blocos de Betão Leve*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.
- [11] MELO, A. C. Fontes de., MARQUES, Alfredo, *Aplicações em Betão Leve de Argila Expandida*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2007.
- [12] OLIVEIRA, Cristina, SILVA, Ferreira da, *O Futuro da Indústria de Produção de Blocos de Betão*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.
- [13] OLIVEIRA, Fabiana Lopes de, Hanai, João Bento de, *Reabilitação de paredes de Argamassa pela Aplicação de Revestimentos Resistetes de Argamassa Armada*, Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, 2001.
- [14] PAULO, Raquel Sofia V. M. Nascimento, *Caracterização de Argamassas Industriais*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro – Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 2006.
- [15] ROQUE, João Carlos Almendra, *Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho – Escola de Engenharia, 2002.
- [16] SANTOS, S. Pompeu, *O Contexto Normativo Recente dos Eurocódigos sobre Estruturas de Alvenaria*, Seminário Paredes de Alvenaria: Inovação e Possibilidades Actuais, 2007.
- [17] SILVA, Rui André Martins da, *Caracterização Experimental de Alvenaria Antiga: Reforço e Efeitos Diferidos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho – Escola de Engenharia, 2008.
- [18] SOUSA, Hipólito, *Alvenarias em Portugal. Situação Actual e Perspectivas Futuras*, Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, 2002.

- [19] TAYLOR, J. B. *Rebocos e Acabamentos.*, Edições CETOP, Mem Martins, 1990.
- [20] VEIGA, Maria do Rosário, *Título Acção de Formação sobre Revestimentos Exteriores de Paredes.* In Construção 2004, Porto, 2004.
- [21] *Strength of Brickwork and Blockwork Walls: Design for Vertical Load*, Building Research Establishment Digest
- [22] Maxit – Tecnologias de Construção e Renovação, Lda. <http://www.maxit.com>. Maio de 2009
- [23] Cimpor - Cimentos de Portugal <http://www.cimpor.com>. Maio de 2009
- [24] http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136_Paredes_de_Alvenaria.pdf
- [25] NP ENV 1996-1-1:2000, *Eurocódigo 6: Projecto de Estruturas de Alvenaria.*
- [26] EN 1996-1-1:2005, *Eurocode 6. Design of masonry structures.*
- [27] ASTM E 519-02, *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages.*
- [28] EN 771-3:2003, *Specification for masonry units. Aggregate concrete masonry units (dense and light-weight aggregates).*
- [29] EN 772-1:2000, *Methods of Test for Masonry Units. Determination of Compressive Strength.*
- [30] EN 998-1:2003, *Specification for Mortar for Masonry. Rendering and Plastering Mortar.*
- [31] EN 998-2:2003, *Specification for Mortar for Masonry. Masonry Mortar.*
- [32] EN 1052-1:1998, *Methods of Test for Masonry. Determination of Compressive Strength.*
- [33] EN 1052-3:2005, *Methods of Test for Masonry. Determination of Initial Shear Strength.*
- [34] EN 1052-4:2002, *Methods of Test for Masonry. Determination of Shear Strength Including Damp Proof Course*
- [35] LNEC, NP – 80, *Tijolos para Alvenaria. Características e Ensaios.*
- [36] LNEC, NP – 834, *Tijolos de barro vermelho para alvenaria. Formatos.*

ANEXO A1

RESULTADOS EXPERIMENTAIS DA PRIMEIRA SÉRIE DE ENSAIOS

Provete 1				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
5,02	0,017	-0,007	0,002	0,009
10,03	0,034	-0,014	0,004	0,018
15,05	0,051	-0,022	0,005	0,027
25,08	0,086	-0,031	0,012	0,043
30,22	0,103	-0,039	0,013	0,052
34,51	0,118	-0,046	0,014	0,060
37,95	0,129	-0,052	0,015	0,067
46,57	0,159	-0,067	0,015	0,082
50,00	0,171	-0,074	0,017	0,091
55,23	0,188	-0,085	0,020	0,105
59,00	0,201	-0,093	0,023	0,116
63,04	0,215	-0,102	0,026	0,128
71,76	0,245	-0,122	0,034	0,157
72,63	0,248	-0,125	0,035	0,160
73,51	0,251	-0,127	0,036	0,163
75,26	0,257	-0,131	0,038	0,169
79,00	0,270	-0,141	0,043	0,183
84,90	0,290	-0,156	0,050	0,206
87,54	0,299	-0,163	0,053	0,217
91,94	0,314	-0,176	0,056	0,232
99,00	0,338	-0,196	0,062	0,259
106,97	0,365	-0,232	0,075	0,307
110,52	0,377	-0,242	0,081	0,323
119,42	0,407	-0,290	0,087	0,377
126,56	0,432	-0,328	0,100	0,427
128,35	0,438	-0,328	0,112	0,440
129,24	0,441	-0,328	0,125	0,452
131,04	0,447	-0,340	0,125	0,465
131,93	0,450	-0,340	0,137	0,478
132,83	0,453	-0,353	0,162	0,515
132,83	0,453	-0,365	0,187	0,553

Provete 2				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
7,45	0,025	-0,011	0,003	0,014
14,90	0,051	-0,024	0,006	0,030
22,36	0,076	-0,036	0,010	0,046
29,81	0,102	-0,048	0,013	0,060
37,26	0,127	-0,058	0,015	0,073
44,71	0,153	-0,069	0,017	0,086
50,73	0,173	-0,077	0,020	0,097
55,00	0,188	-0,088	0,023	0,111
59,34	0,202	-0,095	0,027	0,122
59,34	0,202	-0,095	0,025	0,120
64,51	0,220	-0,100	0,030	0,130
68,82	0,235	-0,110	0,036	0,146
73,99	0,252	-0,119	0,042	0,161
78,00	0,266	-0,127	0,050	0,177
82,62	0,282	-0,138	0,056	0,194
87,00	0,297	-0,150	0,060	0,211
92,00	0,314	-0,163	0,070	0,233
97,00	0,331	-0,175	0,075	0,251
104,22	0,356	-0,200	0,088	0,288
109,00	0,372	-0,213	0,100	0,313
114,00	0,389	-0,225	0,105	0,330
118,93	0,406	-0,238	0,113	0,351
123,27	0,421	-0,245	0,120	0,365
128,47	0,438	-0,255	0,129	0,384
132,00	0,450	-0,263	0,138	0,401
137,14	0,468	-0,275	0,151	0,426
141,48	0,483	-0,288	0,164	0,452
145,82	0,498	-0,301	0,176	0,477
147,56	0,503	-0,306	0,176	0,482
151,90	0,518	-0,315	0,189	0,504
153,64	0,524	-0,326	0,201	0,527
156,25	0,533	-0,338	0,201	0,539
157,12	0,536	-0,348	0,214	0,562
157,99	0,539	-0,358	0,252	0,610
157,99	0,539	-0,380	0,290	0,670

Provete 3				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
5,87	0,020	-0,008	0,003	0,012
11,75	0,040	-0,016	0,007	0,023
17,62	0,060	-0,025	0,011	0,035
23,49	0,080	-0,032	0,016	0,048
29,36	0,100	-0,043	0,018	0,061
35,24	0,120	-0,045	0,022	0,067
41,11	0,140	-0,056	0,024	0,080
45,47	0,155	-0,063	0,026	0,089
46,35	0,158	-0,065	0,028	0,093
49,84	0,170	-0,070	0,030	0,100
54,22	0,185	-0,075	0,033	0,108
58,50	0,200	-0,085	0,040	0,125
64,00	0,218	-0,098	0,045	0,143
68,24	0,233	-0,105	0,050	0,155
74,39	0,254	-0,125	0,055	0,180
79,00	0,270	-0,137	0,060	0,197
84,08	0,287	-0,150	0,065	0,215
88,49	0,302	-0,162	0,073	0,235
95,00	0,324	-0,175	0,082	0,257
100,86	0,344	-0,187	0,087	0,274
107,00	0,365	-0,205	0,099	0,304
112,00	0,382	-0,215	0,107	0,322
118,60	0,405	-0,237	0,111	0,349
123,93	0,423	-0,250	0,124	0,374
129,00	0,440	-0,265	0,139	0,404
133,73	0,456	-0,274	0,149	0,422
139,00	0,474	-0,289	0,161	0,450
143,00	0,488	-0,300	0,170	0,470
147,13	0,502	-0,310	0,186	0,496
150,71	0,514	-0,315	0,198	0,513
153,40	0,523	-0,322	0,211	0,533
156,00	0,532	-0,322	0,223	0,545
158,78	0,542	-0,325	0,235	0,561
162,37	0,554	-0,329	0,248	0,577
165,00	0,563	-0,338	0,265	0,603

167,76	0,572	-0,350	0,273	0,622
168,66	0,575	-0,350	0,285	0,635
170,46	0,582	-0,362	0,297	0,660
172,26	0,588	-0,375	0,310	0,685
173,16	0,591	-0,375	0,322	0,697
174,06	0,594	-0,387	0,334	0,722
174,96	0,597	-0,387	0,334	0,722
175,86	0,600	-0,400	0,347	0,747
176,76	0,603	-0,405	0,359	0,764
178,56	0,609	-0,417	0,372	0,789
179,46	0,612	-0,423	0,396	0,820
180,37	0,615	-0,425	0,421	0,846
181,27	0,619	-0,453	0,446	0,899
181,27	0,619	-0,480	0,471	0,951

Provete 4				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
5,00	0,017	-0,006	0,002	0,008
10,00	0,034	-0,010	0,005	0,015
15,00	0,051	-0,017	0,007	0,024
20,00	0,068	-0,020	0,010	0,030
25,00	0,085	-0,028	0,011	0,039
30,00	0,102	-0,037	0,015	0,052
35,00	0,119	-0,045	0,017	0,062
39,71	0,135	-0,052	0,019	0,071
44,03	0,150	-0,065	0,020	0,085
48,36	0,165	-0,078	0,025	0,103
53,55	0,183	-0,091	0,028	0,119
59,63	0,203	-0,111	0,034	0,145
66,50	0,227	-0,129	0,037	0,166
71,80	0,245	-0,143	0,044	0,187
76,15	0,260	-0,156	0,049	0,206
82,26	0,281	-0,169	0,054	0,224
87,50	0,299	-0,187	0,060	0,247
92,00	0,314	-0,200	0,063	0,263

96,25	0,328	-0,215	0,070	0,285
102,38	0,349	-0,235	0,074	0,309
106,77	0,364	-0,248	0,079	0,327
111,17	0,379	-0,261	0,086	0,347
116,00	0,396	-0,272	0,089	0,361
119,97	0,409	-0,287	0,095	0,382
124,37	0,424	-0,300	0,100	0,400
128,79	0,439	-0,313	0,111	0,424
133,20	0,455	-0,326	0,120	0,446
137,00	0,467	-0,339	0,128	0,467
141,17	0,482	-0,352	0,135	0,487
145,60	0,497	-0,362	0,148	0,510
150,00	0,512	-0,378	0,160	0,538
152,69	0,521	-0,391	0,172	0,563
156,25	0,533	-0,404	0,185	0,589
158,02	0,539	-0,415	0,185	0,600
160,69	0,548	-0,427	0,197	0,624
161,58	0,551	-0,431	0,197	0,628
163,36	0,557	-0,443	0,209	0,652
165,14	0,563	-0,456	0,222	0,678
167,82	0,573	-0,469	0,246	0,715
170,49	0,582	-0,485	0,271	0,756
173,00	0,590	-0,503	0,296	0,798
174,95	0,597	-0,521	0,320	0,842
175,84	0,600	-0,551	0,353	0,904
175,84	0,600	-0,586	0,399	0,985

Observações:

F Força aplicada no provete

T Tensão de corte actuante

ev Deformação vertical

eh Deformação horizontal

γ Distorção

ANEXO A2

RESULTADOS EXPERIMENTAIS DA SEGUNDA SÉRIE DE ENSAIOS

Provete 1				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,003	0,003
7,00	0,024	-0,011	0,006	0,017
14,98	0,051	-0,023	0,009	0,032
23,82	0,081	-0,037	0,013	0,050
33,65	0,115	-0,052	0,016	0,068
42,00	0,143	-0,065	0,016	0,081
47,87	0,163	-0,074	0,020	0,093
53,02	0,181	-0,089	0,021	0,110
59,00	0,201	-0,100	0,023	0,123
65,00	0,222	-0,113	0,026	0,139
70,00	0,239	-0,125	0,031	0,156
75,44	0,257	-0,138	0,034	0,172
79,77	0,272	-0,150	0,038	0,188
84,00	0,287	-0,163	0,046	0,209
88,44	0,302	-0,175	0,050	0,225
94,52	0,323	-0,188	0,055	0,243
99,74	0,340	-0,200	0,059	0,259
104,00	0,355	-0,213	0,063	0,275
108,90	0,372	-0,222	0,070	0,292
113,00	0,386	-0,240	0,075	0,315
117,21	0,400	-0,251	0,078	0,329
122,70	0,419	-0,260	0,088	0,348
127,50	0,435	-0,270	0,091	0,361
132,12	0,451	-0,280	0,100	0,380
137,00	0,467	-0,285	0,107	0,392
140,93	0,481	-0,301	0,113	0,413
146,22	0,499	-0,313	0,125	0,438
150,63	0,514	-0,326	0,138	0,463
154,00	0,525	-0,338	0,150	0,488
156,83	0,535	-0,338	0,163	0,501
159,48	0,544	-0,351	0,175	0,526
163,03	0,556	-0,363	0,188	0,551
164,80	0,562	-0,363	0,200	0,563
165,69	0,565	-0,376	0,200	0,576
168,35	0,574	-0,376	0,225	0,601

170,13	0,581	-0,388	0,263	0,651
173,68	0,593	-0,401	0,313	0,714
174,57	0,596	-0,401	0,338	0,739
175,46	0,599	-0,413	0,363	0,776
175,46	0,599	-0,433	0,430	0,863

Provete 2				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
5,41	0,018	-0,009	0,003	0,011
16,24	0,055	-0,026	0,008	0,033
27,07	0,092	-0,038	0,013	0,050
35,00	0,119	-0,055	0,016	0,071
42,75	0,146	-0,070	0,020	0,090
50,58	0,173	-0,088	0,023	0,111
59,29	0,202	-0,100	0,027	0,128
71,00	0,242	-0,128	0,033	0,161
80,00	0,273	-0,150	0,037	0,187
88,03	0,300	-0,163	0,041	0,204
96,00	0,328	-0,180	0,047	0,227
102,50	0,350	-0,192	0,052	0,244
108,06	0,369	-0,201	0,058	0,259
114,16	0,390	-0,213	0,063	0,276
120,25	0,410	-0,223	0,070	0,293
126,00	0,430	-0,238	0,075	0,313
133,00	0,454	-0,250	0,085	0,335
140,00	0,478	-0,266	0,093	0,359
146,00	0,498	-0,279	0,100	0,379
154,00	0,525	-0,295	0,107	0,402
160,33	0,547	-0,313	0,118	0,431
168,17	0,574	-0,338	0,125	0,464
175,14	0,598	-0,351	0,138	0,489
182,00	0,621	-0,363	0,150	0,514
188,00	0,641	-0,381	0,170	0,551
191,69	0,654	-0,400	0,210	0,610
191,70	0,654	-0,410	0,260	0,670

Provete 3				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
8,30	0,028	-0,010	0,002	0,012
16,60	0,057	-0,020	0,005	0,025
24,91	0,085	-0,030	0,007	0,037
33,21	0,113	-0,040	0,010	0,050
41,51	0,142	-0,050	0,012	0,062
53,54	0,183	-0,064	0,016	0,081
62,15	0,212	-0,075	0,019	0,093
70,78	0,242	-0,085	0,021	0,106
76,80	0,262	-0,093	0,023	0,116
83,00	0,283	-0,105	0,025	0,130
88,08	0,301	-0,115	0,025	0,140
93,50	0,319	-0,125	0,028	0,153
99,37	0,339	-0,135	0,030	0,166
106,00	0,362	-0,149	0,032	0,181
115,00	0,392	-0,165	0,037	0,202
121,00	0,413	-0,177	0,040	0,217
129,50	0,442	-0,187	0,048	0,235
136,00	0,464	-0,200	0,054	0,254
142,15	0,485	-0,212	0,062	0,274
146,50	0,500	-0,220	0,069	0,289
153,00	0,522	-0,228	0,075	0,303
160,61	0,548	-0,249	0,087	0,337
165,02	0,563	-0,262	0,100	0,362
169,43	0,578	-0,274	0,112	0,387
172,08	0,587	-0,287	0,125	0,412
175,61	0,599	-0,303	0,150	0,453
176,49	0,602	-0,306	0,162	0,468
177,38	0,605	-0,310	0,175	0,485
177,38	0,605	-0,310	0,200	0,510
178,26	0,608	-0,310	0,212	0,522
179,15	0,611	-0,312	0,237	0,549
179,15	0,611	-0,317	0,250	0,566
180,03	0,614	-0,327	0,275	0,601
180,03	0,614	-0,337	0,287	0,624
180,03	0,614	-0,347	0,324	0,671

Provete 4				
F(kN)	t (MPa)	ev (mm/m)	eh (mm/m)	γ (mm/m)
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000
8,76	0,030	-0,012	0,003	0,015
17,53	0,060	-0,025	0,005	0,030
26,29	0,090	-0,037	0,008	0,045
35,06	0,120	-0,050	0,010	0,061
43,82	0,150	-0,063	0,013	0,076
56,52	0,193	-0,079	0,016	0,096
65,61	0,224	-0,093	0,019	0,112
74,71	0,255	-0,105	0,022	0,127
81,07	0,277	-0,116	0,023	0,139
87,61	0,299	-0,130	0,025	0,156
92,98	0,317	-0,142	0,025	0,168
98,70	0,337	-0,155	0,029	0,184
104,89	0,358	-0,168	0,031	0,199
111,89	0,382	-0,184	0,033	0,217
121,39	0,414	-0,202	0,038	0,240
127,73	0,436	-0,217	0,040	0,257
136,70	0,466	-0,230	0,049	0,278
143,56	0,490	-0,244	0,055	0,299
150,06	0,512	-0,260	0,063	0,323
154,65	0,528	-0,270	0,069	0,340
161,51	0,551	-0,280	0,075	0,356
169,54	0,579	-0,303	0,088	0,391
174,19	0,594	-0,318	0,100	0,418
178,85	0,610	-0,331	0,113	0,444
181,64	0,620	-0,347	0,125	0,472
185,37	0,633	-0,366	0,150	0,516
186,31	0,636	-0,371	0,163	0,534
187,24	0,639	-0,378	0,175	0,553
187,24	0,639	-0,378	0,200	0,578
188,17	0,642	-0,380	0,212	0,593
189,11	0,645	-0,385	0,237	0,622
189,11	0,645	-0,389	0,250	0,639
190,04	0,648	-0,402	0,275	0,677
190,04	0,648	-0,412	0,287	0,699
190,04	0,648	-0,424	0,325	0,749

Observações:

F	Força aplicada no provete
T	Tensão de corte actuante
ev	Deformação vertical
eh	Deformação horizontal
γ	Distorção