

HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

APONTAMENTOS

FEUP 2003

HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA
CAPÍTULO I - REFERÊNCIA HISTÓRICA



FEUP 2002

PRELIMINAR (VERSÃO 2)

INTRODUÇÃO ÀS ALVENARIAS

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

1. Alvenarias – Referência Histórica

1.1. Memória.....	5
1.2. Desenvolvimento das Construções em Alvenaria.....	5
1.2.1. Antiguidade.....	5
1.2.2. Classicismo Grego e Romano.....	9
1.2.3. Da Idade Média à Revolução Industrial.....	14
1.3. Declínio.....	18
1.4. As Construções Antigas em Alvenaria e os Sismos.....	20
1.5. Renascimento das Alvenarias.....	22
1.6. Bibliografia.....	26

1. ALVENARIAS - REFERÊNCIA HISTÓRICA

1.1.1. Memória

A história do Homem não pode ser dissociada da história da arquitectura. Com efeito a memória da História não escrita é preservada nas construções – templos, fortalezas e cidades construídas pelo Homem, que começam a surgir com o desenvolvimento, precedido pela sedentarização do Homem. Se bem que as primeiras construções sejam em geral simples abrigos levados a cabo com os materiais disponíveis, as construções humanas são mais do que simples abrigos, sendo o aspecto estético o elemento que distingue as construções humanas dos abrigos dos animais.

Desde muito cedo, segundo Vitruvius, as realizações construtivas humanas são a síntese de 3 critérios – engenharia, economia e estética. A importância relativa dos 3 critérios é, em cada construção, decidida pelo construtor/arquitecto/projectista.

Se a história da civilização é a história da arquitectura, esta é a história das alvenarias. As alvenarias são sem dúvida a solução construtiva mais antiga, dado conciliarem as funções de envolvente exterior e de compartimentação tendo sido usadas em todos os tipos de construções desde tempos imemoriais.

1.2. Desenvolvimento das construções em alvenaria

1.2.1. Antiguidade

O emprego de alvenarias em edifícios antigos remonta à mais longínqua Antiguidade. É vulgar considerar edifícios antigos aqueles em cuja realização eram usadas as tecnologias tradicionais, que se mantiveram sem grande alteração até ao advento do betão armado, o que veio a ocorrer a partir de meados do século XIX e de forma generalizada na segunda metade do século XX. Sublinha-se que os reflexos da Revolução Industrial só tem efeitos verdadeiramente revolucionários na construção com a generalização do betão armado.

Na construção antiga tradicional as alvenarias eram genericamente resistentes, mas além das funções de suporte da construção, contribuíam igualmente para assegurar outras exigências funcionais. Embora nas construções antigas predominassem os materiais de carácter regional, era muito reduzido o número de materiais dominantes, sendo praticamente usados apenas a pedra, o tijolo e a madeira.

Embora os povos pré-históricos edificassem abrigos e construções funerárias, a cidade de Jericó constitui o estabelecimento urbano mais antigo que embora neolítico, pois existia já cerca de 7000 A.C., apresenta manifestações arquitectónicas monumentais. Tratava-se de uma cidade fortificada em frente ao rio Jordão que dispunha de sólidas muralhas cilíndricas e edifícios com paredes de adobe e tijolo cozido ao sol, em alguns casos cobertas com estuque pintado, fig. 1.1.



Fig.1.1 – Muralha de Jericó (≅6000 A.C)

O fim da pré-história inicia-se primeiro no próximo oriente, concretamente na Mesopotâmia cerca de 5000 A.C., tendo ocorrido mais tarde na Europa e com um atraso ainda maior na Europa Setentrional.

É na Mesopotâmia, onde aparecem os primeiros sinais da escrita, e noutros locais da bacia Mediterrânica, Palestina, Egipto, Grécia e Império Romano, onde de forma genérica se encontram os vestígios mais antigos de construções em que foram utilizadas alvenarias. Nestas construções era vulgar o emprego dos seguintes materiais:

- pedras naturais, mais ou menos regulares e em alguns casos ligadas por meio de argila ou argamassas diversas;
- tijolos eventualmente reforçados com areia ou palha, inicialmente secos ao sol (há mais de 6000 anos) e posteriormente cozidos – técnica usada pelos Sumérios na cidade de Ur há mais de 3000 anos, fig.1.2;
- terra argilosa eventualmente reforçada com fibras vegetais, moldada para definir paredes, verdadeiro antecedente do betão.



Fig.1.2 - Escadaria do Zigurate de Ur (3000 A.C.)

A pedra é sem dúvida o material mais abundante e provavelmente a matéria-prima mais importante usada como material de construção nas civilizações pré-históricas e da antiguidade. A pedra foi usada em habitações, templos,

fortificações estradas e pontes. A aparelhagem da pedra só aparece quando a invenção de ferramentas suficientemente duras permite atacar e trabalhar as superfícies da pedra. São as civilizações em torno do Mediterrâneo que vão também desenvolver utensílios metálicos que lhes permitem extrair e talhar a pedra que usam em construções monumentais de génio, de que os egípcios são o primeiro grande exemplo, fig.1.3, garantindo legados que chegaram aos nossos dias.

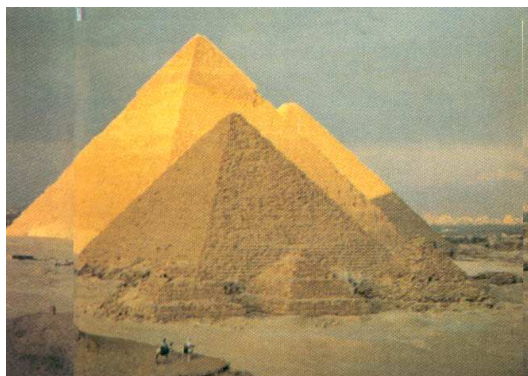


Fig. 1.3 – Conjunto monumental de Gizé (2528 A.C.)

Para além das pirâmides os Egípcios construíram também templos como o de Karnak no período do Império Novo (1580-1085 A.C), fig.1.4 .

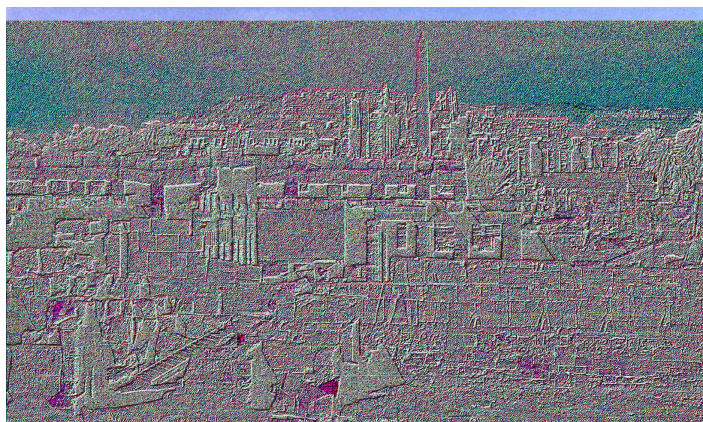


Fig.1.4 – Ruínas do Templo de Karnak

Enquanto isto, noutros locais da mesma zona, desenvolveram-se outras civilizações que nos deixam legados impressionantes de construções em alvenaria de pedra, enquanto a Europa é ainda um mundo tribal, com predomínio de monumentos megalíticos, fig.1.5.

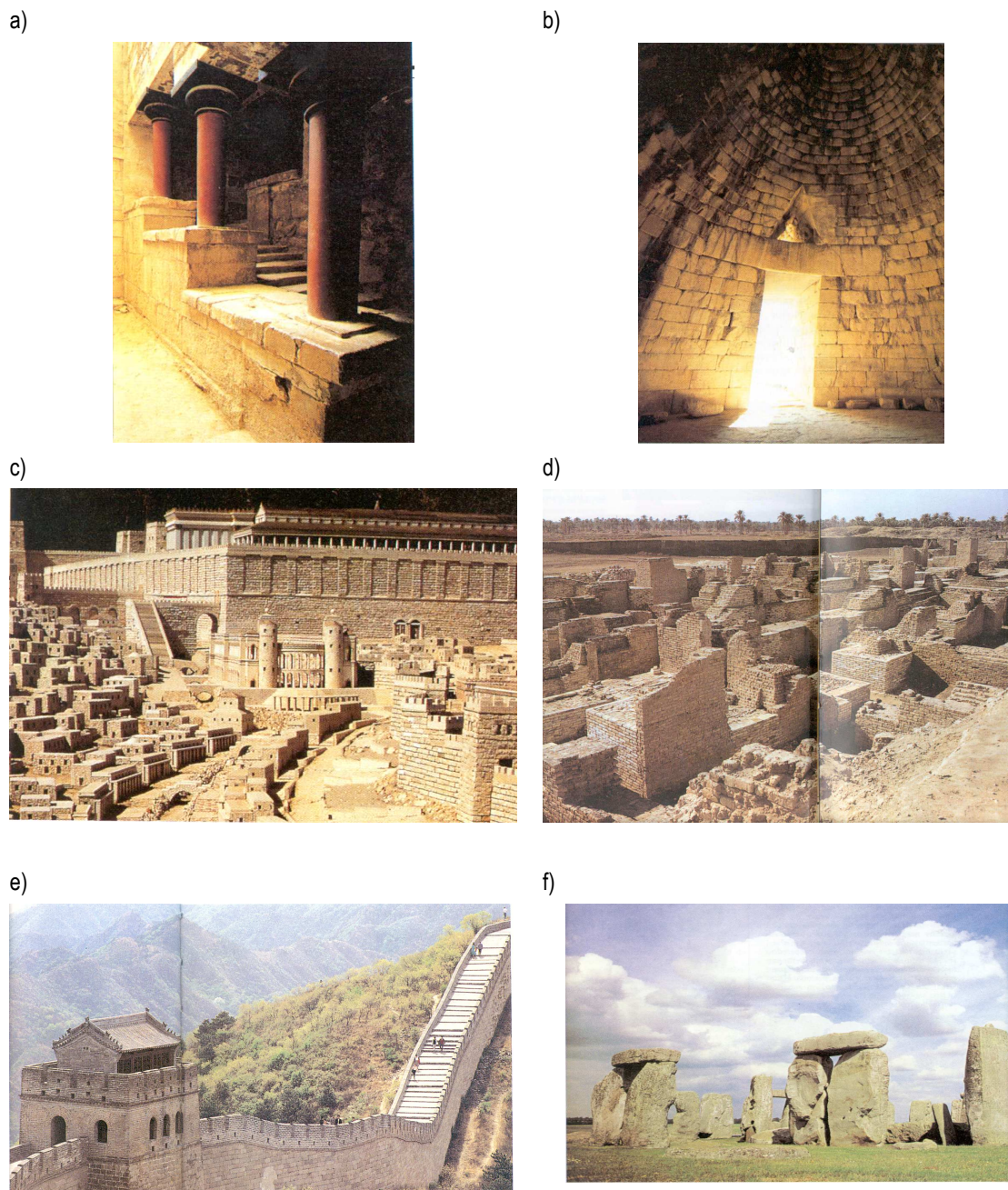


Fig. 1.5 – a) Palácio de Cnossos na Ilha de Creta (1750 A.C.); b) Câmara circular grega do período Micênico (1300 A.C.); c) Maqueta moderna do templo de Jerusalém e bairro envolvente; d) Ruínas do palácio de Nabucodonosor; e) A grande muralha da China (221 A.C.) f) Cromelque de Stonehenge (2000 A.C.)

O tijolo é o produto de construção mais antigo realizado pelo homem e inventado há mais de 10.000 anos atrás. “Vamos fazer tijolos e cozamo-los ao fogo. Utilizaram o tijolo em vez de pedra e o betume serviu-lhes de argamassa. Depois disseram vamos construir uma cidade e uma torre, cujo cimo atinja os céus “..GÊNESIS 11.1-9.[1.1] Nos vales do Nilo, do Tigre e do Eufrates a abundância de matéria-prima levaram ao desenvolvimento do tijolo cerâmico A sua simplicidade, resistência e durabilidade levaram ao seu uso extensivo e deram-lhe um lugar

dominante na história da construção em paralelo com a pedra. Os primeiros tijolos eram moldados à mão, secos ao sol e reforçados com diversos materiais, sendo tão resistentes que se usaram por um período muito longo, tendo os primeiros tijolos cozidos aparecido apenas por volta de 4.000 A.C.. A moldagem foi inicialmente realizada à mão, embora aproximadamente a partir da Idade do Bronze se tenham começado a usar também moldes de madeira com uma indústria bem organizada. Nas fortificações da Mesopotâmia há vestígios de emprego de tijolos cozidos na data referida e tijolos coloridos a partir de 3000 A.C. Esta realidade estende-se à Ásia Menor, Síria e Pérsia. O tijolo cerâmico cozido representou uma grande etapa do desenvolvimento da humanidade, tendo permitido a realização de grandes obras. Na Grécia, mais tarde, para além de outros materiais usaram-se também os tijolos cerâmicos, mas é com os Romanos que o seu emprego se estende a toda a actual Europa Ocidental. As fortificações, as pontes e as torres representaram obras de emprego privilegiado. Organizaram-se centros produtores e distribuidores aproveitando as vantagens dos transportes fluviais e marítimos. Os romanos descreveram completamente a tecnologia de conformação, aditivos e secagem. Para aligeirar o trabalho manual humano utilizavam-se animais e água no processo industrial. A cozedura era efectuada em fornos a lenha, fig.1.6.

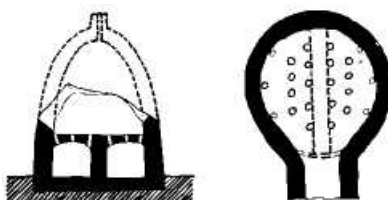


Fig. 1.6- Secção e planta de um forno romano [1.2]

1.2.2. Classicismo Grego e Romano

É assim na antiguidade clássica, com os gregos e os Romanos que a construção vai sofrer um grande desenvolvimento que marcou a construção até aos nossos dias. Por um lado, com os gregos, cerca de 500 A.C., a arte de construir atingiu um elevado grau de perfeição. Grandes monumentos construídos em pedra, mesmo em blocos de mármore perfeitamente talhados, como o Parténon, fig.1.7, destacando-se como elementos de construção principais a coluna e o lintel [1.3].

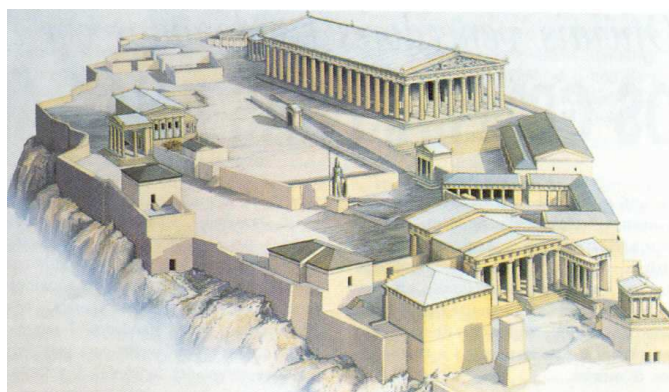
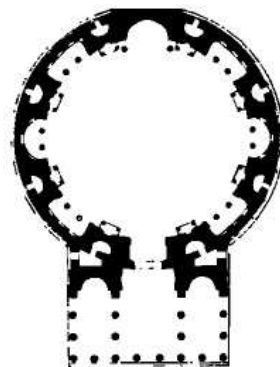
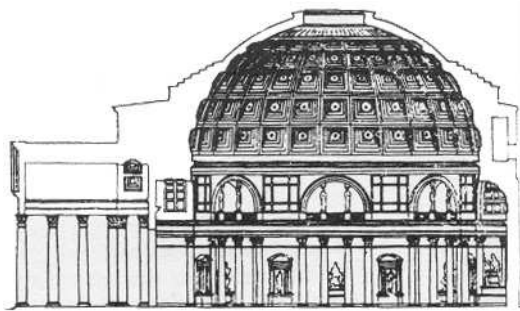


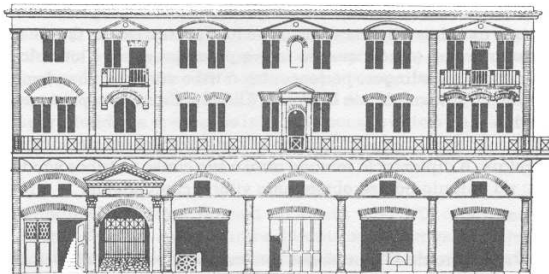
Fig. 1.7 – Maquete da acrópole de Atenas e do Parténon

Na província itálica os Etruscos vindos do oriente transmitem aos romanos conhecimentos na arte de construir, como a técnica da abóbada. É assim através dos romanos que as aplicações de alvenaria se tornam variadas e experimentam grandes progressos. Os romanos utilizam indiferentemente a pedra talhada e aparelhada, a seco ou com ligante, o tijolo ou o adobe. Os romanos iniciam também a utilização da pozolana, substância que tinha a propriedade de ligante hidráulico e que ocorria naturalmente na península itálica. Os Romanos foram ainda os primeiros a fazer uso generalizado dos ligantes, tendo levado a grandes realizações que testemunham o poder e a grandeza da sua civilização, fig. 1.8. Os romanos fomentaram a concentração urbana e o desenvolvimento das cidades que passavam a ter todas a mesma aparência numa perspectiva mais funcional e organizada e menos artística. A vida nas cidades era possível graças ao abastecimento de água que se concretizou com o desenvolvimento da engenharia hidráulica por recurso a barragens, reservatórios, aquedutos e condutas em chumbo que asseguravam a distribuição em fontes. O sistema completava-se com a recolha de esgotos.

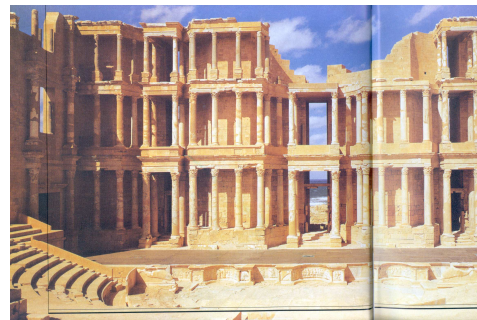
a)



b)



c)



d)



e)



Fig. 1.8 – Exemplos de obras dos Romanos – a) Panteão de Roma b) Edifício romana com habitação e comércio c) Teatro romano de Sabratha, Líbia (séc.II) d) Arco em alvenaria e betão romano e) Arco de triunfo

As cidades ajudavam a criar e manter um espírito cívico, com monumentos, banhos públicos e termas, basílica para administração da justiça, templo, teatros e anfiteatros. Os Romanos, ao contrário dos Gregos, atribuem uma grande importância ao interior dos edifícios, usando de forma generalizada arcos e abóbadas no seu interior. A habitação romana organiza-se em torno de um átrio de acordo com um rígido sistema rectangular.

Provavelmente a inovação mais importante na evolução da arquitectura terá sido o arco e a cúpula de alvenaria. Com efeito o arco foi o primeiro meio de ultrapassar as limitações de vãos resultantes das dimensões dos blocos de pedra ou dos próprios troncos de madeira.

Algumas formas primitivas eram apenas arcos aproximados resultando da simples colocação balanceada das pedras – arcos acachorrados – que não requerem cofragem. Os arcos verdadeiros deverão conduzir as cargas em compressão simples para os seus encontros. Existem vestígios de arcos em ruínas na Babilónia construídas cerca de 1400 A.C. havendo registos de arcos de pedra polida na Etrúria no séc. III A.C. na construção das portas das cidades. Os arcos atingiram grande desenvolvimento com os Romanos que, conforme já foi dito, se tornaram regra nos monumentos importantes para realizar vãos e transferir as cargas para os pilares, bem como nas fachadas dos edifícios permitindo incorporar as entradas. Com o aperfeiçoamento da técnica além da pedra polida passaram a ser utilizados nos arcos outros materiais e mesmo o *betão romano*. As cúpulas precederam os arcos verdadeiros pois, como os “arcos balanceados” podiam ser construídos em anéis concêntricos sucessivos de alvenaria que se iam fechando progressivamente. O desenvolvimento de verdadeiras cúpulas surge no Império romano do século I A.C. até ao II D.C. [1.4], fig. 1.9.

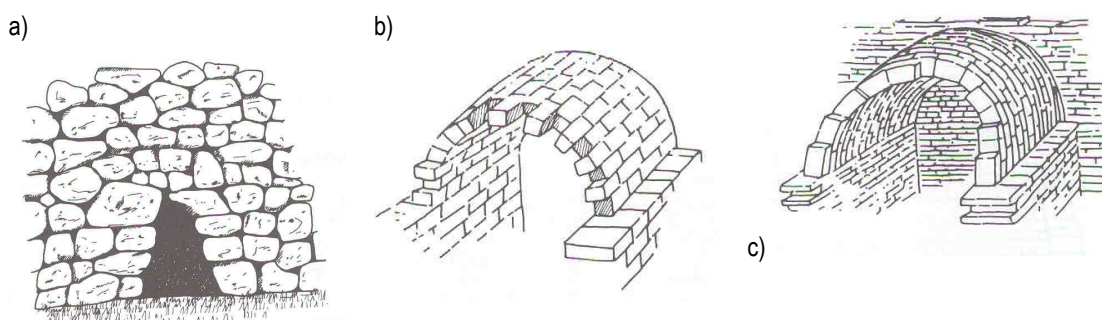


Fig. 1.9 – Arcos – a) Arco acachorrado b) Arco requerendo suporte temporário c) Arco requerendo construção prévia da parede de topo

No que respeita às pontes, para além das soluções em madeira, os primeiros registos respeitam a arcos em pedra na região da Anatólia no 2º milénio A.C. e a pontes com arcos em tijolos cerâmicos no século 6 A.C. na Mesopotâmia. No entanto os grandes construtores de pontes da antiguidade foram também os romanos que efectuaram realizações em grande escala, pontes rodoviárias, aquedutos e mesmo barragens sem precedentes e com resultados impressionantes. Os romanos introduzem nas pontes 4 grandes desenvolvimentos [1.5], fig.1.10 :

- utilização de cimentos naturais hidráulicos usados em enchimento de fundações e como ligante em alvenarias;
- utilização de ensecadeiras realizadas com estacas de madeira;
- difusão do arco em alvenaria semi-circular;
- conceito de obra pública.

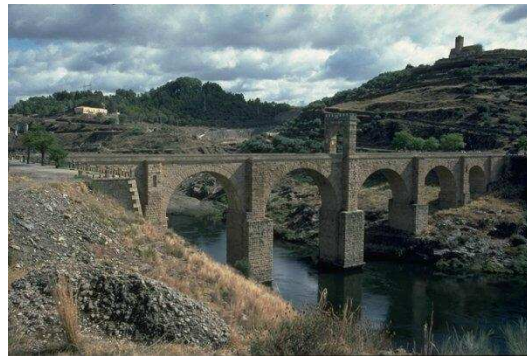
À época romana segue-se um período mais curto correspondente à arte bizantina que se pode considerar o perpetuar da arte romana no Oriente previamente marcado pela civilização grega. A generalizada utilização da abóbada constitui uma das suas características essenciais, não tendo trazido nada de verdadeiramente novo à construção, para além do aperfeiçoamento de processos de que a realização de uma cúpula sobre um corpo quadrado na Catedral de Santa Sofia em Constantinopla constitui o maior ex-libris.

Merecem referência alguns aparelhos primitivos usados na realização de alvenarias de que ainda hoje se podem encontrar diversos vestígios – Quadro 1.1 [1.6]:

a) Aqueduto Pont du Gard – Nîmes - França(14 D.C.)



b) Ponte de Alcântara sobre o Tejo - Espanha (98 D.C.)



c) Ponte Saint – Martin – Torino – Itália (25 D.C.)



d) Ponte de Trajano – Chaves (98 D.C.)

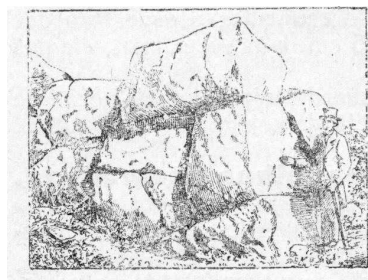


Fig.1.10 – Pontes romanas em alvenaria

Quadro 1.1 – Aparelhos primitivos usados na alvenaria de pedra

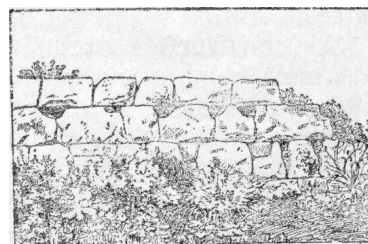
- aparelho ciclópico

visível em ruínas na Grécia, formado por enormes blocos irregulares, com intervalos preenchidos por pedras menores, (alguns com mais de 13 ton!), ligados entre si por argila;



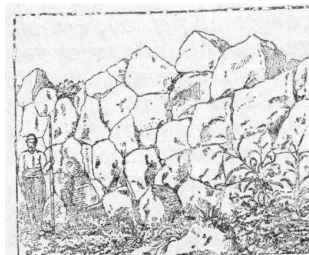
- aparelho pelásgico

blocos como saíam da pedreira, mas escolhidos com forma aproximadamente paralelepipedica, assentes nem sempre com junta desencontrada;



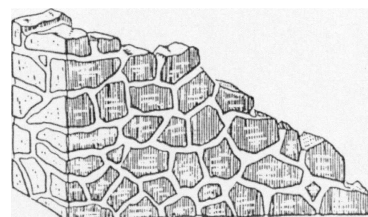
- aparelho poligonal pelásgico

semelhante ao pelásgico, mas com pedras menos paralelepipedicas, mais irregulares não formando fiadas horizontais, apenas definindo um paramento;



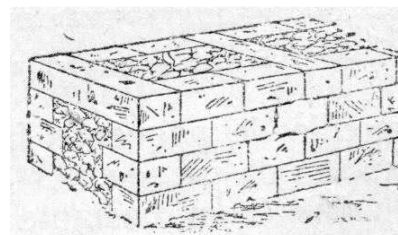
- “opus insertum ou antiquum” dos romanos

versão romana do aparelho poligonal pelásgico, mas com pedras mais reduzidas;



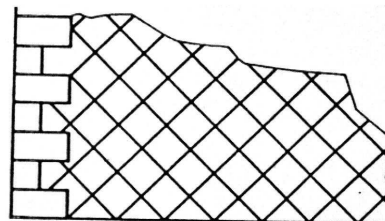
- “opus emplectum” dos romanos

aparelho usado em paredes muito grossas em que o blocos regulares formavam apenas os paramentos e o intervalo era preenchido com pedra irregular. As pedras que atravessam toda a parede são os perpianhos;



- “opus reticulatum”

ou aparelho reticulado, formado por pedras regulares, talhadas com secção quadrada ou em losango e dispostas de forma a que as suas juntas formem uma rede de malhas quadradas. Estas pedras eram piramidais o que permitia facilitar o seu assentamento.



Estes aparelhos vão estar na origem dos sistemas de assentamento que chegaram aos nossos dias.

1.2.3. Da Idade Média à Revolução industrial

A alvenaria não fez progressos relevantes durante o período entre o séc. IV e X na Europa. Foi o desenvolvimento do catolicismo que motivou os primeiros progressos, sendo adoptado o modelo da basílica pública romana para os primeiros templos, de que o exemplo mais emblemático é a antiga basílica de S. Pedro em Roma (326-1506). As primeiras inovações vão surgir a partir do século XI nas igrejas monumentais com o Românico e com o Gótico. Enquanto o primeiro estilo predominou até ao séc. XIII, a arquitectura gótica teve início em meados do séc. XII e prevaleceu até ao séc. XVI., fig. 1.11.

Nas catedrais românicas rapidamente os tectos de madeira, sobretudo na Europa do Sul, foram substituídos por abóbadas de pedra, designadas abóbadas de berço, que tinham, regularmente afastados, arcos de reforço designados arcos torais que se apoiavam em pilares. Com a abóbada de berço coexistem as abóbadas de arestas que concentram os impulsos laterais nos quatro cantos, o que permitia circular entre os pilares. Os construtores medievais sabiam que os esforços laterais se anulavam dois a dois nos arcos intermédios, pelo que só nos extremos esses esforços eram significativos, sendo absorvidos pelos contrafortes, fig.1.12, 1.13 [1.7].

As catedrais góticas tinham, comparativamente às românicas mais luminosidade devido á existência de uma estrutura mais aberta e de uma maior exploração da estrutura. Para além da utilização do arco em ogiva, mais aligeirado, a abóbada de arestas evoluiu para a cruzaria de ogivas apoiada sobre pilares. Os esforços laterais das abóbadas foram absorvidos pelos arcobotantes, uma espécie de escora em alvenaria, transmitindo os esforços ao contraforte mais afastado, passando as paredes da nave a ser mais esbeltas e iluminadas pelas janelas altas do clerestório. Outra inovação consiste na utilização de nervuras que facilitavam a intersecção das ogivas, concentravam as tensões e reduziam a espessura das abóbadas e a necessidade de moldes. Esta solução era estruturalmente mais fraca que o românico e os seus progressos foram marcados por inúmeros colapsos, embora o legado ao nível das catedrais seja excepcional.

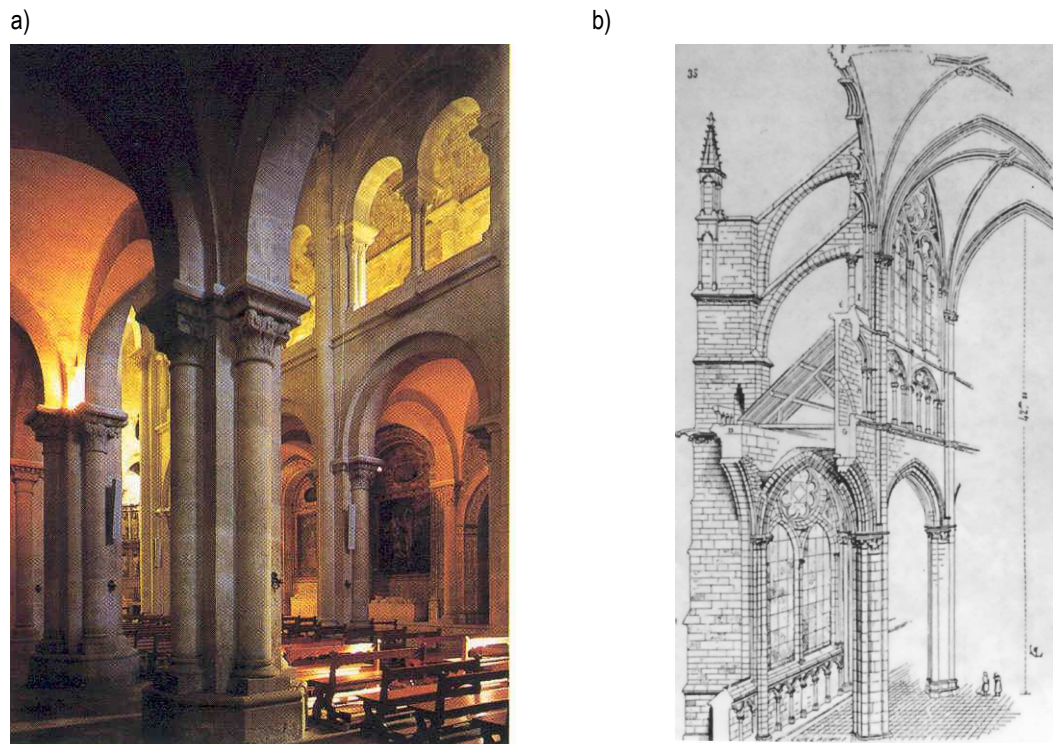


Fig. 1.11 – Exemplos de realizações românicas e góticas
a) Sé Velha de Coimbra - Igreja românica b) Esquema da estrutura de uma Igreja gótica

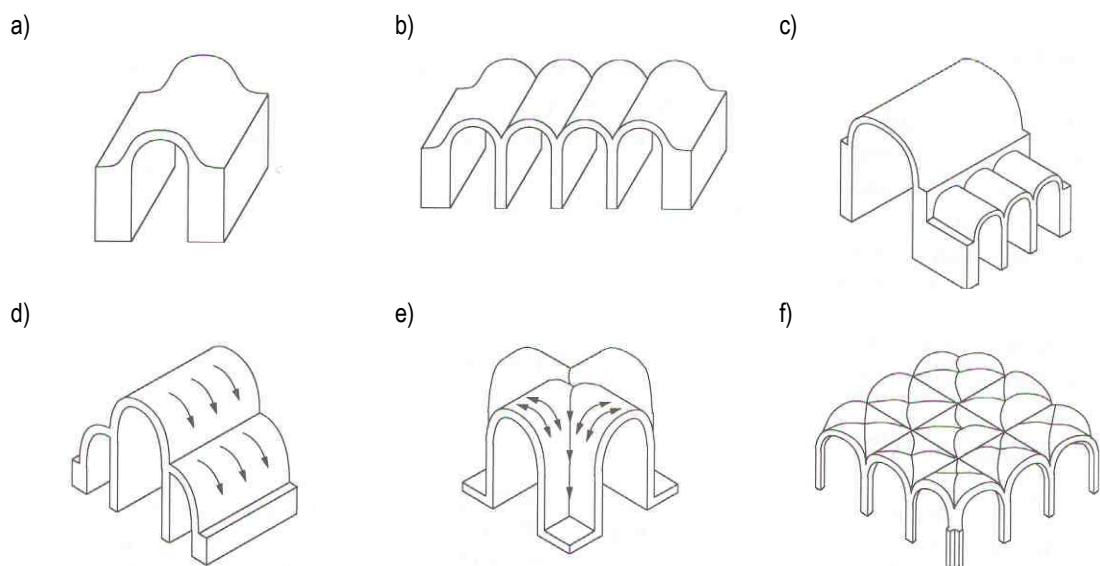


Fig. 1.12 – Exemplos de combinações de abóbadas de berço
a) Abóbada simples b) Série de abóbadas c) Abóbadas ortogonais d) Abóbadas paralelas e) Cruzamento de abóbadas f) Cruzamento múltiplo de abóbadas

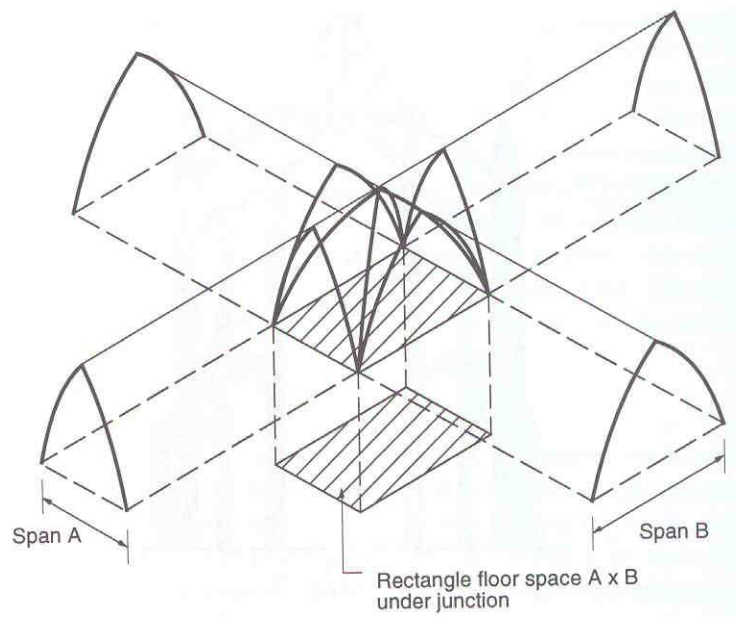


Fig. 1.13 – Intersecção de arcos ogivais

Para além das construções religiosas as construções militares contribuíram para o desenvolvimento da construção, e das alvenarias em particular, entre outras razões porque durante muito tempo foi a instituição militar a única a deter uma escola de formação que abrangia muitas das funções dos engenheiros civis. As construções militares, inicialmente muralhas e torres medievais, tiveram que se adaptar à violência da pólvora e do canhão evoluindo para a fortificação abaluartada em que as muralhas desciam ao solo e aumentavam de espessura, fig. 1.14.

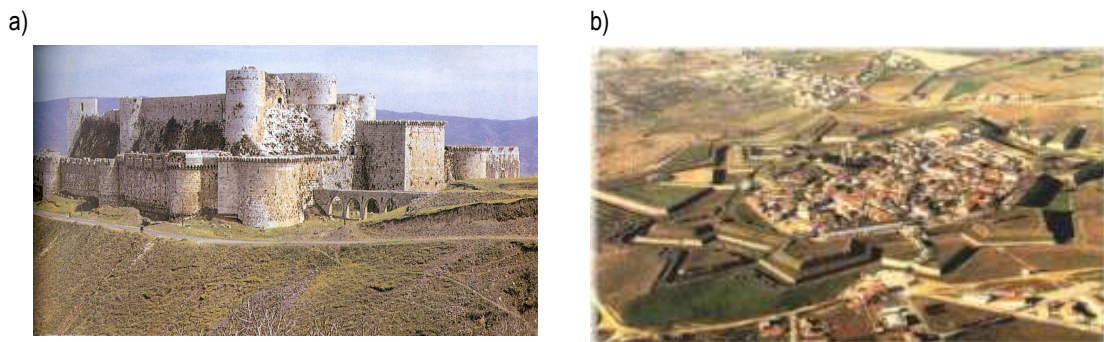


Fig.14 – Exemplos de construções militares

a) Krak dos Cavaleiros, castelo dos cruzados na Síria (1142) b) Vista aérea da praça de Almeida

Ao longo dos séculos os materiais e soluções construtivos mantiveram-se praticamente inalterados apesar das mudanças arquitectónicas das construções. Durante este longo período outras civilizações não ocidentais tiveram desenvolvimentos durante muito tempo desconhecidos dos europeus e com realizações frequentemente mais evoluídas. Merecem referência na América Central e do Sul as realizações dos Maias e dos Incas, dos Árabes na

Península Ibérica, Norte de África e próximo Oriente e os templos e cidades dos povos budistas e hinduístas no Oriente.

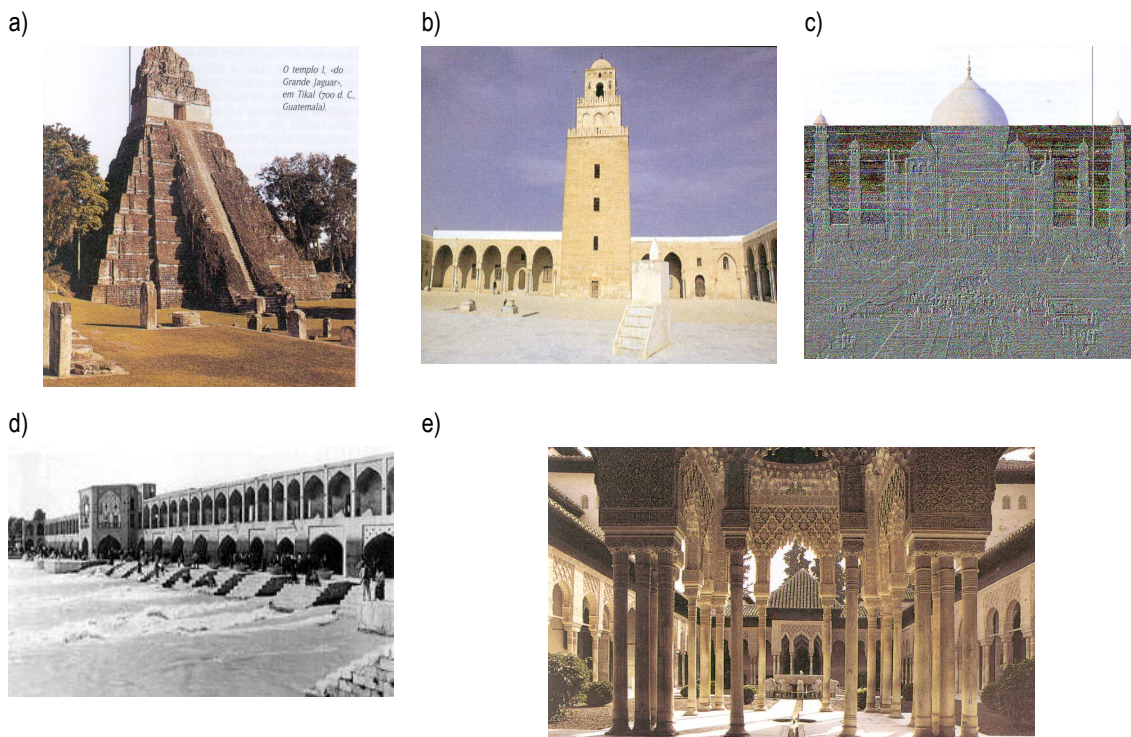
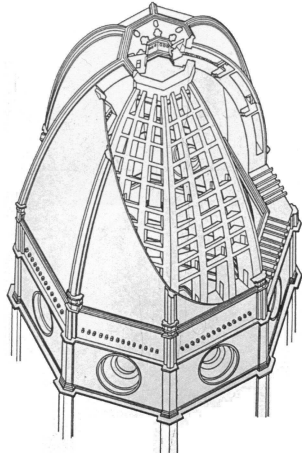


Fig. 1.15 – Exemplos de construções não ocidentais a) Templo dos Maias do grande Jaguar b) Mesquita de Marrakech c) Pátio dos Leões- Granada d) Ponte de Khaju no Irão (1667) e) Taj Mahal na Índia

O Renascimento representa sobretudo um conceito novo na forma e nas proporções e uma maior contribuição das artes na construção. As construções eram mais regulares com simetrias, sendo as alvenarias em geral de boa construção. As igrejas e em particular as cúpulas tiveram desenvolvimentos, sendo a de Stª Maria del Fiore em Florença e a da Basílica da nova Catedral de S. Pedro em Roma verdadeiras obras primas, fig1.16. Pela primeira vez usaram-se aduelas segundo os meridianos e paralelos, sendo as abóbadas constituídas por duas cascas ligadas pelas referidas nervuras, o que tem a vantagem de melhorar o isolamento térmico, a protecção da chuva, reduzir o peso próprio, permitindo a existência de formas diferentes pelo interior e exterior. Quanto às paredes mantiveram-se as soluções de constituição heterogénea, à base de materiais pesados e de grande espessura.

A concepção estrutural no Barroco e no Neo-Classicismo não produziu soluções inovadoras a nível estrutural e tecnológico, tendo-se mantido as práticas construtivas. Merecem apenas referência algumas cúpulas arrojadas como a da Catedral de S. Paulo em Londres e do Panteão de Paris.

a) Santa Maria del Fiore



b) São Pedro – Roma



Fig. 1.16 – Exemplos de cúpulas

Com a revolução industrial a descoberta da máquina a vapor conduziu à industrialização do processo de produção de tijolo cerâmico, com equipamentos de moldagem por prensagem (por volta de 1800) e posteriormente as extrusoras e equipamentos de corte que permitiram o desenvolvimento de *layouts* industriais de produção elevada na 2ª metade do século XIX. Os fornos passam de fogo descontinuo a fogo contínuo tipo Hoffmann, (1858), fig.1.17.

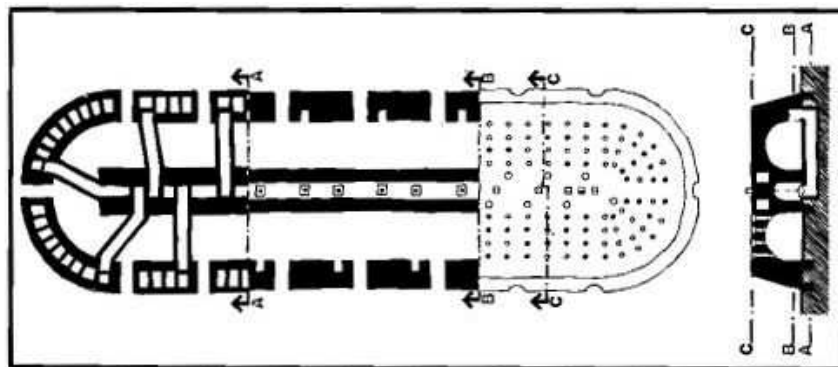


Fig.1.17 - Esquema funcional de forno tipo Hoffmann

1.3 Declínio

Com o progresso da Revolução Industrial as alvenarias não foram capazes de rivalizar com as novas soluções à base de ferro, aço e betão armado. A invenção do cimento Portland e os refinamentos na produção do aço na 1ª metade do século XIX ensombraram a construção de alvenaria e marcam o seu declínio.

Os novos materiais, o desenvolvimento de princípios avançados e experimentais de dimensionamento dessas soluções e os novos desafios e correntes arquitectónicas do início do século XX – edifícios altos e escola de Chicago – tornam as soluções em alvenaria resistente obsoletas.

Naturalmente as estruturas em alvenaria, dimensionadas por regras empíricas intuitivas, com paredes muito espessas em edifícios altos, comparativamente às soluções muito mais esbeltas à base de estruturas metálicas e de betão armado, tanto em termos económicos como funcionais – perda de espaço, custo e tempo de execução – tornaram-se desinteressantes, apesar de algumas realizações mais engenhosas como a alvenaria armada da basílica do Sacré Coeur de Montmartre.

É vulgar referir o Monadnock Building, construído em Chicago em 1891 com 16 pisos e paredes de 1,80 m na base, como o último exemplo de uma grande construção em alvenaria segundo a tradição antiga – Fig. 1.18 [1.8].

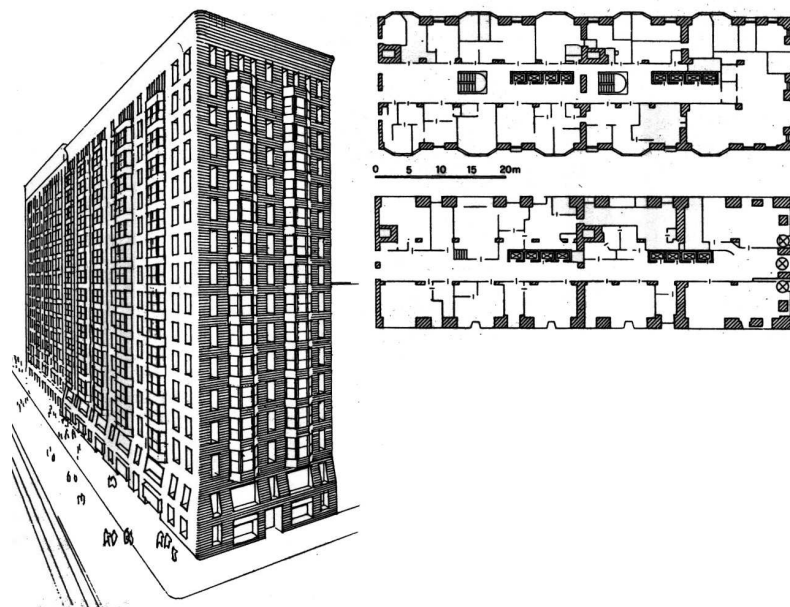


Fig. 1.18 – Monadnock Building, Chicago, 1891

Ao longo da primeira metade do século XX só alguns arquitectos mantiveram o uso de alvenaria com função estrutural. Merecem destaque as realizações de António Gaudi com o emprego do “racionalismo estrutural”, empregando arcos e escoras inclinadas em alvenaria – Fig. 1.19 [2].

a) Igreja da Sagrada Família em Barcelona

b) Modelo estrutural

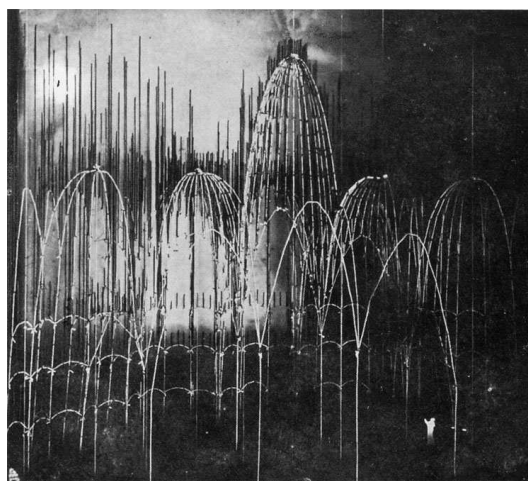
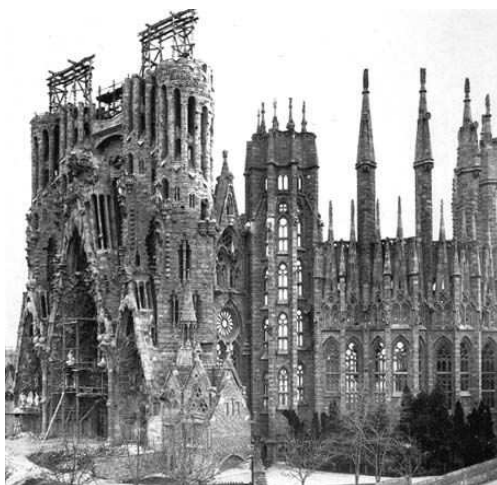


Fig. 1.19 – Estruturas em alvenarias de Gaudi

Neste período considerava-se que as alvenarias e o betão simples eram soluções pouco sofisticadas por não resistirem à tracção. O betão conseguiu resolver este problema pela associação com o aço, tecnologia que se desenvolveu rapidamente ao contrário das alvenarias armadas.

1.4 As Construções Antigas em Alvenaria e os Sismos

Analisando uma carta sísmica apercebemo-nos que em geral as regiões mais populosas e importantes do passado coincidem com zonas de risco sísmico, pelo que as tecnologias construtivas desenvolveram-se em zonas de risco.

No entanto não há sinais de que as tecnologias dessas zonas tivessem presente, conscientemente, princípios de resistência sísmica, ou seja não parece que os terramotos tenham influenciado de maneira distintiva e directa a maneira de construir como fez, por exemplo, o clima de cada região.

Uma explicação para esta situação radica-se no facto da compreensão dos fenómenos sísmicos de forma científica ser um desenvolvimento recente, enquanto no passado era considerado um acontecimento sobrenatural. Por outro lado a periodicidade dos sismos era em geral longa, com períodos de retorno de centenas de anos, contribuindo para a perda de consciência e da memória das eventuais tecnologias anti-sísmicas.

Apesar das alvenarias serem um material frágil, em geral sísmicamente pouco resistente, há vestígios de construções em alvenarias em zonas sísmicas que subsistiram a uma série de terramotos, e a outras agressões várias devidas a calamidades naturais diversas, efeito do tempo e do próprio homem. Trata-se quase sempre de construções monumentais, que em alguns casos sofreram danos periódicos graves, mas cuja persistência se deve tanto à qualidade intrínseca, quanto ao interesse por parte do homem em preservá-las da destruição. As características principais que permitiram a sobrevivência destas construções às acções sísmicas foram sobretudo as duas seguintes:

- a regularidade morfológica e construtiva do edifício, com presença de percursos estruturais homogéneos e ininterruptos, capazes de conduzirem adequadamente os esforços induzidos pelos sismos, fig.1.20;
- o correcto emprego de materiais colaborantes, capazes de fornecer à alvenaria uma resistência adequada às acções horizontais.

O primeiro destes princípios foi usado segundo duas tendências:

- absorção dos esforços horizontais por introdução de fortes compressões resultantes do peso próprio de grandes massas de alvenaria, caso de muitos templos de antiguidades;
- anulamento e equilíbrio das acções laterais por recurso a sistemas simétricos de arcos, contrafortes e massas estabilizadoras – caso das Igrejas Góticas.

O segundo princípio corresponde à percepção empírica de que o comportamento estrutural de alvenaria melhora sensivelmente com o auxílio de materiais mais elásticos e deformáveis do que a alvenaria, para poderem absorver as tracções induzidas pelas acções de corte, flexão e compressão com flexão, fig. 1.21.

A colaboração desta “armadura” recorreu sobretudo ao uso de uma estrutura em madeira ligada à alvenaria, melhoria de argamassa ou material de preenchimento do núcleo de paredes duplas de alvenaria e ainda inclusão de armaduras metálicas em zonas particulares da alvenaria. O recurso à armadura de reforço em madeira tem origens muito remotas. Poderá ter mesmo surgido da evolução das técnicas de adobe e taipa funcionando mesmo a alvenaria como forma de fornecer à parede uma maior rigidez e robustez. Sistemas deste tipo foram usados a partir da Idade Média em muitos países da Europa Centro – Setentrional e do Oriente.

A técnica do preenchimento do núcleo das paredes duplas é uma técnica mais recente.

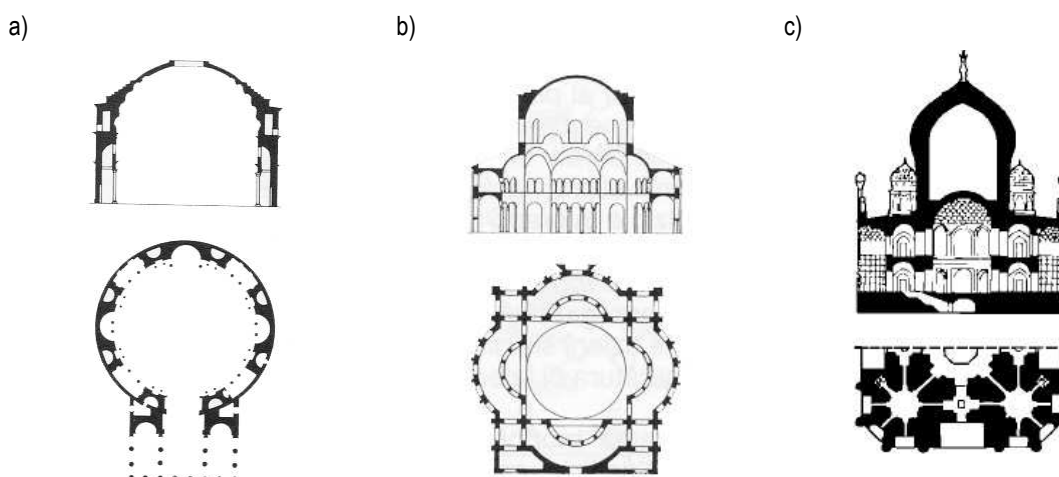


Fig.1.20 - Exemplo de estabilidade de estruturas em alvenarias conseguida por efeito de arco devido à sábia colocação da massa no cimo e na base do edifício a)Panteão de Roma (120 – 124) b)Igreja de S. Lourenço em Milão (sec. V) c) Taj-Mahal (1630 – 48) [1.8]

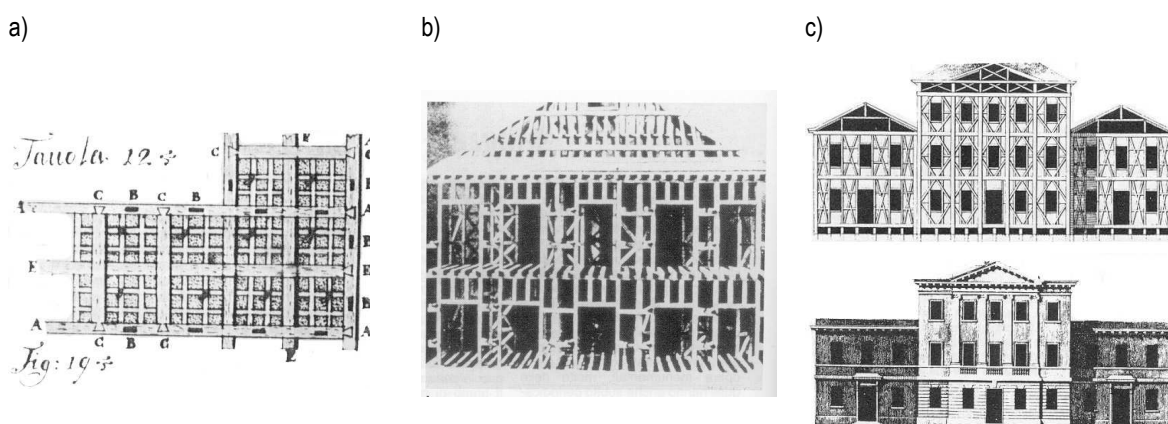


Fig. 1.21 – Medidas de reforço da resistência sísmica de edifícios na sequência de sismos violentos:

- a) Grelhagem preconizada para as fundações, sugerida no séc. XVII
- b) A gaiola pombalina em madeira usada na reconstrução de Lisboa na sequência do terramoto de 1755
- c) Projecto de casa antisísmica da Calábria na sequência do sismo de 1783

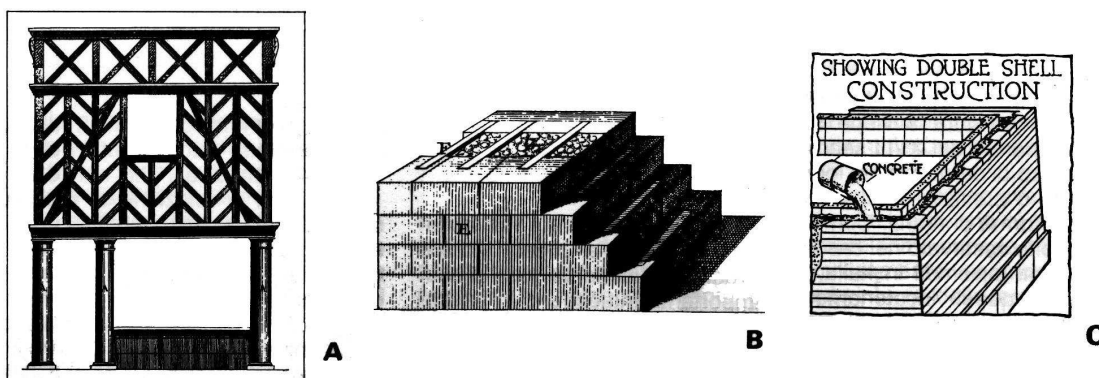


Fig.1.22 – Medidas de reforço das estruturas em alvenarias resistentes [1.2]

1.5 Renascimento das alvenarias

É apenas em meados do século XX que nos países mais desenvolvidos as estruturas de alvenaria voltam a despertar interesse, numa perspectiva mais moderna, associada a novas formas de dimensionamento e ao interesse económico desta solução.

Nos anos 20, dificuldades económicas designadamente na Índia, convenceram os técnicos da necessidade de encontrar alternativas às estruturas metálicas e de betão armado. Iniciam-se assim estudos estruturais relativos às alvenarias, não apenas na construção de baixo custo, mas também para uma compreensão do funcionamento estrutural desta solução.

Na Europa, é na década de 40 que engenheiros e arquitectos iniciaram estudos sérios sobre alvenarias, cerca de 100 anos após o início da abordagem às soluções estruturais de betão. Por esta altura as empresas produziam já tijolos e cimentos de elevada resistência. Assiste-se assim à aplicação às alvenarias de princípios de dimensionamento utilizados noutros sistemas.

O desenvolvimento de recomendações práticas modernas relativas à concepção de estruturas de alvenaria surge a partir das décadas de 40/50 do século XX. Merecem destaque os estudos e realizações levados a cabo em alguns países, em particular Suíça, Canadá, USA, Austrália e Reino Unido, que permitiram a realização de estruturas modernas de alvenaria – Fig.1. 23 [9].

Referem-se como exemplos:

- 3 torres de 13 pisos construídos em Basel na Suíça em 1951, com paredes exteriores de 38 cm e interiores de 15 cm. Os tijolos apresentavam uma resistência de 30 MPa;
- também na Suíça uma torre de 18 pisos em Schwamendingem – Zurique, com paredes de espessura não ultrapassando 38 cm;

- edifícios Park-Mayfair-East de 17 pisos em Denver – Colorado, em alvenaria armada, com paredes de espessura total de 28 cm, compostas por 2 panos de tijolo de 9.2 cm e um núcleo em betão de 9.5 m;
- edifícios Park-Lane Towers, construídos em 1970, de 20 pisos com paredes de 20 cm, a partir de tijolos de 100 MPa de resistência à compressão;
- hotel de 14 pisos em Jefferson City – Missouri, em blocos de betão (excepto os 3 primeiros e último piso em estrutura reticulada) – a espessura é de 19 cm, sendo os vazios preenchidos com betão da seguinte forma:
 - nos 3 primeiros pisos em alvenaria, todos os vazios;
 - nos 4 seguintes um em cada 60 cm;
 - nos 3 últimos um de 120 cm em 120 cm.

Os materiais tinham as seguintes características resistentes:

- 25 MPa os blocos;
- 21 MPa o betão de preenchimento;
- 14 MPa as argamassas.

A alvenaria era levemente armada.

a)



b)



Fig. 1.23 – Exemplos de edifícios de grande porte realizados na Suíça na década de 50 em alvenaria resistente

Como exemplo de construções em zona sísmica pode referir-se o Hotel Catamaram de 13 pisos em San Diego – Califórnia, em alvenaria armada de blocos de betão, fig. 1.24, e o Hotel Excalibur em Las Vegas, fig. 1.25.



Fig. 1.24 – Hotel Catamaram em San Diego



Fig. 1.25 – Hotel Excalibur em Las Vegas (zona sísmica moderada) alvenaria armada

A partir da década de 50 profundos estudos teóricos e experimentais possibilitaram a realização de estruturas de alvenaria. O sucesso destas estruturas em muitos países está ligado há já referida investigação neste domínio, que permitiu o desenvolvimento de métodos de cálculo similares aos das estruturas de betão ou metálicas. Estes estudos vieram ainda suportar a produção de normas e regulamentos modernos, bem como de materiais de qualidade, sujeitos a um elevado controlo técnico. Em paralelo os detalhes construtivos e os aspectos complementares do desempenho das alvenarias também foram bastante estudados. Para o sucesso desta solução contribui ainda o facto da alvenaria, além de uma elevada capacidade resistente, encerrar em si um conjunto de propriedades que permitem satisfazer, em simultâneo, muitas outras exigências.

COHAB SP - BRESSER III - 1987

3 TORRES DE
18 AND. EM ALV.

Área Construída:
14.100 m²

EXISTEM MAIS
30 TORRES IGUAIS
EM OUTROS
LOCAIS



EDIFÍCIO BAHAMAS

S. BERNARDO DO CAMPO
1998
18 AND. EM ALVENARIA





Figura 1

**ESCOMBROS DO EDIFÍCIO ÉRICKA,
OLINDA-PE**

A parte posterior do edifício ruiu totalmente, desligando-se da parte frontal com seccionamento das paredes e das lajes que as interligavam



Sinal evidente do grande interesse suscitado actualmente por este domínio são, para além da profusão de materiais e soluções, o número de congressos e entidades que desenvolvem actividade neste domínio, com produção significativa de estudos e comunicações.

- Conferências – NAMC – North American Masonry Conference
(de 3 em 3 anos – 1979, 82, 85, 88, 91, 94, 97, ...)
- IBMaC – International Brick and Block Masonry Conference
(de 3 em 3 anos – 1982, 85, 87, 88, 91, 94, 97, ...)
- Canadian Masonry Symposium
- CIB-W23 – Wall Structures

- Sociedades:
 - The Masonry Society – Edita o “The Masonry Society Journal” e realiza encontros e congressos.
3970 Broadway, suite 201-D – Boulder, Colorado, USA.
 - “British Masonry Society” – Stoke-on-Trent – UK
Organiza conferências e promove publicações.

1.6 Bibliografia

- [1.1] - Bíblia
- [1.2] - Mário Zaffagnini (Edinricerche) – **Rosso Mattone. Il Ruolo del Laterizio nell'edilizia del Nostro** Tempo: Edizioni Luigi Parma. Bologna, 1987
- [1.3] - Unesco . **História da Humanidade. Vol. I II e III.** Editorial Verbo. Lisboa, 1986
- [1.4] - Círculo de Leitores. **História Universal Comparada.** 8 volumes. Círculo de Leitores, Lisboa, 1984
- [1.5] - DeLony, Eric – **Context for World eritage Bridges.** www.icomos.org/studies/bridges, 1996
- [1.6] - Segurado, J. E. – **Alvenaria e Cantaria.** Biblioteca de Instrução Profissional. 5ª Edição. Livraria Bertrand e Livraria Francisco Alves, Lisboa
- [1.7] - Croci, Giogio – **The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage.** Computational Mechanics Publications. Southampton, UK and Boston, USA, 1998
- [1.8] - Beall, Christine- **Masonry Design and Detailing for Architects, Engineers and Contractors.** 4th Edition, McGraw-Hill 1997
- [1.9] - Villegas, L.- **Las Estructuras de Fabrica Actuales.** Publicaciones GTED, R:951. Santander 1995
- [1.10] - Círculo de Leitores/ Larousse. **Memória do Mundo. Das Origens ao ano 2000.** Círculo de Leitores, Lisboa, 2000

HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

CAPÍTULO II

SITUAÇÃO PORTUGUESA - DAS SOLUÇÕES

TRADICIONAIS À ACTUALIDADE

FEUP 2002

PRELIMINAR (VERSÃO 2)

**INTRODUÇÃO ÀS ALVENARIAS
SITUAÇÃO PORTUGUESA – DAS SOLUÇÕES TRADICIONAIS À ACTUALIDADE**

ÍNDICE

2. REFERÊNCIAS ÀS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS EM PORTUGAL	5
2.1 Alvenarias Antigas	5
2.2.1. Fundações.....	9
2.2.2. Paredes resistentes.....	10
2.2.4 Coberturas.....	14
2.2.5. A Compartimentação.....	15
2.2.6. Os Revestimentos	16
2.2.7. As Caixilharias.....	17
2.2.8. Instalações	17
2.3 Dimensionamento e disposições construtivas das alvenarias resistentes antigas.....	17
2.4 As alvenarias na Actualidade em Portugal (artigo apresentado ao CIB em Inglês)	18


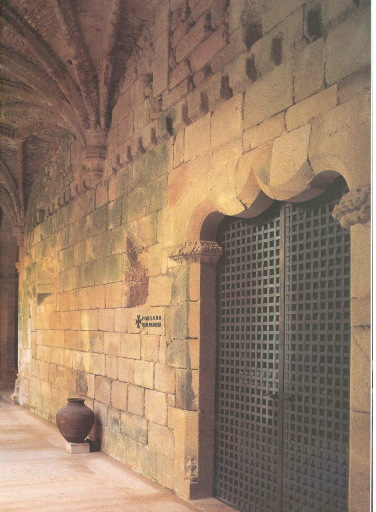
2. REFERÊNCIAS ÀS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS TRADICIONAIS EM PORTUGAL

2.1 Alvenarias Antigas

É habitual considerar edifícios antigos os anteriores à tecnologia do betão armado. Em Portugal em edifícios antigos, predominavam as alvenarias resistentes dos tipos constantes do Quadro 2.1.

Além das pedras – granitos, calcários e xistos – de acordo com as disponibilidades regionais, usavam-se ainda os tijolos cerâmicos cozidos em forno – pequenos formatos, praticamente maciços, a taipa e o adobe (tijolos cozidos ao sol), mais comuns nas zonas mais ricas em argilas e eventualmente com menos pedra. As argamassas eram também função das disponibilidades locais, variando entre o barro e as misturas de cal e areia.

Quadro 2.1 - Paredes dos edifícios antigos, em função da natureza, dimensão, grau de aparelho e material ligante das pedras [2.1]

Designação	Características da construção das paredes dos edifícios antigos
<p data-bbox="422 913 609 943">Parede de cantaria</p> 	<p data-bbox="826 983 1356 1211">Parede realizada a partir de pedras com faces aparelhadas de formas diversas assentes em argamassa ou simplesmente sobrepostas e justapostas, realizadas com calcário e granito. Pode ser usada em vergas, soleiras, ombreiras, mísulas, cachorros e coberturas.</p> <p data-bbox="826 1223 1356 1290">Se realizada com pedras paralelepípedos também designada de enxilharia ou silharia.</p>
<p data-bbox="363 1422 671 1451">Alvenaria de pedra aparelhada</p> 	<p data-bbox="826 1619 1356 1727">Pedras irregulares, destinadas a ficar à vista e realizadas em calcário e granito, aparelhadas numa das faces, assentes em argamassa <i>ordinária</i> à fiada</p>

Alvenaria ordinária (*corrente*)



Pedras toscas, irregulares, em forma e dimensões e ligadas com argamassa *ordinária*, de forma semelhante à alvenaria aparelhada, mas de forma cuidada, destinando-se em geral a ser rebocada. Pela irregularidade das pedras é necessário encascar introduzindo pequenas pedras. A argamassa pode ser de vários tipos. As fiadas só são niveladas com um certo espaçamento



Alvenaria hidráulica

Alvenaria de qualquer tipo com argamassa hidráulica em trabalhos à prova de água

Alvenaria refractária



Alvenaria de qualquer tipo com argamassa refractária para construção de fornos

Alvenaria de pedra seca ou insossa



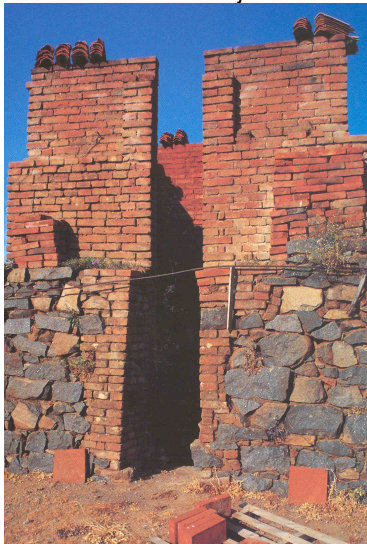
Paredes de pedra em que se dispensa o uso de argamassa na ligação das pedras usado nas zonas onde a cal era escasso ou onde se aproveitavam as pedras irregulares das montanhas. Para obviar a falta de argamassa é necessário um bom travamento das pedras. Desaconselhável em zonas sísmicas.

Paredes mistas



Paredes de alvenaria e cantaria; de alvenaria e tijolo; de alvenaria com armação de madeira, etc.

Alvenaria de tijolo



Paredes construídas com tijolo

Parede de adobe

Paredes construídas com blocos de terra secos ao sol e ao ar ¹(dimensões mais correntes 8x16x35)

Parede de taipa (designação abrangendo o material e a técnica

¹ Técnica usada no Algarve, Alentejo, Ribatejo, Estremadura e Beira Litoral



Parede monolítica realizada a partir de terra convenientemente humedecida e compactada contra moldes (taipais ou enchimentos).

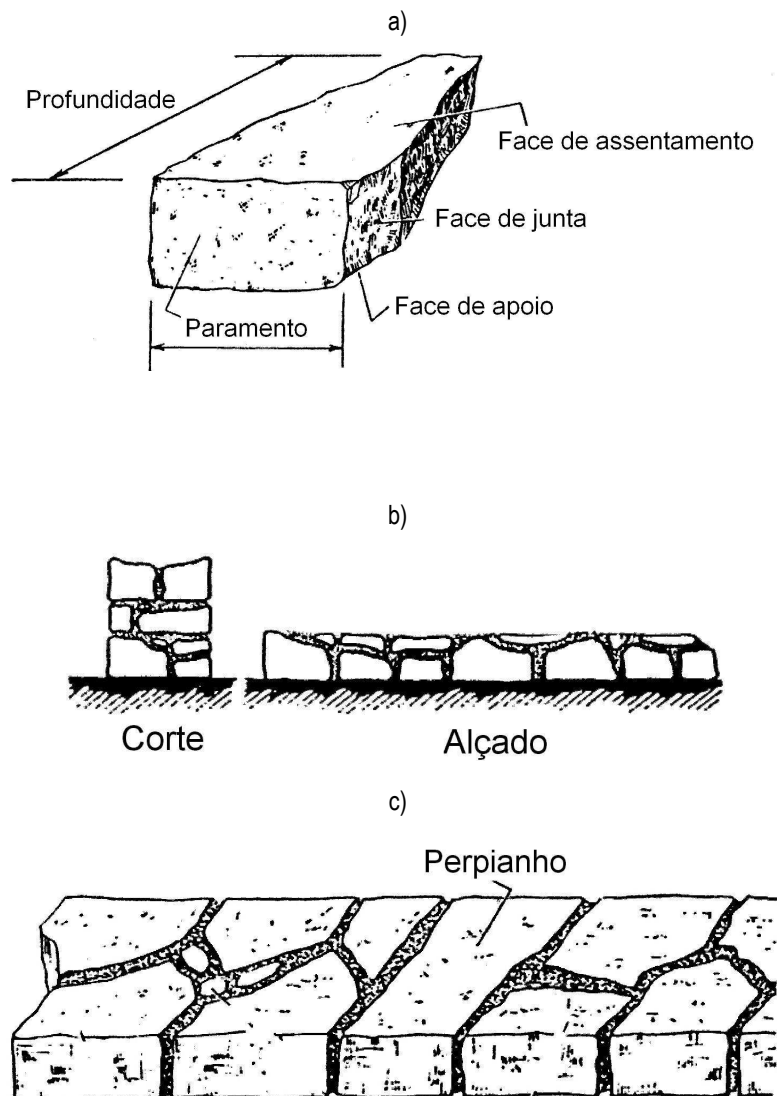


Fig.2.2 – Aparelhos tradicionais e detalhe de elevação de uma parede em pedra aparelhada

a)



b)



Fig. 2.3– Exemplos de construções em taipa ainda visíveis em Portugal

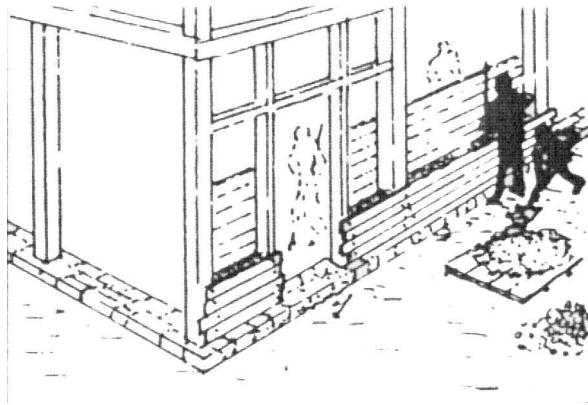
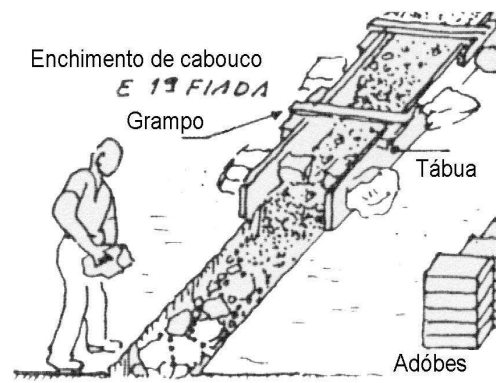
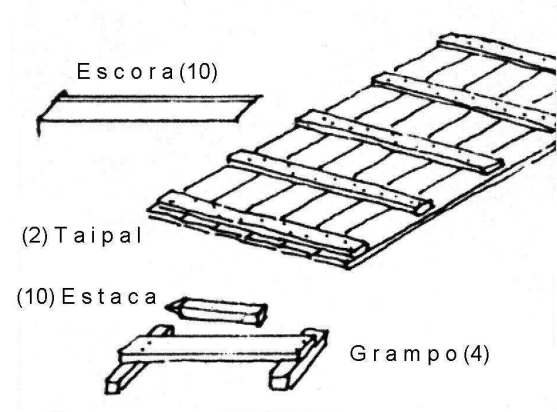
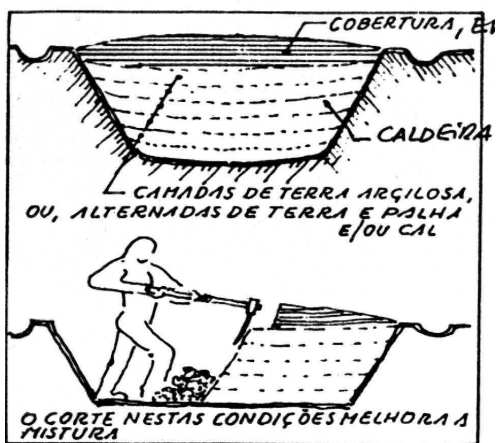


Fig. 2.4– Esquema da tecnologia de construção em taipa [2.2]

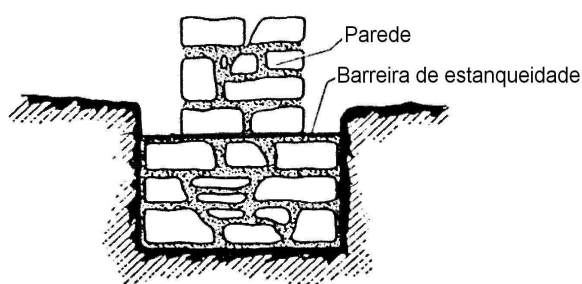
Referem-se seguidamente as soluções adoptadas nos diferentes subsistemas construtivos.

2.2.1. Fundações

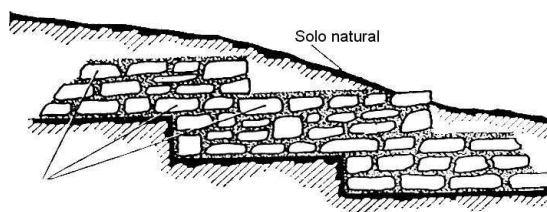
As fundações eram em geral directas, formadas por alvenarias com ligeiros alargamentos relativamente à secção corrente, para permitir a degradação de cargas e o emprego de alvenarias de menor qualidade – fig. 2.5 [2.4]. Quando o terreno de fundação adequado não se encontra à superfície, era vulgar ou executar caves, por forma a ser possível fundar directamente, ou criar poços regularmente afastados (aproximadamente de 3 em 3 m). Os poços eram preenchidos com alvenaria ou mesmo com areia, o seu coroamento era acabado com alvenaria de boa qualidade sendo coroado por arcos de pedra ou de tijolo.

Uma última alternativa consiste na adopção de fundações por estacas de madeira cravadas no solo. Esta tecnologia estava muito limitada pelo porte das árvores existentes e pela energia moderada mobilizável na cravação que limitava a solução a solos brandos ou zonas lodosas.

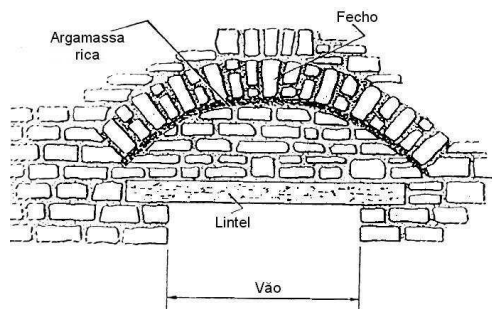
a) Secção corrente de fundação



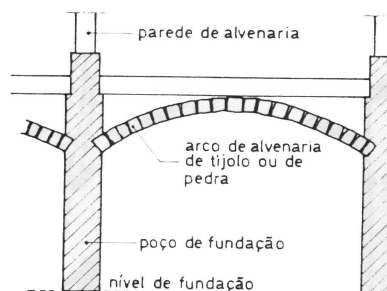
b) Fundação em degraus



c) Coroamento de fundações em arco



d) Poços de fundações



e) Fundação directa de parede no afloramento rochoso



f) Fundação tradicional



Fig.2.5– Alguns exemplos de fundações antigas de pedra

2.2.2. Paredes resistentes

As paredes eram muito espessas por requisitos mecânicos, de estanquidade à água e conforto. As soluções utilizavam diferentes materiais, formas de ligação e técnicas de aplicação, reflectindo as influências regionais, a dignidade/importância da obra e os meios do promotor.

Ao nível das paredes resistentes merecem também referência a execução dos seguintes elementos:

- lintéis, vergas ou padieiras – rematando aberturas através de elementos horizontais apoiados nos extremos, solução válida para pequenas aberturas, recorrendo a madeira, pedra talhada ou tosca – Fig.2.7 [2.5];
- arcos, na sua forma mais simples, toscos reduzindo-se à forma triangular, ou arcos de pedra ou tijolo maciço – Fig. 2.7 [2.5];
- introdução de reforços, através de peças metálicas, que funcionam como armaduras passivas .

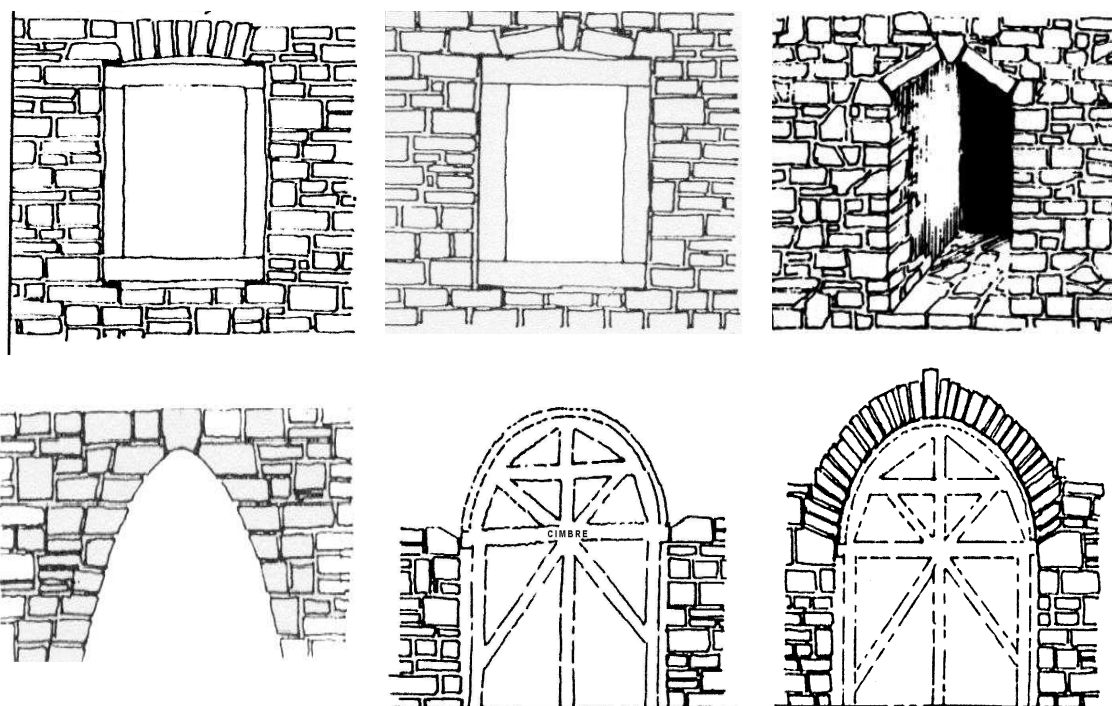


Fig. 2.7 – Arcos e Vaões

Merece também referência a reconstrução pombalina, dado tratar-se de uma operação de reconstrução maciça num curto espaço de tempo suportada por estudos evoluídos para a época, tendo-se utilizado uma tecnologia anti-sísmica, a gaiola, já referida anteriormente. Nesta solução adoptaram-se paredes em frontal pombalino ou “gaiola”, dispostas segundo as duas direcções ortogonais dos edifícios, constituídas por uma treliça de madeira preenchida com elementos cerâmicos. Estas paredes ligam-se às paredes principais através duma grade de madeira embebida na alvenaria pelo lado interior. Esta estrutura em madeira – a gaiola – precede a execução da alvenaria. Esta técnica tem paralelo na construção naval e era também adoptada noutras regiões sísmicas, como por exemplo nos Balcãs –fig. 2.6 [2.5].



Fig. 2.6 – Gaiola pombalina

2.2.3. Os Pavimentos

Os pavimentos elevados tinham por base, em geral, a madeira, embora fossem usados arcos e abóbadas de alvenaria. Os pavimentos em madeira procuravam evitar o contacto com a água e a humidade. Os vigamentos principais apoiavam-se nas paredes, com afastamentos entre 0.20 m e 0.40 m (largura das vigas como espaçamento recomendável). Os vigamentos podiam ser mais ou menos regulares e a sua secção tem a ver com o vão a vencer.

A ligação às paredes podia ser por encaixe, ou através da criação de uma base que também repartia as cargas. Em algumas situações o vigamento descarregava em vigas de madeira ligadas rigidamente à parede – frechal. As espécies empregues eram as disponíveis, autóctones, ou oriundas da África e do Brasil. Sobre o vigamento era pregado o soalho. Inferiormente podia, ou não, haver um forro de madeira ou de estuque.

A solução em arcos e abóbadas era empregue em edifícios com grandes vãos ou utilizações especiais, ou ainda no tecto de caves por questões de humidade. Sobre os arcos ou se colocavam vigamentos em madeira que recebiam os pavimentos em soalho, ou enchimentos com entulhos leves sobre os quais se colocam a madeira, lajedos ou materiais cerâmicos. Com o aparecimento do ferro e aço começaram a usar-se perfis em substituição da madeira, ou suportando elementos cerâmicos de aligeiramento.

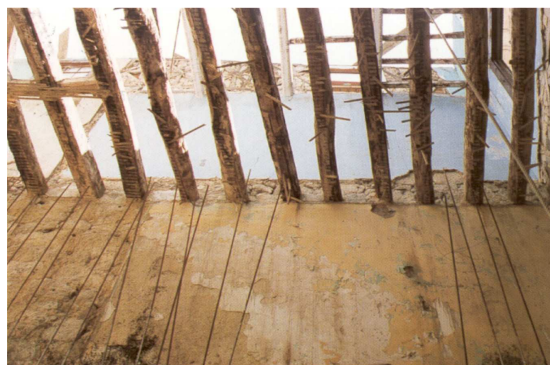
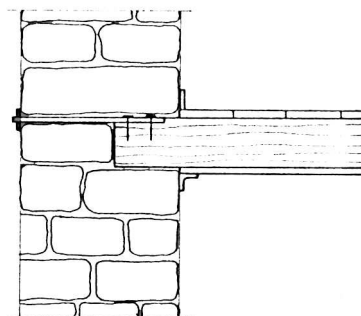
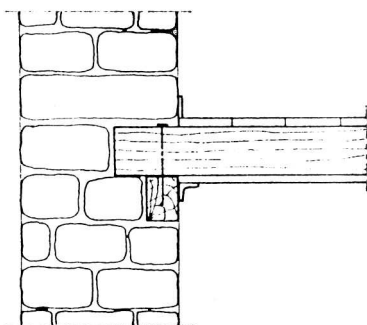
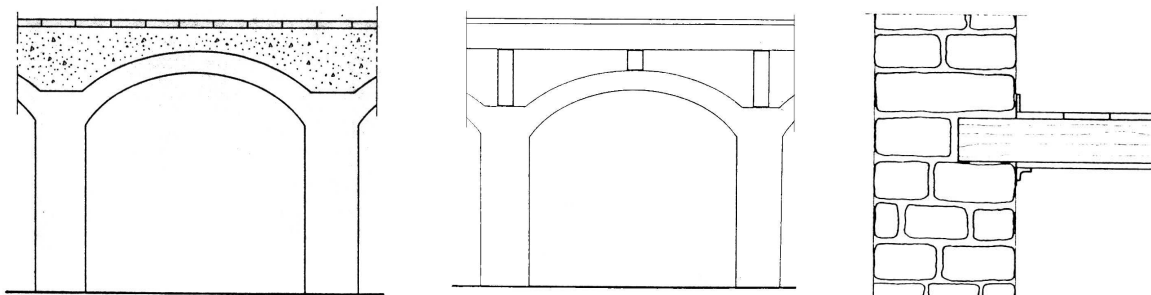


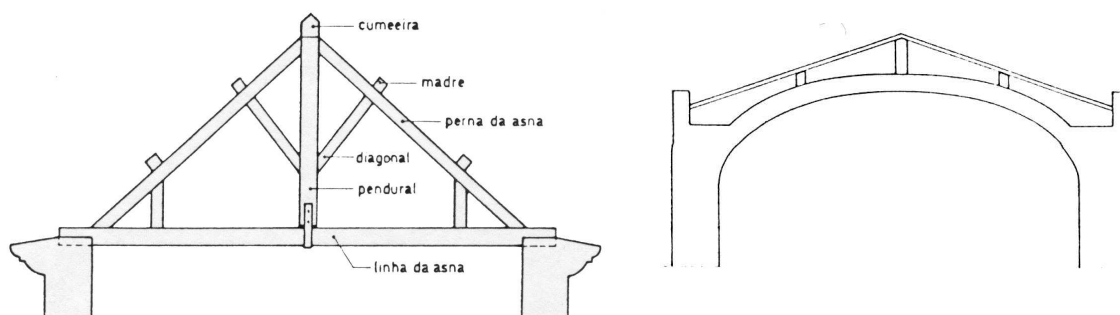


Fig. 2.8 – Exemplos de pavimentos tradicionais

2.2.4 Coberturas

As coberturas inclinadas tinham subjacentes estruturas de madeira – asnas e elementos secundários. Estas estruturas podiam resumir-se a uma simples água ou a águas múltiplas complexas. A ligação “asnas”/alvenaria e a protecção das madeiras contra a humidade eram objecto de particular cuidado.

A utilização de arcos e cúpulas de alvenaria em coberturas inclinadas tinha expressão em construções religiosas ou militares. Em coberturas planas, correntes em zonas de clima favorável, usavam-se arcos e abóbadas semelhantes aos referidos para os pavimentos, mas com espessura e disposições construtivas que impedissem a passagem da água.



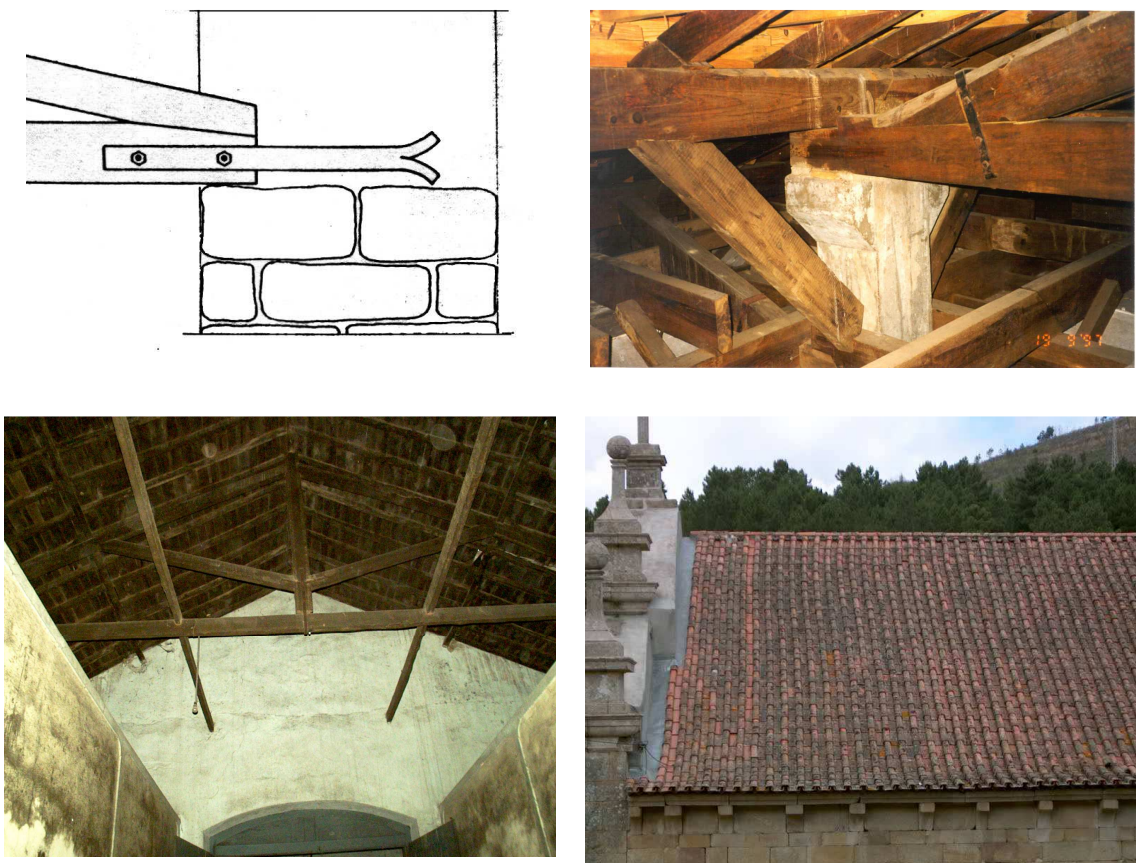


Fig. 2.9 – Exemplos de coberturas tradicionais

2.2.5. A Compartimentação

As paredes de compartimentação têm em Portugal soluções que se poderão considerar de carácter nacional e soluções de carácter regional. A solução de carácter nacional é tipicamente o tabique, formado por tábuas colocadas verticalmente ou inclinadas ligadas ao pavimento recebendo o fasquiado, constituído por pequenas régua de secção trapezoidal, ao qual aderiria o reboco. A aderência era melhorada pela “lascagem” da madeira.

Na reconstrução pombalina as divisórias tinham um verdadeiro esqueleto constituído por peças verticais, horizontais e cruces de Santo André, pregadas aos frechais e aos pavimentos.

Em qualquer das situações as compartimentações dão um contributo estrutural relevante, particularmente às acções horizontais. Entre as soluções de carácter regional referem-se o adobe.

Recentemente a utilização de tijolo cerâmico foi-se tornando cada vez mais popular. Os tijolos foram-se progressivamente aligeirando.

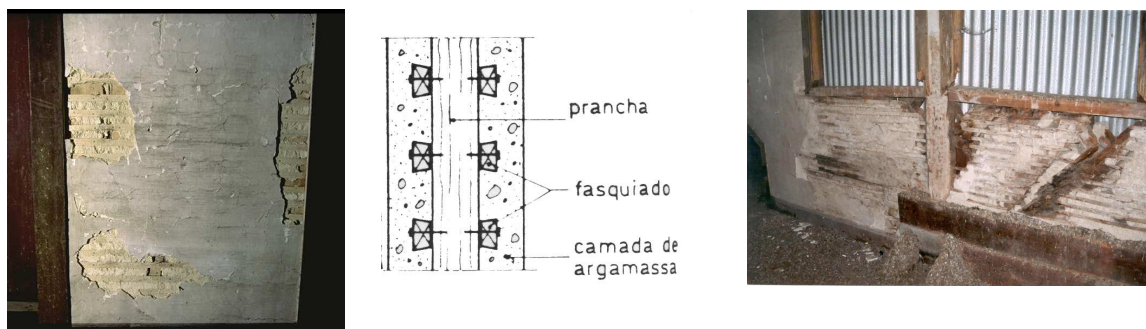


Fig. 2.10 – Exemplo de sistemas de compartimentação tradicionais

2.2.6. Os Revestimentos

Os materiais de revestimento relacionavam-se com os materiais utilizados na alvenaria:

- argamassas pobres de areia e cal aérea, com areia ou saibro;
- argamassas hidráulicas com pozolanas;
- várias camadas cuidadosamente realizadas;
- estuques;
- madeiras em divisórias, pavimentos e tectos (saia e camisa, masseira, etc);
- abóbadas à vista;
- revestimentos de pedra e cerâmicos tradicionais;
- pinturas tradicionais (caiações com fixadores e aditivos);
- telhas cerâmicas e colmo em coberturas inclinadas;
- cerâmicos e chapas de cobre/chumbo em terraços;



Fig. 2.11 - Revestimentos tradicionais

2.2.7. As Caixilharias

As caixilharias eram em geral de madeira, com formato e tipologias variadas e regionais. A protecção solar e ocultação nocturna quando existiam eram asseguradas por portadas exteriores e interiores.

2.2.8. Instalações

A introdução das instalações nos edifícios é em geral recente. Sobretudo os esgotos põem alguns problemas de compatibilidade com os pisos de madeira, particularmente nas intervenções que não são de raiz. A drenagem de águas pluviais quando recorre a algerozes e tubos de queda pode também originar patologias.

2.3 Dimensionamento e disposições construtivas das alvenarias resistentes antigas

O estabelecimento da espessura das paredes de alvenaria obedecia a considerações associadas à estabilidade, mas também relativas à estanquidade à água da chuva e conforto térmico. A abordagem em termos de resistência dos materiais era em geral rudimentar e conduzia à adopção de soluções tabeladas em função dos materiais constituintes e do porte da construção.

Apresentam-se em anexo regras empíricas de dimensionamento constantes do Regulamento das Edificações Urbanas (RGEU) – Quadro 2.2 e das Regras Antigas da Câmara Municipal de Lisboa – Quadro 2.3.

Nas paredes de tijolo admitiam-se espessuras menores do que nas de pedra porque a maior regularidade do assentamento permitia obter maiores resistência e ainda porque a menor condutibilidade térmica permitia usar paredes menos espessas.

Quadro 2.2 – Extracto Capítulo III do RGEU

Espessura de paredes de alvenaria de pedra ou de tijolo (não incluídos rebocos e guarnecimentos)

(Tabela a que se refere o artigo 25.º)

Ordem de anular (a partir de cima)	Grupo A ---- Paredes das fachadas			Grupo B ---- Paredes das empenas			Grupo C ---- Paredes de separação entre habitações. Paredes de caixa da escada. Paredes interiores carregadas em geral.			Grupo D ---- Paredes interiores de pequena extensão livre servindo de apoio a pavimentos de reduzido vão (máximo de 3 m ² de pavimento por metro linear).			Grupo E ---- Paredes interiores não recebendo cargas.		
	Pedra		Tijolo -- Vezes	Pedra		Tijolo -- Vezes	Pedra		Tijolo -- Vezes	Pedra		Tijolo -- Vezes	Pedra		Tijolo -- Vezes
	Talhada -- Centí- metros	Irregular -- Centí- metros		Talhada -- Centí- metros	Irregular -- Centí- metros		Talhada -- Centí- metros	Irregular -- Centí- metros		Talhada -- Centí- metros	Irregular -- Centí- metros		Talhada -- Centí- metros	Irregular -- Centí- metros	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.....	28	40	1	28	40	1	22	-	1	-	-	1/2	-	-	1/2
2.....	28	40	1 1/2	28	40	1 1/2	22	-	1	-	-	1/2	-	-	1/2
3.....	32	50	2	32	40	1 1/2	22	-	1	-	-	1	-	-	1/2
4.....	-	60	2 1/2	32	50	2	22	-	1	-	-	1	-	-	1/2
5.....	-	70	3	32	50	2	28	40	1 1/2	-	-	1	-	-	1
6.....	-	80	3 1/2	-	60	2 1/2	28	40	1 1/2	-	-	1	-	-	1
7.....	-	90	4	-	60	2 1/2	32	50	2	28	40	1 1/2	28	40	1 1/2

Quadro 2.3 - REGRAS DA CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA – Regulamento Geral da Construção Urbana

Ordem dos andares (a partir de cima)	Fachadas e apoio de vigamentos			Empenas e paredes sem cargas			Paredes de caves	Frontais com carga e divisórias de escadas		Tabiques	
	Alvenaria Ordinária	Alvenaria de tijolo	Blocos de betão	Alvenaria Ordinária	Alvenaria de tijolo	Blocos de betão		Alvenaria de tijolo	Blocos de betão	Alvenaria de tijolo	Blocos de betão
1	40	1 ½	30	40	1 ½	20	60	½	10	½	10
2	50	2	40	40	1 ½	20	-	½	10	½	10
3	60	2 ½	40	40	1 ½	20		1	15	½	10
4	70	3	50	45	2	30		1 ½	20	½	10
5	80	3 ½	60	45	2	30		2	25	1	15
6	90	4	70	50	2 ½	30		2 ½	30	1	15

Como disposições construtivas refere-se, no caso das alvenarias de pedra, o cuidado associado à realização dos cunhais e à redução do número e dimensão das juntas, a criação de um imbricado o melhor possível, a introdução de pedras que atravessavam toda a parede, os perpianhos. Recorria-se ainda frequentemente à introdução de elementos metálicos que funcionavam como tirantes, ancorados nas respectivas extremidades.

No caso das paredes de tijolo cerâmico procuravam-se respeitar os aspectos já referidos a propósito das alvenarias de pedra.

Bibliografia

- [2.1] -
- [2.2] -
- [2.3] -
- [2.4] -
- [2.5] -
- [2.6] -
- [2.7] -

2.4 AS ALVENARIAS NA ACTUALIDADE EM PORTUGAL (artigo apresentado ao CIB em Inglês)

TYPICAL MASONRY WALL ENCLOSURES IN PORTUGAL

Hipólito de Sousa

Assistant Professor
FEUP, Porto
PORTUGAL

Fernanda Carvalho

Research Officer
LNEC, Lisboa
PORTUGAL

SUMMARY

For a better understanding of the Portuguese reality a simple attempt to describe Portuguese practices and problems related with masonry building enclosures is presented. After a short review of recent Portuguese evolution concerning housing buildings, a description of the most frequent structures, masonry materials and enclosures is presented and illustrated. The main problems and pathology related with these practices and the evolution trend are summarized.

1. INTRODUCTION

According to the strategy defined on CIB Commission W23-Wall Structures, an effort to disseminate national perspectives related with building masonry enclosure systems has been considered of interest.

Masonry is perhaps the building technology more deeply affected by regional and traditional practices concerning materials, detailing and construction. In order to understand the masonry specialists concerns in different countries, it is fundamental to know the specificities and real problems of these subjects in each country.

The purpose of this report is to present briefly the recent Portuguese situation concerning this matter. The paper shows that in the last few years a quick evolution occurred on masonry practices, which produced several changes and some problems that must be well studied and explained, opening therefore important and interesting research perspectives.

2. BUILDING SECTOR

2.1. Importance of the building sector

Portugal is a South European country, Mediterranean on the Centre and South, but with increasing Atlantic influences on the Northwest. The population, of almost 10 million inhabitants, is concentrated near the sea. The construction activity is important to the economy and represents about 7% of the Gross Domestic Product and 9% of employment [1].

Buildings are the most important construction activity; this effort being yet focused on new buildings, fig. 1[2]. Nevertheless this effort is beginning to decrease.

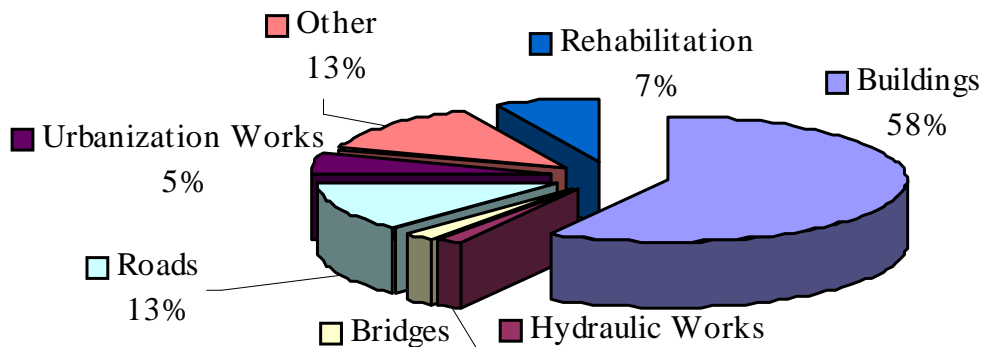


Figure 1: Importance of construction sectors according to Portuguese statistic data [2]

2.2. Structural systems for buildings

After World War II building solutions and technologies have quickly evolved, the traditional practices being progressively replaced by new ones, not always adapted to local conditions as formerly.

Concerning existing structural systems the major building structures are of reinforced concrete frame, fig. 2. The other solutions, like steel, masonry and timber structures are seldom used, even in small and one families houses. Also the structures with reinforced concrete walls are only used in a few special buildings, or where the fixing of heavy claddings imposes its use.

Some minor attempts to change this situation are under way. In Civil Engineering and Architecture Schools the attention paid to alternative structural solutions (steel, masonry and timber) is growing, supported by the Eurocodes and international images and models. Furthermore, producers and sellers see in these alternatives and new materials good business opportunities.



Figure 2: Example of typical buildings with reinforced concrete frame structure

2.3. Systems used for housing, commerce, etc.

As mentioned, in the past, the traditional Portuguese housing architecture usually presented regional solutions, well adapted to climatic conditions. The use of stone in heavy and thick walls was predominant. Except in some rustic regions or in more primitive buildings of the countryside, where the stone remained not finished, usually the stone enclosure walls were covered by a thick porous render, with low modulus of elasticity and made in multiple layers by very skilful workers.

In the Atlantic coast, in the zones more exposed to rain, the watertightness of the render was usually improved by the introduction of a waterproof layer, directly applied on the support, made of asphaltic mortar, or of a very rich Portland cement mortar with a hydrofuge admixture. Ceramic decorative coverings and claddings made of slate tiles or asbestos-cement profiled sheets, mainly on gables, were used, fig. 3 [3], with the same purpose of improving the watertightness, but with a more regional character.

By the end of the 1940s, and mainly in urban regions, the use of concrete structures would become widespread, first on the floors replacing timber, being progressively extended to the vertical support elements. At the time, the walls lost their resistance role and became only infilling elements, the stone being replaced by clay bricks. Clay brick producers developed a multitude of shapes, but always progressing from solid to large horizontally perforated elements.



Figure 3: Examples of some Portuguese traditional buildings

The importance of rain tightness, associated to the thickness and weight wall reduction, led in the 1960s to the generalization of enclosure cavity walls made of clay bricks, introduced with adaptations from abroad. In the 1980s, the concern for thermal comfort and energy conservation and the consequent publication of the respective code, led to the vulgar use of thermal insulation products filling the cavities of cavity walls.

In this evolving process, the tradition of rendering the walls with cementitious mortars remained, but the quality of execution has decreased and the regional character of architectonic solutions has been lost, fig. 4. Although in this

evolution the masonry walls have lost their structural importance, they remain an important construction element both in functional and economic terms.

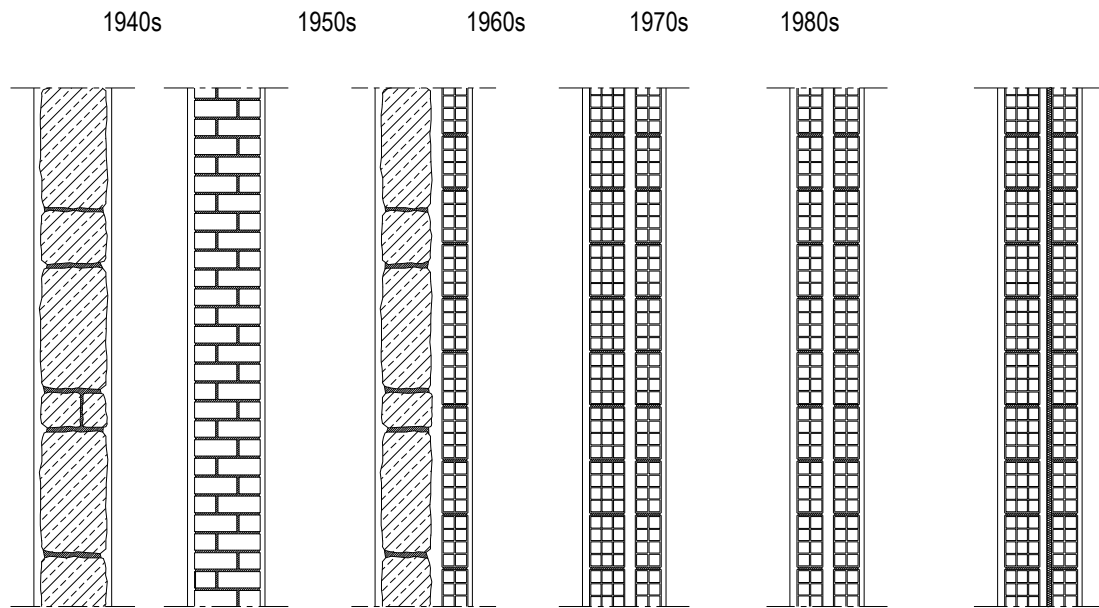


Fig. 4: Synthesis of the evolution process of Portuguese walls [3]

Concerning other buildings, like commercial, industrial and service ones, the solutions are generally the same, but the embodiment of steel and concrete precast concrete structures is higher.

The partition walls were traditionally made using thin wooden elements plastered with hydrated lime mortar, but have been progressively replaced by thin clay brick walls, with the thickness of the bricks referred on figure 5.

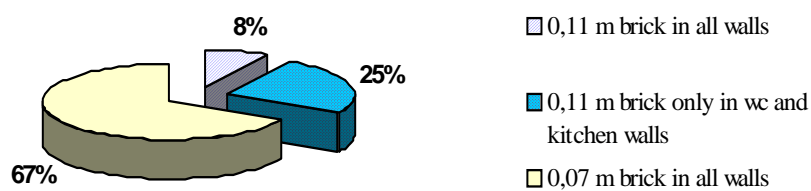


Fig. 5: Thickness of clay brick in current partition walls, according to a statistic study [4]

The importance of acoustic requirements, combined with the need for better productivity in these works, led to introduce other solutions, which are being increasingly used, such as gypsum wallboard, gypsum blocks and other light partition systems.

2.4. Some statistics on use and relevance

As mentioned, building construction has been the most important construction activity and, within this group, the housing buildings represent almost 75%, figure 6.

Concerning structural systems and according to Portuguese statistic data, the importance of reinforced concrete is close to 90% and is the solution used in the most important and large buildings. Normally, an important portion of the concrete is cast in place. Currently, only some components of the slabs are precast. Figure 7 shows the comparison with some European countries where this information is available. The same figure also shows that the predominance of one structural system in Portugal is obvious.

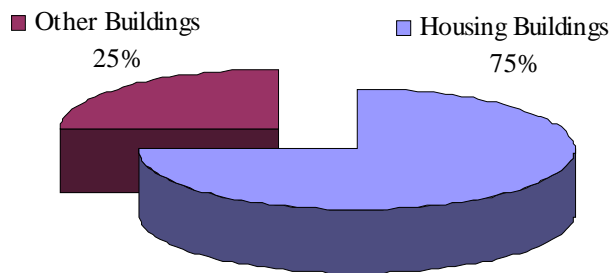


Fig. 6: Importance of b

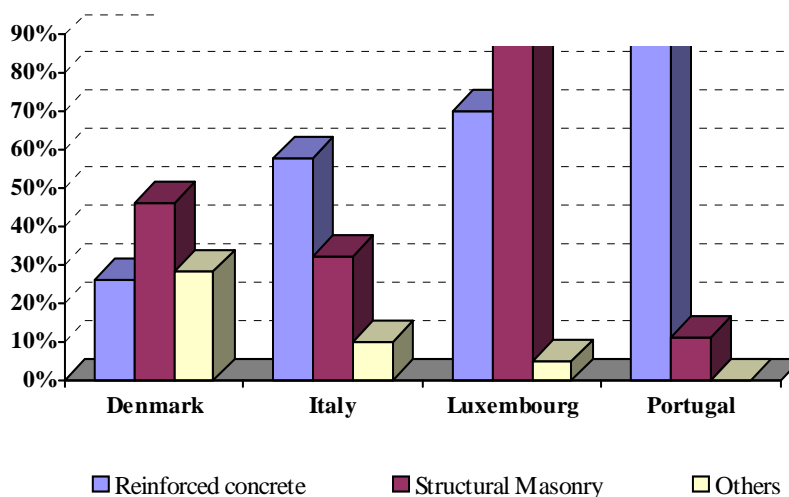


Figure 7: Comparison of building structures in some European countries [2, 5, 6,7]

3. MOST COMMON ENCLOSURE WALL SYSTEMS

3.1. Masonry materials

a) Units

In the Portuguese market, current masonry units (traditional) and some new emergent units (not traditional) are generally available. Actually, the industrial level of Portuguese factories of masonry materials is generally good, but there is no sufficient effort towards development, characterization and quality control of the products. The traditional material producers only commercialise the units and not all the components of masonry system. This leads to the

fact that usually the singular points of walls are solved on site by improvisation. The traditionally present masonry materials are:

- clay units, large horizontally perforated, used largely on enclosure and internal walls (group 3 according to EC6);
- clay units, solid or vertically perforated (facing bricks or not) used only in external walls (group 1 and 2 according to EC6);
- aggregate concrete units, dense or lightweight, used more in external walls (group 2 according to EC6);
- natural stone, which use is limited to localized regions, in outer leaf of cavity walls.

The most popular materials are the clay units, horizontally perforated, which represent more than 90% of the units used in walls.

The “new” masonry materials, not traditional, are:

- split dense aggregate concrete units;
- lightweight clay units, vertically perforated;
- autoclaved aerated concrete units.

These units, with the exception of split concrete blocks, are not currently produced now in Portugal.

Generally, these “news” products are well developed and studied, but their cost is higher than traditional ones. Furthermore, certain conservativeness exists that makes it difficult to accept new materials and solutions. The importance of these products in terms of market is residual.

Tables 1 and 2 show the range values of the significant characteristics of traditional materials.

b) Mortars

In Portugal, masonry mortars are usually made on site with Portland cement and sand. The use of lime, either hydrated or hydraulic, although frequent in the past, is not common at the moment.

The mixes are generally rich (1:3 or 1:4, cement:sand by volume). Usually Portland cement type II 32.5 is used. There is no masonry cement on the market. The use of admixtures to improve watertightness is frequent on facing masonry. The use of factory-made mortar (usually dry mortar, supplied into silos) is increasingly fast, mainly in works made by medium and large companies.

c) Wall ties and reinforcements

The use of wall ties and reinforcements is not current in masonry walls. There is no national production of this kind of materials for masonry; in a few cases, imported materials are used. Very often, builders improvise wall ties on site with galvanized wire.

The ties in cavity walls are in some cases specified by the designer (generally the architect), but on site they are not placed. Sometimes only some wires of dubious effectiveness are placed. The use of rigid boards of thermal insulation in cavity walls increases the difficulty associated with the correct placement of ties, fig. 8.



Figure 8: Examples of some ties and anchors used in Portugal

In lintels, generally some bars are included in the mortar joint. The use of prefabricated reinforced concrete lintels is frequent, in particular for the inclusion of the roller blind. As the Portuguese masonry walls are generally of simple infilling, the masonry attachment to the structure should be improved by anchors, which are only used in a few cases, fig.8.

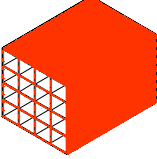
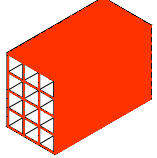
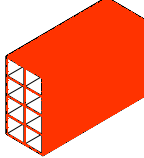
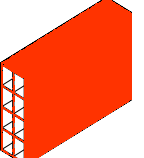
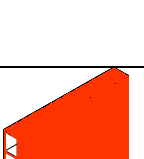
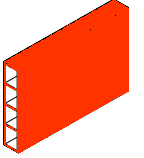
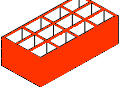
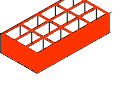
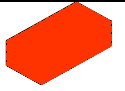
3.2. Thermal insulation

Although the Portuguese climate is moderate and the thermal code requirements [8] are not very severe (U value for walls in the coldest region $\leq 0.95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{C})$), the awareness of the need for thermal comfort for walls and buildings in winter and summer is a reality today, leading to the generalized use of thermal insulation.

In most common cavity walls, a thermal insulation is provided by filling totally or partially the space between the leaves. In single leaf walls, an external insulation is applied between the finishes and the body of the wall. In some cases, the use of units with improved thermal behavior makes it possible to fulfil largely the thermal code requirements without thermal insulation products. The most popular thermal insulation products, fig.9, are:

- expanded or extruded polystyrenes in boards;
- polyurethane foam.

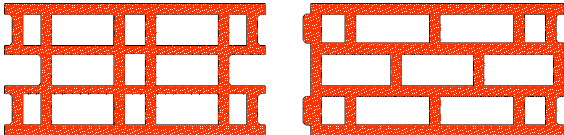
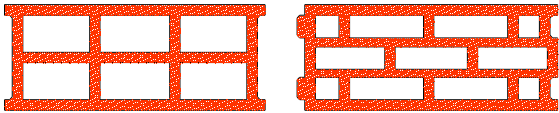
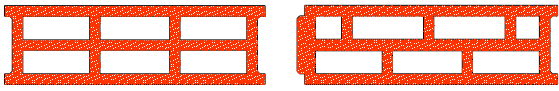



Table 1 – Clay units characteristics [9, 10, 11]

	Dimensions and shapes (length x height x width) (cm)	Weight approx. (kg)	Volume of holes (%)	Compressive strength ⁽²⁾ (MPa)
Horizontally perforated	 30 x20 x22 ⁽¹⁾	7-11	55-70	1.9-3.9
	 30 x20 x15 ⁽¹⁾	5-7	50-65	2.5-4.9
	 30 x20 x11 ⁽¹⁾	4-6	50-65	2.8-5.2
	 30 x 20 x 9	3.5-5.5	40-60	3.0-5.7
	 30 x 20 x 7 ⁽¹⁾	3-5	40-60	3.7-7.0
	 30 x20 x4	2-3	40-50	6.0-7.0
Vertically perforated	 22 x11 x7 ⁽¹⁾	1.5-2.5	25-40	8.0-9.5
	 22 x11 x5	1.2-1.7	25-40	8.0-9.5
Solid	 22 x11 x7 ⁽¹⁾	2.5-3.5	-	17.0-48.0

⁽¹⁾ Sizes according to Portuguese standards

⁽²⁾ Expressed in terms of gross area of the specimens, not normalized by shape factors

Table 2 – Concrete blocks most important characteristics [9, 11]

Dimensions and shape (length x height x width) (cm)	Weight approx. (kg)	Volume holes (%)	of	Compressive strength ⁽¹⁾ (MPa)
(50 or 40) x 20 x30	20-29	45-65		3.5-4.5
	20-25	45-65		3.0-4.5
(50 or 40) x 20 x25				
(50 or 40) x 20 x20	15-22	40-50		3.0-4.5
				
(50 or 40) x 20 x15	12-18	40-50		4-5
				
(50 or 40) x 20 x12	12-15	40-50		4-5
				
(50 or 40) x 20 x10	10-13	30-50		4-5
(50 or 40) x 20 x8	8-12	30-50		4-6
				
(50 or 40) x 20 x5	8-10	-		6-8
				

⁽¹⁾ Expressed in terms of gross area of the specimens, not normalized by shape factors

extruded polystyrene



polyurethane foam



Figure 9: Example of thermal insulation products

3.3. Damp proof course

Damp proof course near the soil and flashing are generally made with rich hydrofuge mortar reinforced with fibre glass mesh. The use of metallic, plastic, rubber or asphaltic sheets is not frequent.

3.4. Wall finishes

Usually in Portugal the majority of walls were formerly covered with traditional renders made of inorganic binders, aggregates and sometimes admixtures for improving water impermeability. These renders were normally painted, fig. 10, but in the last few years alternative solutions have had significant expression. The problem of maintenance costs, the need to improve wall resistance to rain penetration and the difficulty of hiring skilled workers to make renders, have led to the development of alternative solutions:

- ceramic and thin stone tiles bedded on the wall render with cement based adhesive is perhaps today, one of the most frequent solutions; these elements, mainly the ceramic tiles, are available in many different sizes and aspects; some of them have the aspect of ceramic facing bricks, fig. 11;
- factory-made rendering materials with pigments, coloured sand or small pieces of stone, applied in a single coat (one coat render), fig. 12;
- cavity walls with facing units, fig. 13;
- external thermal insulation composite systems (ETICS) bonded onto the wall, with a rendering consisting of one or more layers (site applied), one of which is reinforced with fibre glass mesh, fig. 14.

Other different wall finishes are used but with low expression in residential buildings.

In execution



Painted



Figure 10: Example of traditional render

Ceramic tiles



Granite stone tiles



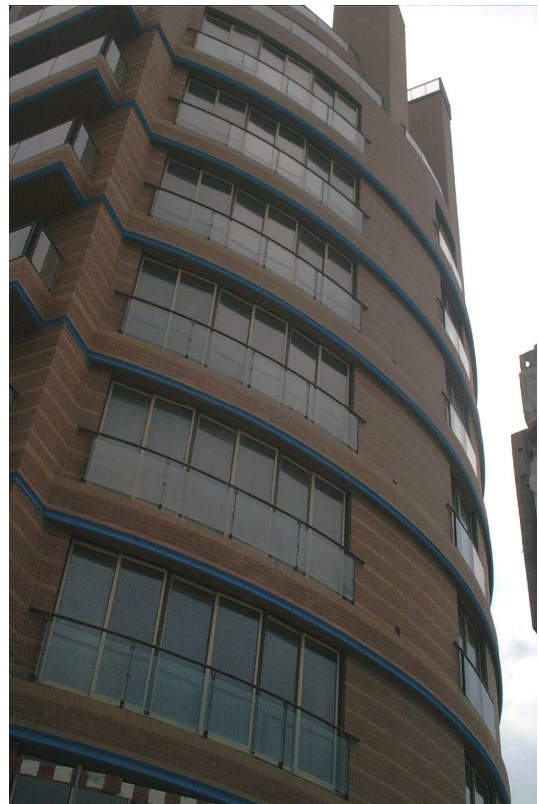
Figure 11: Example of tiles



Figure 12: Example of one factory made coat render
Clay units in execution



Clay units finished



Split dense aggregate concrete units



Figure13: Example of cavity facing unit wall

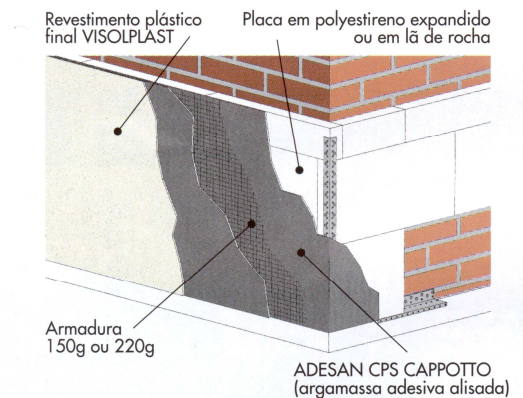
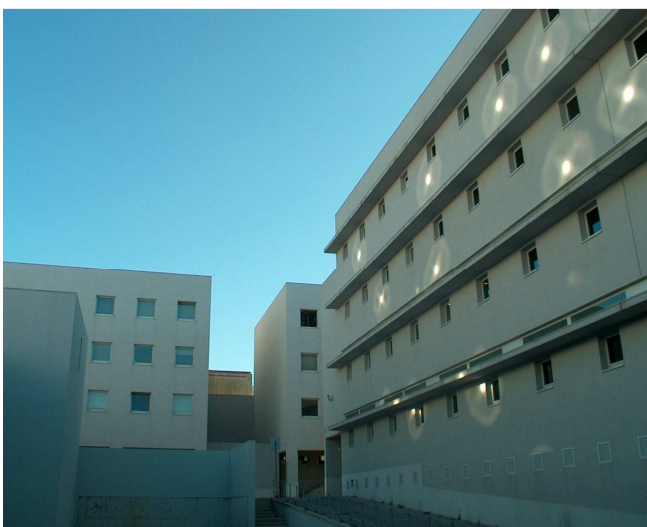


Figure 14: Example of external thermal insulation composite system (ETICS)

3.5. Most common masonry building enclosures

In Portugal, building regulations, concerning energy economy and heat retention [8], protection against noise [12] and safety in case of fire [13] dictate, to some extent, the solutions used for wall enclosures. At the moment, the most popular masonry building enclosures, fig. 15, of simple infilling, are:

- Cavity walls made with clay units of high horizontal perforation, of which the thickest leaf usually does not exceed 0.15 m width, with thermal insulation in the cavity (generally expanded extruded polystyrene boards). These walls are generally poorly cared concerning wall ties, damp proof barrier, insulation fixing, thermal bridges and structural connections. The finishes are various as referred on 3.4.
- Cavity walls with outer leaf made of facing clay or concrete units and inner leaf made of clay units of high horizontal perforation, generally with 0.11 or 0.15 m width. The cavity face of the inner leaf has improved impermeability using a cementitious or synthetic painting, in some cases with a reinforcing mesh. The thermal insulation is made of expanded extruded polystyrene boards or polyurethane foams. The wall ties and thermal bridge protection, when present, are not too cared. Some weepholes are generally foreseen.
- The use of concrete blocks occurs in a few small constructions sometimes with structural contribution in confined masonry solution. In this case, cavity walls with the inner leaf of clay brick are used.

The use of single leaf wall solution has been growing but is not yet frequent. Lightweight aggregate concrete, autoclaved concrete and lightweight clay blocks are also used. These units, with the exception of autoclaved aerated concrete blocks, are vertically perforated and their thickness is usually between 0.25 and 0.30 m.

In these last solutions, if the width of the unit is higher than 0.15 m, normally, the units will have interlocking features (tongue and groove system), and consequently allowing that the vertical joints are not filled with mortar.

3.6. Existing problems

a) Design and construction

The design of non-structural walls is entrusted to architects, but generally there is not an adequate specification of masonry works concerning the type of materials, characteristics, details of execution and singular points. As the buildings structures and installations are correlated with masonry works, there is a special need for compatibilization that normally is not correctly done.

Furthermore the designer has some difficulties in specifying the construction requirements because no code of practice exists for these works. So, during the construction process, it is usual to define on site the effective quality of masonry walls. With a good design, if the contractor does a correct preparation of the work and the workers are skilled, the masonry has quality. However, without harmonized mechanisms, it is very difficult to control and force the contractor to do a good work.

Typical housing building structures and cavity clay unit walls



Box for roller blind

Lintel



Single leaf wall in lightweight concrete blocks



Figure 15: Examples of current Portuguese masonry buildings enclosures

b) Special difficulties

The main problems detected in Portuguese construction, which are at the origin of an important number of cases of pathology, fig.16, are:

- Reinforced concrete slabs excessively deformable, producing mechanical actions and cracking of masonry;
- Connections between walls (including renders) and structure not correctly solved; the problems are aggravated with some incorrect practices to minimize thermal bridges;
- Cavity walls mechanically weak and incorrectly constructed considering cavity cleaning, installation of ties, placement of weepholes, position and fixing of thermal insulation;
- Singular points around openings not studied and generally solved on site with too much improvisation;
- Finishes, renders and tiles chosen without a technical evaluation and applied too fast;
- Architectural solutions for the façades not taking in account the incidence of rainfall, the workmanship quality and the need for durability.





Figure 16: Examples of defects and masonry wall enclosure pathology

4. EVOLUTION TRENDS

4.1. Solution of existing problems

Masonry walls are one of the most important construction elements present in buildings, particularly exterior walls that separate the internal and external environments, and they must contribute adequately to the functions of building envelopes.

Unfortunately, we know that masonry gives an important contribution to building pathology, as is shown in a statistic of another country [14] that should not be very different from the Portuguese situation, fig.17

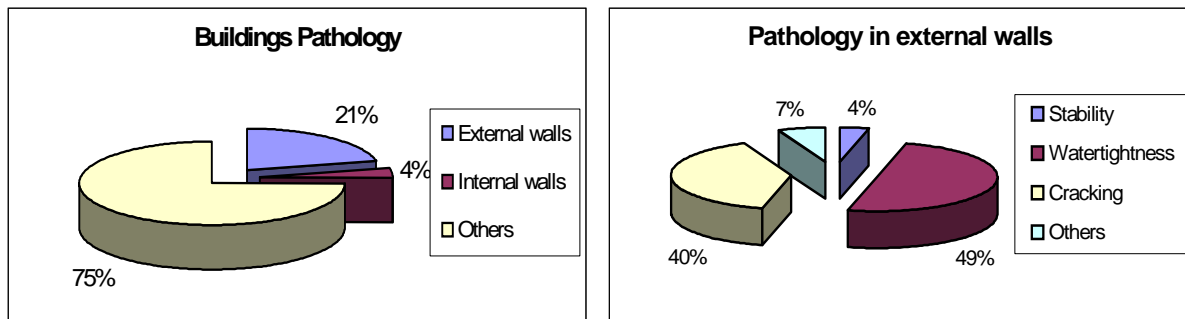


Figure 17: Building pathology according to a statistic study in France [14]

Usually, the design of non-structural walls and the responsibility for ensuring the environmental adequacy of buildings has been entrusted to architects, including coordination and integration of the several aspects, but today this work requires the cooperation of many specialists, particularly as clients demand the construction “products” to have similar guaranties to the generality of other products available on the market. In Portugal, this mentality is beginning to change on the part of owners, designers and contractors, the relenting of new building constructions and a significant emphasis on quality aspects should be important contributions to these changes.

In order to achieve external walls able to fulfil the requirements of building envelopes for the climatic conditions of the building place, the mastering of different areas of knowledge and their interactions are very important:

- Building sciences – rain tightness, condensation and thermal performances, acoustic performances and fire safety;
- Structural safety of loadbearing or infilling masonry;
- Masonry materials – different units, mortars, reinforcements, ancillary components and combined behaviour;
- Construction technologies – workmanship and construction practices.

The conscience of the need of a complete masonry design is indispensable, including details solving singular points of the walls, considering masonry materials characteristics and construction practices.

4.2. Trends regarding labour, quality, durability, productivity, etc.

Masonry walls and their various components should be designed considering their overall cost, including construction, operation and maintenance. The effort to rationalize masonry construction and laying with productivity profit and being less painful to workers is indispensable. The success of these efforts requires a deep knowledge of masonry behaviour. The main evolutions in these domains are:

- development of larger units, with good thermal insulation that could be used in some countries in single leaf walls without complementary thermal insulation, as alternative to cavity walls;
- Units with tongue and groove joints to help the laying;
- units with shapes that facilitate prehension and handling;
- use of thin mortar joints if the tolerances of the units are compatible.

The workmanship characteristics available for masonry works are changing. The availability of skilled workers subjected to long training periods has reduced a lot, being replaced by unskilled workers. Furthermore the quick rhythms of construction existing nowadays, and some current architectural solutions make the buildings more vulnerable to workmanship quality.

These particularities increase the importance of a good detailing of the works and of the adoption of simple solutions, less subject to workmanship. These concerns are extensible to mortars used in masonry works and to the finishes.

The growing concern for environmental aspects is pressing the construction activity towards sustainability represented by the adoption of more natural and less aggressive solutions. Building materials used in the construction industry should not be harmful for the environment and for the human being. Durable or reusable building materials that minimize the use of natural resources should be preferred in order to minimize pollution. The investment in the acquisition of this type of materials will be largely compensated by its longer life and less waste in the long run.

4.3. New developments

The choice for a certain masonry solution and unit depends not only on its functional performance, but also on the analysis of other aspects like equipment, stock facilities, cost of work and necessary workmanship qualification.

The arrival of new building techniques and technology implies the acquisition of new work concepts. In Portugal, the transitory character of employment in construction and the lack of basic and continuous training are a barrier to the desired construction quality. In this sense, it is advantageous at this moment, to use simpler building techniques.

The use of better quality clay and concrete units with accurate dimensions and special shape units for masonry singular points results in a better and less heavy work, offering better conditions to workmanship and better performances to building companies.

The research about the geometry and the material used in the production of masonry units and the optimising of mechanical and thermal properties are important. The mixing of granular materials in clay that vaporises during furnace cooking and the use of lightweight concrete in masonry units makes it possible to obtain lighter and more insulating masonry units with acceptable mechanical resistance. The use of those elements in Portugal is just beginning and some investment from the industry is being done in this field.

Single-leaf masonry external building walls, that in part dispense skilled workmanship inherent to cavity walls, can be one of these techniques with minor probability of occurrence of construction pathologies. From an economic analysis into several kinds of external building walls we have reached to the conclusion that, for various types of coefficient of heat transmission, the solutions of single leaf walls can be cheaper than the solutions of cavity walls [15].

5. Significant references and documentation

- [1] Afonso et al. – “O Sector da Construção. Diagnóstico e eixos de intervenção”. Observatório das PME's. IAPMEI, 1998
- [2] Instituto Nacional de Estatística (INE) – “Estatísticas da Construção”, 1997 Lisboa, INE
- [3] Sousa, H. et al. – “Rain watertightness of single leaf and cavity walls”. Proceedings of International Symposium on Moisture Problems in Building Walls. Edited by Vasco Freitas e Vítor Abrantes. Porto, 1995
- [4] Santos, Fernando – “Alvenarias em Edifícios. Inventariação das Soluções Utilizadas e Proposta de um Novo Sistema”. Tese de Mestrado. Porto, FEUP, 1998
- [5] STATEC – “Service Central de la Statistique et des Études Économiques”. Luxembourg
- [6] Instituto Nazionale di Statistica – “Statistiche dell'Attività Edilizia”. Roma
- [7] Danish Building Reserch Institute
- [8] “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios”. Decreto – Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro
- [9] LNEC – “Inquérito à Produção Nacional de Materiais para Alvenaria”. Lisboa, LNEC, 1986
- [10] Rei, João – “Edifícios de Pequeno Porte em Alvenaria Resistente. Viabilidade Técnico-económica”. Tese de Mestrado. Porto, FEUP, 1999
- [11] Serra e Sousa, A.; Silva, R. et al. – “Manual de Alvenaria de Tijolo”. Coimbra, APICER, CTCV, FCTUC., 2000
- [12] “Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios”. Decreto – Lei n.º 129/2002, de 11 de Maio
- [13] “Regulamento de Segurança Contra Incêndio em Edifícios de Habitação”. Decreto – Lei n.º 64/90 de 21 de Fevereiro
- [14] Bureau Securitas – “Étude statistique de 12200 cas de sinistres survenus en 1982”. Annales de l'ITBTP. N° 426. Séries Questions Generales 162. Paris, Juillet-Aôut 1984
- [15] Alves, Sérgio – “Paredes Exteriores de Edifícios em Pano Simples. Fundamentos, Desempenho e Metodologia de Análise”. Tese de Mestrado. Porto, FEUP, 2001

HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

CAPÍTULO III

CONCEITOS E TERMINOLOGIA RELATIVOS A

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

FEUP 2002

PRELIMINAR (VERSÃO 2)

CONCEITOS E TERMINOLOGIA RELATIVOS A CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

ÍNDICE

3. CONCEITOS E TERMINOLOGIA RELATIVOS A CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA.....	4
3.1 TERMINOLOGIA	4
3.1.1.Alvenarias.....	4
3.1.2.Unidades / Elementos	4
3.1.3.Assentamento	5
3.1.4.Dimensões	5
3.1.5.Furação	6
3.1.6. Argamassas	6
3.1.7. Betão de enchimento	6
3.1.8. Aço	7
3.1.9. Componentes auxiliares.....	7
3.1.10. Tipos de paredes.....	7

3. CONCEITOS E TERMINOLOGIA RELATIVOS A CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

3.1 TERMINOLOGIA

3.1.1. ALVENARIAS

- Alvenaria – associação de elementos naturais ou artificiais, constituindo uma construção. Correntemente a ligação é assegurada por uma argamassa. Os elementos aglutinados naturais são pedras irregulares ou regulares, os artificiais podem ser cerâmicos, de betão ou outros. A alvenaria pode ser reforçada com armaduras.
- Alvenaria, aspecto final – distinguem-se alvenarias de face à vista e alvenarias correntes, rebocadas.
- Alvenaria localização – distinguem-se as alvenarias interiores, de compartimentação, das exteriores que fazem parte da envolvente.
- Alvenaria, função – distinguem-se as alvenarias com função resistente para cargas verticais e horizontais, podendo ser ou não armadas, das alvenarias de simples preenchimento sem função estrutural
(Nota: Todas as paredes desempenham funções resistentes inerentes à sua auto-estabilidade e a diversas acções a que estão sujeitas. Consideram-se no entanto como resistentes as paredes que, dadas as suas características geométricas e mecânicas, contribuem de forma decisiva para a estabilidade do edifício quando sujeitas à acção de forças verticais, como de forças horizontais de natureza aleatória (vento e sismos). As paredes que resistem predominantemente a acções horizontais designam-se por paredes de contraventamento).
- Alvenaria confinada – alvenaria em que os panos de parede são limitados regularmente por montantes e cintas em betão pouco armado, estrategicamente localizados, visando melhorar o comportamento da alvenaria sobretudo às acções horizontais, não sendo em geral a sua resistência considerada no cálculo.
- Alvenaria armada – alvenaria com função resistente de comportamento melhorado pela introdução de armaduras e betão, segundo várias disposições, cuja resistência é considerada no cálculo.

3.1.2. UNIDADES / ELEMENTOS

- Unidade ou elemento de alvenaria (acepção EC6) - elemento produzido para ser usado na construção de alvenarias.
- Tijolo (acepção NP-80) - produto obtido por secagem e cozedura em forno duma pasta argilosa previamente moldada por extrusão à feira, prensagem ou conjuntamente os dois processos, de fabricação industrial e possuindo características regulares e controladas, assente com juntas de argamassa e servindo para construir paredes e divisórias.
- Tijolo (acepção adoptada) - pequeno elemento para alvenaria¹, geralmente de forma paralelepípedica, de fabricação industrial, possuindo características regulares, assente com juntas de argamassa e servindo para construir paredes e divisórias.
- Bloco de betão (acepção corrente) - produto em betão homogéneo, não armado, de inertes correntes ou leves, forma geralmente paralelepípedica, de fabricação industrial, possuindo características regulares e controladas, assente com juntas de argamassa, eventualmente secas, servindo para construir paredes e divisórias.

¹ Não há uniformidade a nível internacional quanto ao volume que faz a transição do tijolo para o bloco.

Para evitar esta indefinição adopta-se cada vez mais internacionalmente a designação de elemento ou unidade.

- Bloco (acepção adoptada) - elemento para alvenaria, geralmente de forma paralelepípedica, de dimensões superiores às do tijolo¹, de fabricação industrial, possuindo características regulares, assente com juntas de argamassa, eventualmente secas, servindo para construir paredes e divisórias.

3.1.3. ASSENTAMENTO

- Junta – espaço entre dois elementos adjacentes, preenchido ou não por material.
- Junta contínua – junta em argamassa, estendendo-se de forma contínua duma face à outra.
- Junta descontínua – junta em argamassa apresentando um ou mais vazios paralelos aos paramentos, existindo em todo o comprimento do elemento (junta horizontal), ou em toda a altura (junta vertical).
- Face de apoio – face inferior do elemento na posição em obra, apoiando-se na argamassa inferior.
- Fase de assentamento – face superior do elemento na posição em obra, recebendo a camada de argamassa que irá constituir a junta horizontal superior.
- Secção de apoio – superfície comum das faces de apoio e assentamento do elemento, sobrepostas por juntas de argamassa capazes de transmitirem as cargas.
- Refechamento da junta – processo de enchimento e acabamento por raspagem de uma junta de argamassa.
- Junta corrente – espaço entre duas unidades de alvenaria adjacentes cuja espessura se situa próximo dos 10 mm e que permite um preenchimento adequado com as argamassas correntes (pronta, pré-doseada ou feita em obra), compatível com as tolerâncias dimensionais correntes das unidades.
- Junta delgada – espaço entre duas unidades de alvenaria cuja espessura é reduzida, não ultrapassando 3 mm, preenchida com argamassa cola e que exige unidades de rigor dimensional elevado.
- Junta de encaixe – junta entre dois elementos adjacentes cujo posicionamento é facilitado pela existência de saliências e reentrâncias.
- Acabamento de junta – processo de acabamento de uma junta de argamassa à medida que prossegue a execução da alvenaria.

3.1.4. DIMENSÕES

- Dimensões de coordenação dimensional modular – dimensão entre linhas ou planos modulares estabelecidos de forma coordenada, para uso comum e simultâneo no dimensionamento de elementos e edifícios por eles constituídos. No caso de elementos para alvenaria são as do volume de coordenação modular do elemento na parede acabada, resultam da dimensão do elemento somada com as duas meias juntas.
- Dimensão de fabrico ou nominal – dimensão especificada para o fabrico dum elemento. Deve variar entre os limites controlados pela tolerância de fabrico.
- Dimensão efectiva – dimensão de fabrico seleccionada, é geralmente a média das dimensões máxima e mínima.
- Dimensão de catálogo – dimensão utilizada na linguagem corrente, designação comercial do elemento e que corresponde à ordem de grandeza obtida por aproximação ou arredondamento da dimensão de fabrico.
- Dimensão máxima – maior dimensão permitida para a dimensão efectiva dum elemento.
- Dimensão mínima – menor dimensão permitida para a dimensão efectiva dum elemento. Corresponde à dimensão máxima deduzida das tolerâncias de fabrico.
- Tolerância de fabrico – diferença entre as dimensões máxima e mínima dum elemento. É a folga prevista para a falta de precisão no fabrico dum elemento.
- Volume efectivo aparente – volume resultante do produto das dimensões efectivas exteriores.

- Secção bruta – superfície obtida do produto das duas dimensões efectivas comprimento e espessura, medidas numa mesma secção horizontal.
- Secção efectiva – superfície obtida numa secção bruta descontados os vazios. Na aceção corrente refere-se a secção mínima susceptível de ser obtida no elemento.

3.1.5. FURAÇÃO

- Orifícios atravessantes – vazios, normalmente associados à prensagem ou extrusão, que atravessam todo o elemento segundo a direcção horizontal ou vertical.
- Furo ou orifícios profundos não atravessantes – vazios, normalmente associados à prensagem, atravessando grande parte do elemento na direcção horizontal ou vertical e que são limitados por uma parede pouco espessa.
- Depressão ou orifícios de profundidade limitada – cavidades de pequena profundidade, normalmente horizontais e cuja influência no enfraquecimento do elemento se considera negligenciável.
- Percentagem de furação – razão entre a secção bruta deduzida da secção efectiva e a secção bruta². Expressa a relação entre a superfície total dos orifícios atravessantes, ou profundos não atravessantes, e a secção total da face perpendicular aos orifícios limitada pelo seu contorno.
- Rebaixo – vazio formado no fabrico da unidade para alvenaria para possibilitar um melhor manuseio com uma ou ambas as mãos ou por máquina.
- Septo interior – material sólido entre os furos numa unidade de alvenaria.
- Septo exterior – material periférico entre um furo e uma face exterior de uma unidade de alvenaria.

3.1.6. ARGAMASSAS

- Argamassa – mistura de ligantes inorgânicos, inertes e água, por vezes com aditivos e adjuvantes.
- Argamassa convencional – argamassa corrente usada em juntas com uma espessura superior a 3 mm, utilizando apenas inertes correntes.
- Argamassa-cola – argamassa utilizada em juntas com uma espessura entre 1 e 3 mm.
- Argamassa leve – argamassa com massa volúmica aparente seca inferior a 1500 kg/m³.
- Argamassa calculada – argamassa calculada e produzida para satisfazer determinadas propriedades.
- Argamassa prescrita – argamassa produzida em determinadas proporções, cujas propriedades são previstas a partir das proporções dos constituintes.
- Argamassa-pronta – argamassa preparada em fábrica e fornecida à obra.
- Argamassa pré-doseada – argamassa em que os constituintes são preparados em fábrica e são fornecidos e misturados na obra nas proporções e condições indicadas pelo fabricante.
- Argamassa feita em obra – argamassa em que os constituintes primários são preparados e misturados na obra.

3.1.7. BETÃO DE ENCHIMENTO

- Betão de enchimento – betão de consistência e dimensão dos inertes adequados para preencher cavidades ou pequenos espaços nas alvenarias.

² A percentagem de furação é utilizada para classificar os elementos em maciços, perfurados e vazados, embora não existe coincidência entre a diversa normalização.

- Calda – mistura de cimento, areia e água com fluidez adequada ao preenchimento de pequenos vazios ou espaços na alvenaria.

3.1.8. AÇO

- Armaduras de aço – armaduras de aço para uso nas alvenarias.
- Armaduras para juntas de assentamento – armaduras de aço para colocação nas juntas de assentamento.
- Armaduras para pré-esforço – fios, varões ou cabos para pré-esforço, utilizados nas alvenarias.

3.1.9. COMPONENTES AUXILIARES

- Barreira de estanquidade – membranas, fiada de unidades de alvenaria ou outro material para evitar a passagem de água.
- Ligador de parede – dispositivo para fazer a ligação entre panos de alvenaria de uma parede dupla, ou entre um pano de alvenaria e outro elemento estrutural.
- Ligador de topo – dispositivo para efectuar a ligação de elementos de alvenaria a outros elementos adjacentes, tais como pavimentos e tectos.

3.1.10. TIPOS DE PAREDES

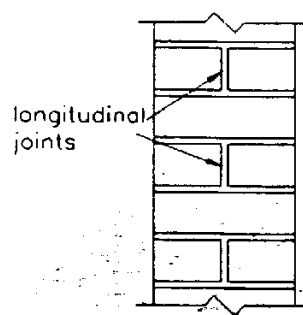
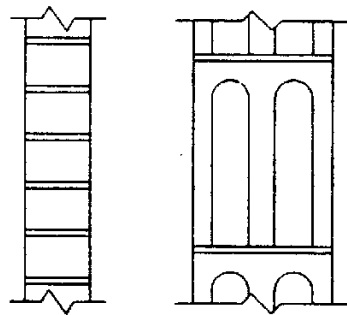
- Parede resistente – parede com área em planta superior a 0.04 m², ou uma unidade de alvenaria completa com área em planta superior a 0.04 m², essencialmente dimensionada para suportar uma determinada carga para além do seu peso próprio.
- Parede simples – parede de pano único ou sem juntas verticais contínuas no seu plano.
- Parede dupla – parede constituída por dois panos de parede paralelos, ligados entre si por ligadores de parede, ou armaduras para juntas de assentamento, com um ou ambos os panos a suportar a carga vertical. O espaço entre os dois panos pode ser deixado vazio ou preenchido parcial ou totalmente por materiais de isolamento térmico não resistentes.
- Parede composta – parede constituída por dois panos de parede paralelos, com a junta longitudinal entre eles (não excedendo os 25 mm) completamente preenchida com argamassa e firmemente amarrados entre si por ligadores, de forma a resistirem em conjunto sob as acções actuantes.
- Parede dupla preenchida – parede constituída por dois panos de parede paralelos, espaçados no mínimo de 50 mm, firmemente amarrados entre si por ligadores ou por armaduras para juntas de assentamento e com o espaço entre eles preenchido por betão de forma que resulte num comportamento conjunto sob as acções actuantes.
- Parede à vista – parede na qual as unidades de alvenaria face à vista estão ligadas às de tardo de forma que resulte num comportamento conjunto sob as acções actuantes.
- Parede com juntas descontínuas – parede na qual as unidades de alvenaria são assentes sobre duas faixas de argamassa, ao longo as arestas exteriores das faces de assentamento.
- Parede-cortina – parede utilizada como fachada à vista mas desligada da estrutura ou não contribuindo para a resistência da parede interior ou estrutura de suporte.
- Parede de contraventamento – parede para resistir a forças no seu plano.

- Parede contraforte – parede colocada perpendicularmente a uma outra para lhe conferir resistência a forças transversais ou para evitar a encurvadura dessa parede.
- Parede não resistente – parede não considerada para resistir às acções, de tal forma que a sua remoção não altera a capacidade resistente da estrutura.

3.2 FIGURAS

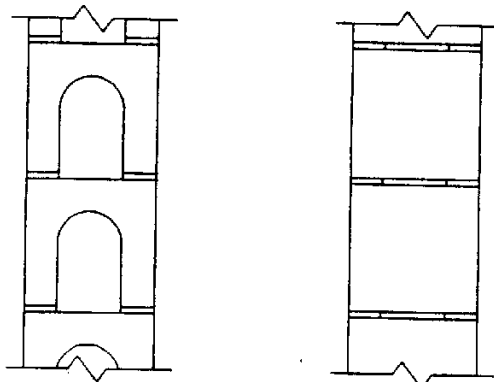
Parede com juntas longitudinais

Parede sem juntas longitudinais



a) Walls without longitudinal joints

b) Wall with longitudinal joint



Paredes com juntas descontinuas

Figure 5.5 : Example cross-sections through a shell bedded wall.

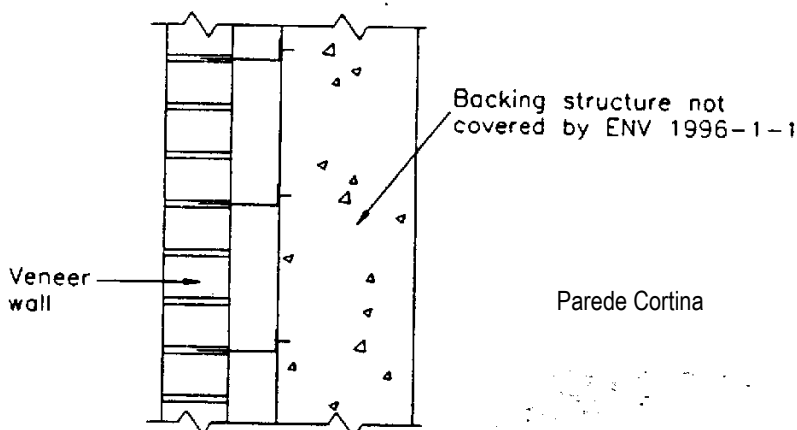


Figure 5.6 : Example cross-section through a veneer wall

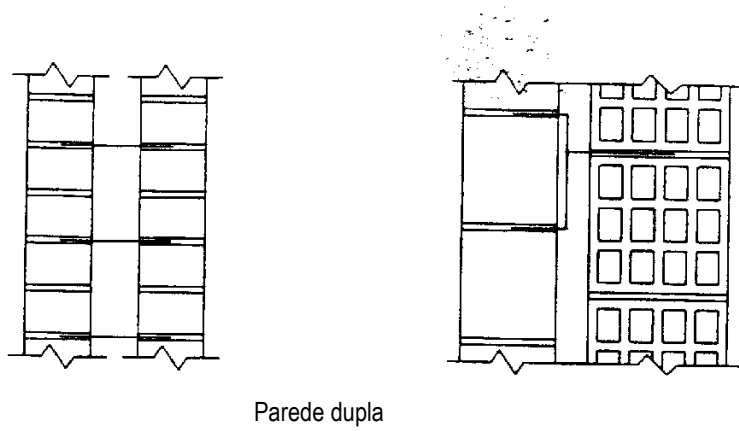


Figure 5.2 : Example cross-sections through a cavity wall.

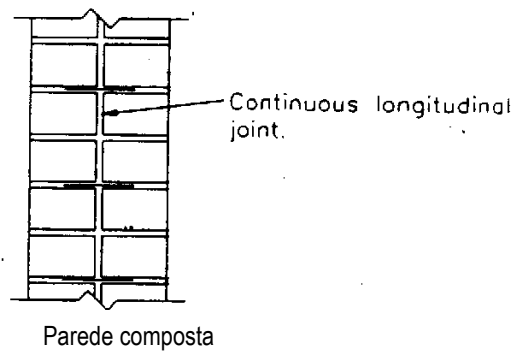


Figure 5.3 : Example cross-section through a double-leaf wall.

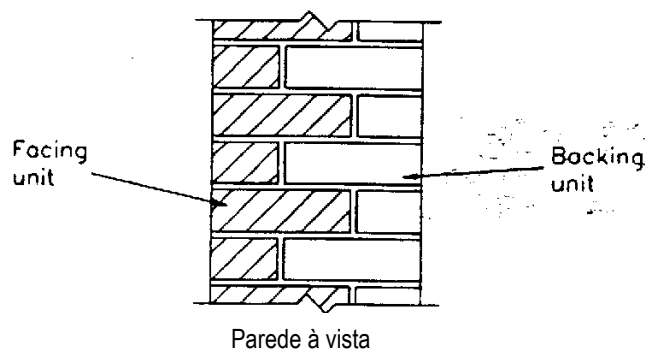


Figure 5.4 : Example cross-section through a faced wall.

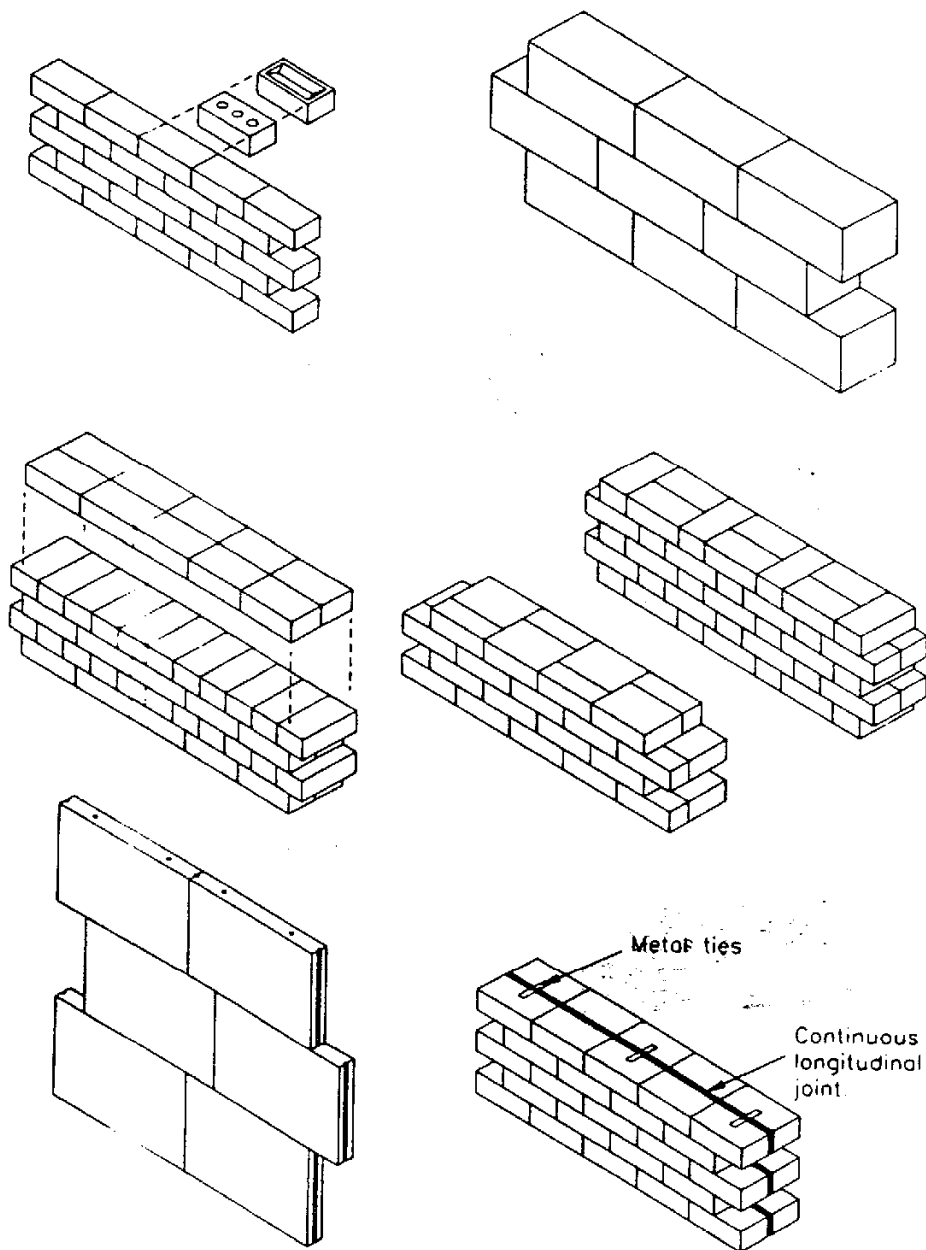


Figure 5.8 : Examples of bonding arrangements using Group 1 masonry units.

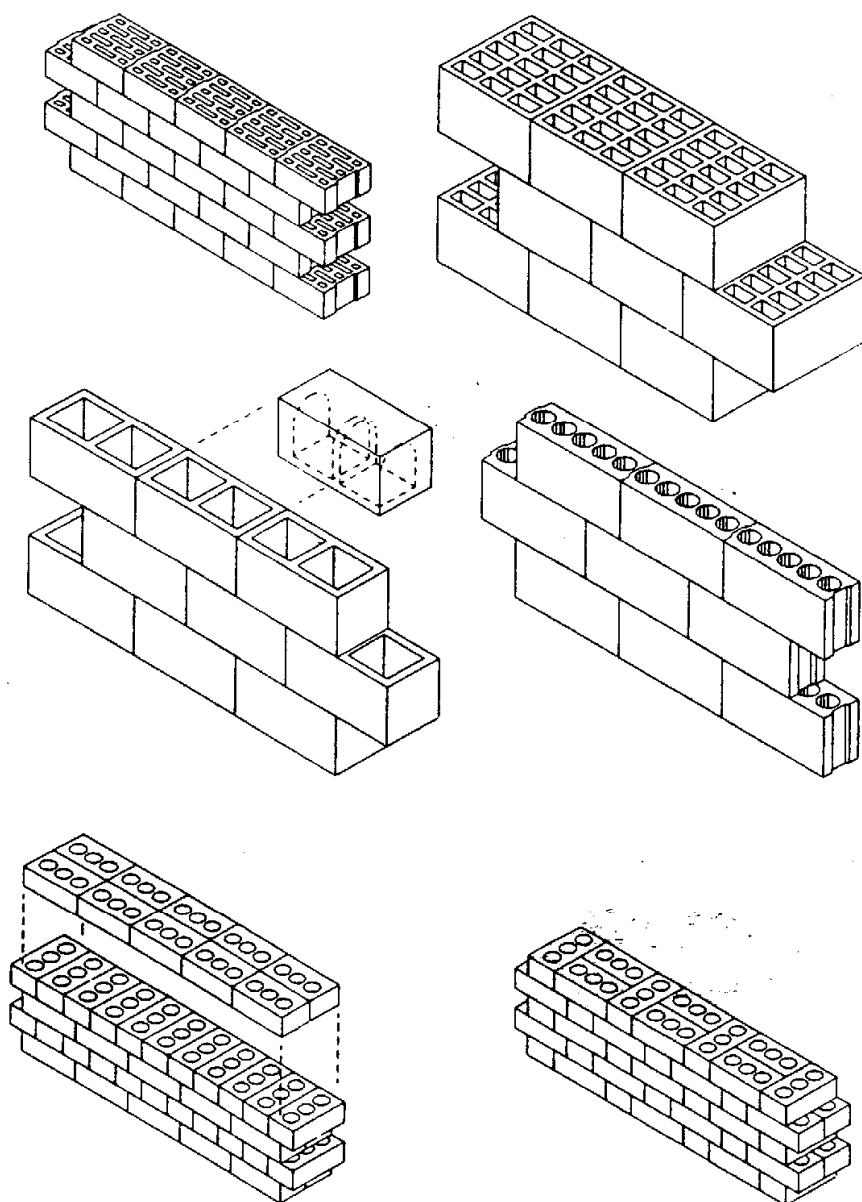


Figure 5.9 : Example of bonding arrangements using Group 2a and Group 2b masonry units.

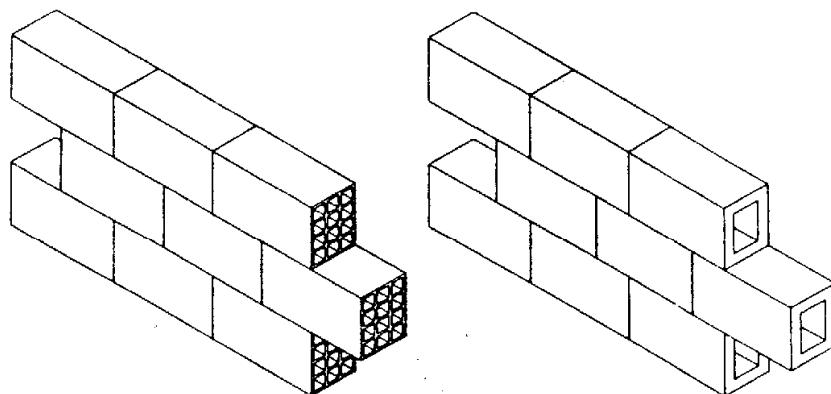


Figure 5.10 : Examples of bonding arrangements using Group 3 masonry units

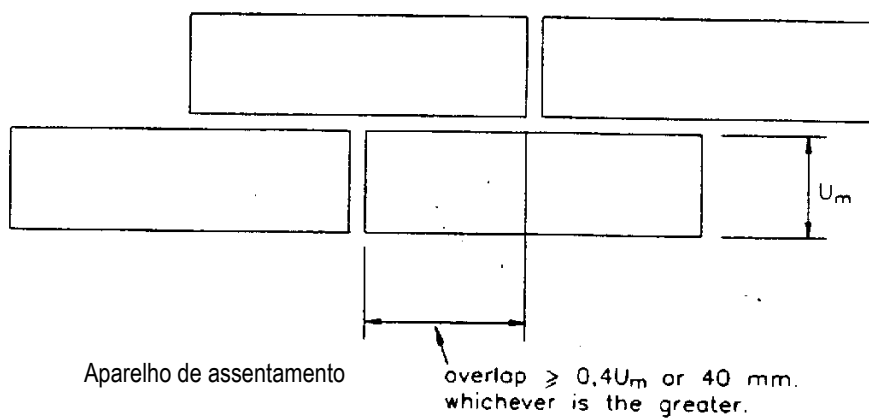


Figure 5.7 : Overlap of masonry units.

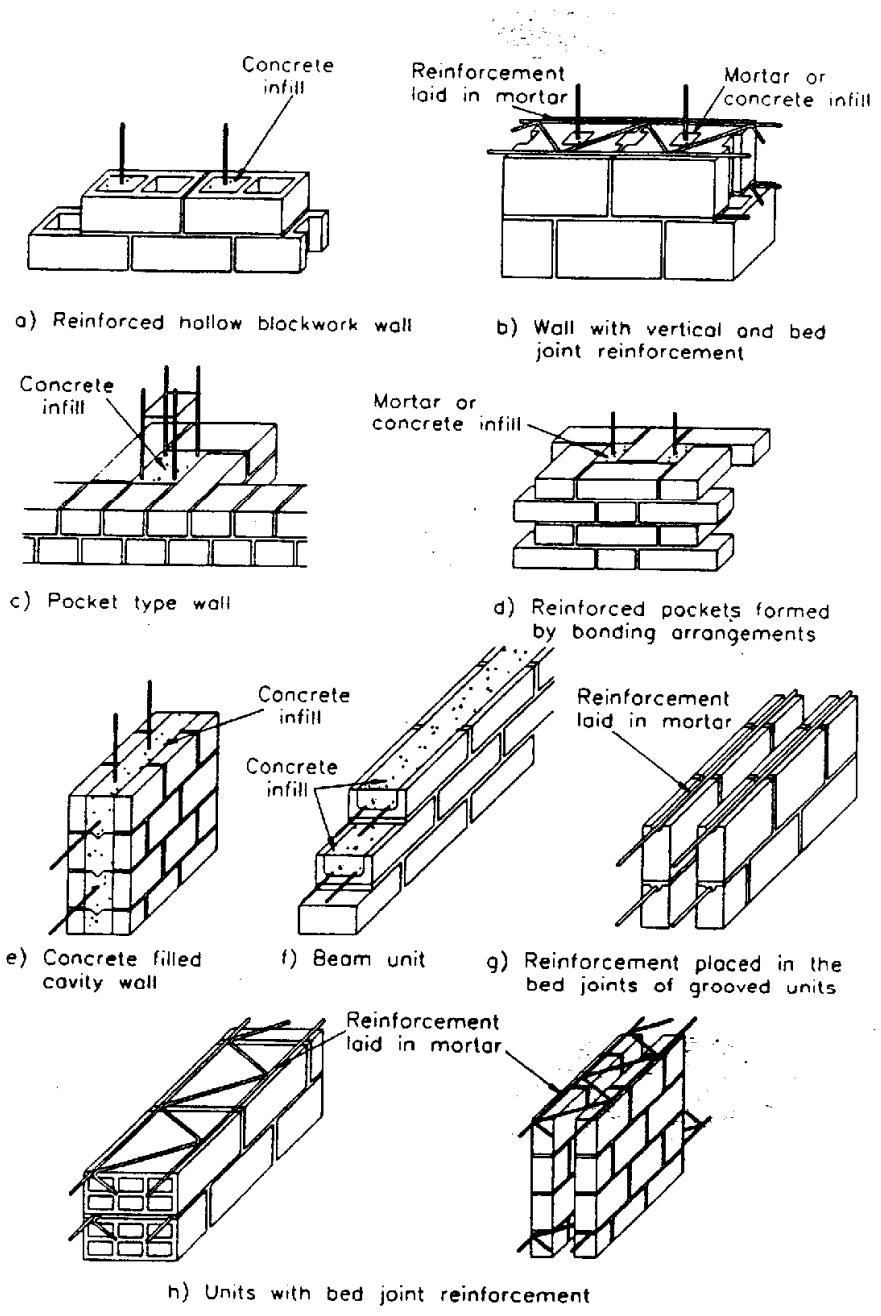


Figure 5.11 : Examples of the incorporation of reinforcement in masonry.

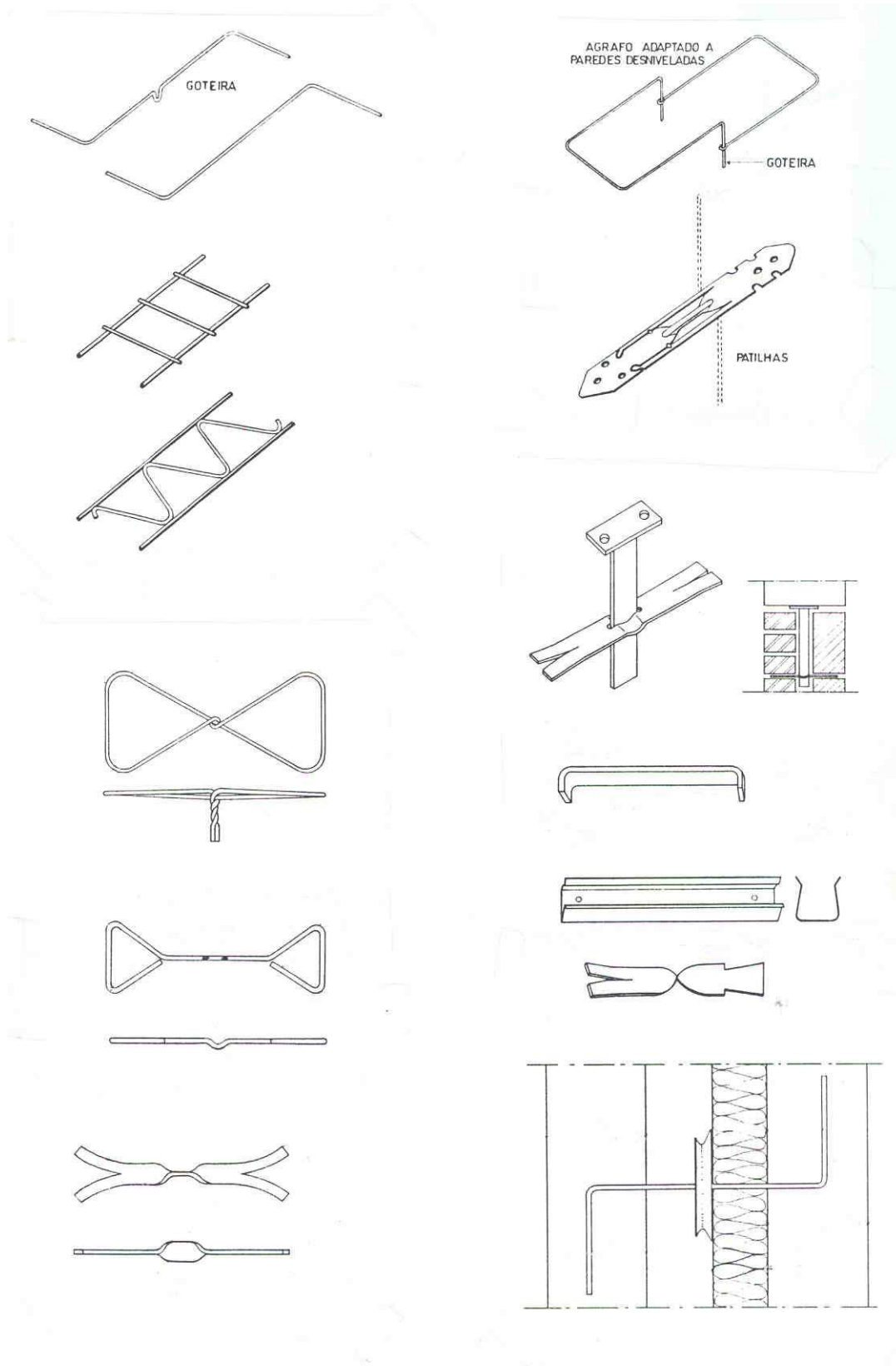
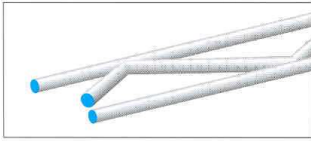


Fig. 2.4 - Diferentes tipos de agrafos

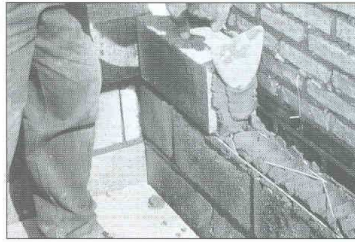
• 2 tipos

ferros redondos = RND

Ferros de secção circular para alvenarias de junta tradicional (tijolos e blocos de cimento).

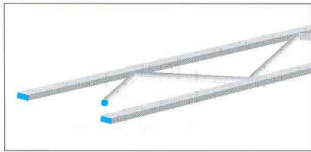


Comprimento = 3,05 m
 Diâmetro dos varões longitudinais = 4 ou 5 mm
 Pêso = aproximadamente 0,4 kg/m

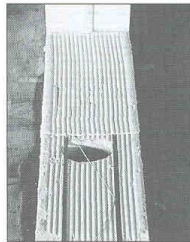


ferros espalmados = EFS

Ferros espalmados para alvenarias de junta delgada.



Comprimento = 3,05 m
 Diâmetro dos varões longitudinais = 8 x 1,5 mm
 Pêso = aproximadamente 0,3 kg/m



• 3 protecções anti-corrosão

Z = armaduras galvanizadas

Zinco Aço

Com camada mínima de zinco de 60 gr/m², para proteção da armadura contra a humidade.

E = armaduras galvanizadas e revestidas a Epoxy

Zinco Epoxy Aço

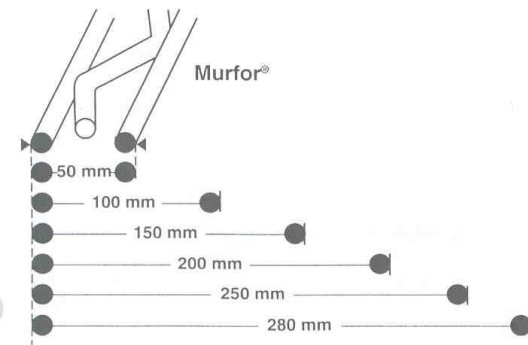
Camada de pintura Epoxy de espessura mínima de 100µ, sobre o ferro galvanizado, para alvenarias sujeitas a humidade elevada.

S = armaduras em aço inoxidável

Aço Inox

Fabricadas em aço inox 18/8 para utilização em ambientes muito agressivos.

• 6 medidas



HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA

CAPÍTULO IV

EXIGENCIAS DE COMPORTAMENTO

APLICÁVEIS ÀS ALVENARIAS

FEUP 2002

PRELIMINAR (VERSÃO 2)

EXIGENCIAS DE COMPORTAMENTO APLICÁVEIS ÀS ALVENARIAS

ÍNDICE

4. EXIGENCIAS DE COMPORTAMENTO APLICÁVEIS ÀS ALVENARIAS	4
4.1 PERSPECTIVA EXIGENCIAL DA CONSTRUÇÃO	4
4.2 IMPORTÂNCIA DAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS NA CONCEPÇÃO DAS PAREDES.....	9
4.3 PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DAS ALVENARIAS DA ENVOLVENTE	10
4.3.1 EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA.....	14
4.3.1.1 Estabilidade	14
4.3.1.2 Segurança ao fogo.....	15
4.3.2 ADAPTAÇÃO A MOVIMENTOS	18
4.3.2.1 Movimento das fundações (fig.4.3 e 4.4).....	18
4.3.2.2 Deformação estrutural (fig. 4.5)	18
4.3.2.3 Variações de temperatura (fig.4.6 a 4.10)	23
4.3.2.4 Variações de humidade e volume (fig. 4.11 e 4.12)	29
4.3.2.5 Movimentos por acção química	31
4.3.3 ESTANQUIDADE À ÁGUA DA CHUVA.....	31
4.3.4 DURABILIDADE.....	37
4.3.5 CONFORTO TERMOHIGROMÉTRICO	39
4.3.6 CONFORTO ACÚSTICO	39
4.3.7 ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO.....	40
4.3.8 ASSOCIADAS À EXECUÇÃO	40
4.3.9 ECONOMIA E PRODUTIVIDADE.....	41
4.4 PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DAS ALVENARIAS INTERIORES DE COMPARTIMENTAÇÃO	41
4.4.1 SEGURANÇA.....	42
4.4.2 ADAPTAÇÃO A MOVIMENTOS	44
4.4.3 ESTANQUIDADE À ÁGUA	44
4.4.4 CONFORTO TERMOHIGROMÉTRICO	45
4.4.5 CONFORTO ACÚSTICO	45
4.4.6 ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO.....	45
4.4.7 ASSOCIADAS À EXECUÇÃO	45
4.4.8 ECONOMIA E PRODUTIVIDADE.....	46

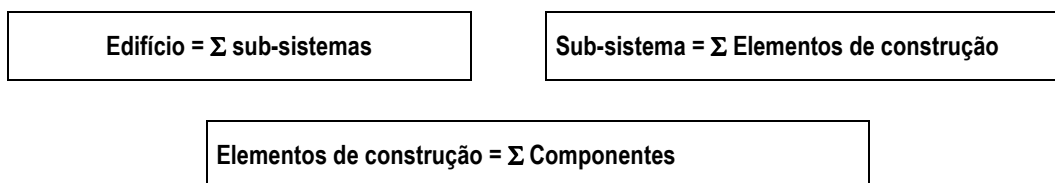
4. EXIGENCIAS DE COMPORTAMENTO APLICÁVEIS ÀS ALVENARIAS

4.1 PERSPECTIVA EXIGENCIAL DA CONSTRUÇÃO

Os edifícios podem ser entendidos como um sistema quando se consideram como a aglutinação de células complementares ou sub-sistemas. No Quadro 4.1 define-se a terminologia relativa a sistemas construtivos.

Os sub-sistemas são formados por elementos de construção. Cada componente pode desempenhar várias funções.

No Quadro 4.2 apresenta-se uma decomposição possível de um edifício



Quadro 4.1 – Terminologia relativa aos sistemas construtivos

Sub-sistema	- conjunto coerente de elementos de construção que representa uma parte do edifício com características próprias e que lhe conferem uma certa identidade
Elemento de construção	- elemento constituinte de um sub-sistema de construção aplicado no seu local de utilização e realizado a partir de materiais simples, componentes
Componente	- produto produzido em unidade industrial a partir de diversos materiais simples e que se destina a ser incorporado nos elementos de construção de acordo com processos de construção e montagem bem definidos
Produto de construção	- substância produzida industrialmente e destinada a ser incorporada dum modo permanente nas obras para, após ser trabalhada na sua forma ou ser adicionada a outros produtos ou materiais constituir elementos de construção (ex.: tijolo, ladrilho cerâmico, chapa de fibrocimento, tubo plástico)
Material de construção	- substância fornecida à obra sem forma directamente aplicável ou sem forma própria definida (ex.: cimento, gesso, pozolana, madeira, pedra, etc.)
Matéria-prima	- substância natural ainda não trabalhada a partir da qual, com eventual junção de outras matérias-primas ou materiais de fabrica um material ou produto de construção (ex.: gesso natural, madeira em tosco, etc.)

Os edifícios podem, de uma forma diferente ser analisados numa perspectiva funcional, sendo então decomposto em órgãos, por analogia com o corpo humano que contribuem para a satisfação de exigências funcionais- Quadro 4.3.

A subdivisão em órgãos é única enquanto relativamente à subdivisão em componentes se podem imaginar múltiplas subdivisões.

Quadro 4.2 – Exemplo de uma decomposição possível de um edifício em subsistemas [adaptado de Bezelga]

Código	Sub-sistema	Código	Elementos de construção (exemplo não exaustivo)
1	MOVIMENTO DE TERRAS		
2	FUNDAÇÕES	2.1	Fundações
		2.2	Pavimento Térreo
		2.3	Paredes enterradas
3	SUPERESTRUTURA	3.1	Pilares
		3.2	Vigas
		3.3	Paredes
		3.4	...
4	ALVENARIAS	4.1	Interiores
		4.2	Exteriores
		4.3	...
5	COBERTURA	5.1	Estrutura
		5.2	Revestimentos
6	VÃOS EXTERIORES		
7	VÃOS INTERIORES		
8	INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE ÁGUA		
9	INSTAL. E EQUIPAMENTO DE DRENAGEM		
10	INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E TELEFÓNICOS		
11	INSTAL. E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS		
12	INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS DE AVAC		
13	REVESTIMENTOS DE PAREDES, PAVIMENTOS E TECTOS		
14	ACABAMENTOS DE PAREDES E TECTOS		
15	DIVERSOS		

O progresso na indústria da construção caracteriza-se por uma evolução no sentido da industrialização e racionalização. Os edifícios devem dar satisfação às necessidades dos seus utentes, por isso é necessário identificar as exigências funcionais dos utilizadores, em seguida procurar a solução que responde melhor a essas exigências, tendo em conta os agentes actuantes sobre a construção – fig. 1.

As exigências dos utilizadores devem ser expressas se possível quantitativamente e independentemente dos materiais e processos de construção – fig. 2.

Quadro 4.3 – Órgãos principais e secundários num edifício[adaptado da norma ISO 6241]

Órgãos principais	Órgãos secundários
1. Estrutura	1.1 Fundação 1.2 Superestrutura
2. Envolvente exterior	2.1 Envolvente enterrada 2.2 Envolvente acima do solo
3. Compartimentações exteriores à envolvente	3.1 Compartimentações exteriores verticais 3.2 Compartimentações exteriores horizontais 3.3 Escadas exteriores
4. Compartimentações interiores à envolvente	4.1 Compartimentações interiores verticais 4.2 Compartimentações interiores horizontais
5. Instalações e equipamentos diversos	5.1 Águas e Saneamento 5.2 Ventilação, Aquecimento e Ar Condicionado 5.3 Distribuição de gás 5.4 Electricidade 5.5 Telecomunicações e som 5.6 Transporte mecânico e electromecânico 5.7 Transporte gravítico e pneumático 5.8 Segurança

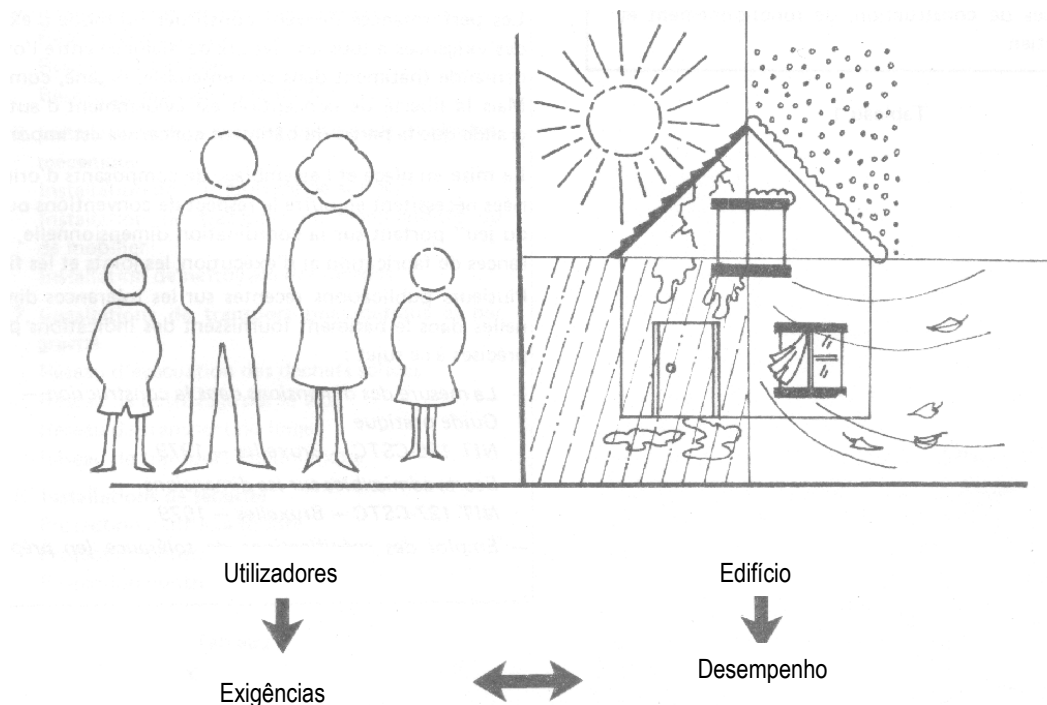
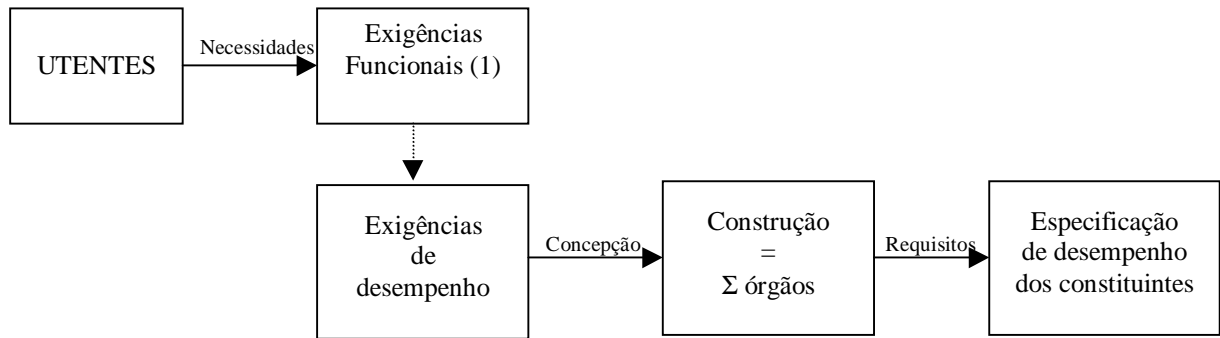


Fig. 1 – Relação entre exigências e desempenho



(1) A directiva produtos de construção introduz a noção de exigências essenciais

Fig. 2 – Relação entre exigências e especificações

Exigência de desempenho – Requisito que permite avaliar, qualitativa ou quantitativamente o comportamento do elemento de construção.

Especificação de desempenho – Forma de caracterizar a exigência. É necessário definir a exigência, a característica (grandeza que permite avaliar o comportamento) a forma como se avalia (ensaio, cálculo ou julgamento) e o valor especificado.

Sempre que possível na construção procura-se prever o desempenho da construção a partir do desempenho dos constituintes. Este método tem vantagem relativamente à medição na construção acabada. Estes métodos são simulações – cálculos, ensaios, etc – Quadros 4.3 e 4.4. No Quadro 4.5 referem-se os agentes que influenciam a construção.

Exigências essenciais da Directiva Produtos de Construção [D.L. nº 113/93 de 10/4 e Portaria 566/93 02/06] que devem ser respeitadas por todas as construções:

- 1 – Resistência mecânica e estabilidade
- 2 – Segurança contra incêndio
- 3 – Higiene, saúde e ambiente
- 4 – Segurança na utilização
- 5 – Protecção contra o ruído
- 6 – Economia de energia e isolamento térmico

Quadro 4.3 – Formas de previsão do desempenho

Realidade	Simulação
Produtos	
Produto Real	Provede
Produtos ligados	Produto isolado
Realização Real	Execução ideal
Agentes	
Combinações Reais	Agentes isolados
Intensidade Real	Intensidades majoradas
Duração real	Durações reduzidas
Frequência real	Frequência acelerada
Métodos de determinação	
Fenómeno Real	Modelo simplificado
Medição Real	Resultado a interpretar

Quadro 4.4 - Exigências de desempenho da construção

Código	Exigência	Descrição
1	Estabilidade	Estabilidade e resistência estrutural
2	Segurança ao fogo	Limitação do risco de oclusão e propagação de incêndio e segurança dos ocupantes
3	Segurança na utilização	Segurança dos ocupantes e segurança à intrusão
4	Estanquidade	Estanquidade aos gases, líquidos e sólidos
5	Conforto higrotérmico	Temperatura e humidade do ar e das paredes
6	Ambiência atmosférica	Pureza do ar e limitação dos odores
7	Conforto acústico	Isolamento acústico e níveis de ruído
8	Conforto visual	Iluminação, aspecto dos espaços e das paredes, relação com o exterior
9	Conforto táctil	Electricidade estática, rugosidade, humidade e temperatura de superfície
10	Conforto antropodinâmico	Acelerações, vibrações, esforços de manobra
11	Higiene	Cuidados corporais, alimentação de água, eliminação de materiais usados
12	Adaptação à utilização	Número, dimensões, geometria e relações dos espaços e equipamentos
13	Durabilidade	Conservação do desempenho
14	Economia	Despesas de construção, funcionamento e manutenção

Quadro 4.5 – Agentes influenciando a construção

Origem Natureza	Externa		Interna	
	Atmosférica	Solo	Imposto pela ocupação	Consequência da ocupação
Agentes mecânicos · Gravidade · Força e deformação impostos · Energia cinética · Vibrações e ruídos	Neve, chuva, dilatações térmicas e higroscópicas, vento, choques, ruídos, etc.	Pressão das terras, assentamentos, escorregamentos, vibrações, ...	Sobrecargas, esforços de manobra, choques, atritos, vibrações	Cargas permanentes, fluência, forças e deformações impostas, ruídos e vibrações
Agentes electromagnéticos	Radiação solar	Correntes aleatórias	Lâmpadas, radiações, campos magnéticos	Radiações, correntes, campos magnéticos
Agentes térmicos	Reaquecimento gelo choque térmico	Gelo aquecimento	Calor emitido	Aquecimento, fogo
Agentes químicos
Agentes biológicos · Vegetais · Animais	Bactérias Insectos	Bactérias, raízes, vermes, etc.	Bactérias, plantas, animais domésticos	

4.2 IMPORTÂNCIA DAS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS NA CONCEPÇÃO DAS PAREDES

As exigências funcionais aplicáveis às paredes dos edifícios condicionam a concepção da parte opaca da parede.

As exigências podem ser satisfeitas exclusivamente pelo tosco da parede, mas normalmente o contributo dos revestimentos deve também ser levado em conta.

As paredes dos edifícios em geral podem ser:

- Duplas
- Simples
- Revestidas
- À vista
- Resistentes
- De preenchimento

A satisfação das exigências avalia-se pelo desempenho e pela não ocorrência de anomalias ou patologias – Quadros 4.6, 4.7 e 4.8.

As principais anomalias não estruturais observáveis em paredes são:

- Devidas à humidade
- Fissurações
- Envelhecimento e degradação dos materiais
- Desajustamento face a exigências

Vão-se avaliar as principais exigências em termos de alvenarias da envolvente e alvenarias de comportamento.

4.3 PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DAS ALVENARIAS DA ENVOLVENTE

As alvenarias da envolvente devem ser concebidas atendendo a um conjunto alargado de exigências sintetizadas no Quadro 4.9

Quadro 4.6 – Anomalias não estruturais e sua relação com os elementos de construção [9]

ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO		ANOMALIAS DEVIDAS À HUMIDADE								FISSURAS	Envelhecimento e Degradação dos Materiais	Desajustamentos Face a Exigências		
		Humidificação dos materiais					Causas fortuitas	Alteração das propriedades físicas	Degradação dos materiais			Exigências de segurança	Exigências de conforto	Exigências de
		Humidade de construção	Humidade do terreno	Humidade de precipitação	Humidade de condensação	Higroscopicidade dos materiais								
Elementos	Paredes exteriores	0	0 ⁽¹⁾	●	●	0	0	0	●	0	0	0	●	●
	Paredes interiores	0	0 ⁽¹⁾	0 ⁽²⁾	0 ⁽³⁾	0	0		0	0	0	0	0	
	Pavimentos	0	0 ⁽¹⁾	0		0	0	0	0			0	0 ⁽⁶⁾	0 ⁽⁶⁾
	Coberturas	0		●	●	0		0	●			0	●	●
Elementos secundários	Janelas	0		●	0	0			●		0	0	0	0
	Cerramentos dos vãos exteriores	0		●	0	0			●		0			
	Portas exteriores	0		●	0	0			●		0	0	0	0
	Portas interiores	0				0					0	0		
	Guardas	0		0 ⁽⁵⁾		0			0		0	0		
	Lanterins	0		●	0	0			0		0	0	0	0
Acabamentos	Acabamentos exteriores em paredes	0	0 ⁽¹⁾	●		0			●	0	0	0		
	Acabamentos interiores em paredes	0	0 ⁽¹⁾	0	● ₍₃₎ ● ₍₆₎	0	0		0	0	0	0		
	Acabamentos interiores em tectos	0		0	0 ₍₂₎ ● ₍₃₎	0	0		0	0	0	0		
	Acabamentos em pisos	0	0 ⁽¹⁾	0			0		0	0	0	0	0	
	Acabamentos em coberturas	0		●					0	0	0	0	0	0

SIMBOLOGIA

- o anomalias correntes
- anomalias mais relevantes

NOTAS

- 1 – Em pisos térreos e enterrados
- 2 – Em pisos sob cobertura
- 3 – Em locais húmidos
- 4 – Pavimentos sobre espaços abertos ou não aquecidos
- 5 – Guardas exteriores
- 6 – Em paredes exteriores

Quadro 4.7 – Expressão das fissuras, correlação com os danos e facilidade de reparação [5]

NÍVEL DO DANO	DESCRIÇÃO DO DANO TÍPICO	FACILIDADE DE REPARAÇÃO	LARGURA DA FISSURA
0	Fissuras do tipo “fio de cabelo” com largura inferior a 0.1 mm não são consideradas relevantes.	—	até 0.1 mm
1	Provavelmente uma pequena fractura isolada no edifício. Fissuras raramente visíveis em paredes de tijolo exteriores.	Fissuras até 1 mm de largura são reparadas, em geral, com processos decorativos correntes.	até 1 mm
2	Fissuras nem sempre visíveis no exterior. Algumas distorções em portas e janelas.	Fissuras preenchidas com facilidade. Provável necessidade de redecoração. Fissuras recorrentes podem ser dissimuladas por revestimentos adequados. Eventual necessidade de refazer algumas juntas exteriores (no tijolo à vista) para garantir a estanquidade à água.	até 5 mm
3	Distorções e empenos de portas e janelas. Risco de rotura das canalizações. Estanquidade à água da chuva frequentemente ameaçada.	As fissuras necessitam de uma reabertura para posterior preenchimento. Reparação superficial das juntas de tijolo à vista e eventual substituição de alguns tijolos.	5 a 15 mm ou diversas, cada uma até 3 mm
4	Distorção dos aros de portas e janelas. Deformação excessiva dos pavimentos (a). Grave desaprumo ou encurvadura de paredes (b). Flecha excessiva e redução da capacidade de carga das vigas. Rotura das canalizações.	Reparações generalizadas, incluindo a substituição de significativas parcelas de parede, em particular sobre portas e janelas.	15 a 25 mm dependendo da quantidade
5	Perda total da capacidade resistente das vigas. Paredes muito desaprumadas, exigindo escoramento. Janelas partidas por causa das distorções. Perigo de ruína global.	Impõe-se uma reparação global e profunda, incluindo a reconstrução total ou parcial do edifício.	Em geral superiores a 25 mm dependendo da quantidade
<p>Nota (a) <i>Desvios de verticalidade ou horizontalidade de 1/100 já são claramente visíveis. Desvios superiores a 1/150 são totalmente indesejáveis.</i></p> <p>Nota (b) <i>A abertura das fissuras é apenas um dos vários parâmetros que permitem avaliar a gravidade dos danos e não deve ser usada de forma individual e autónoma para esse fim.</i></p>			

Quadro 4.8 – Classificação de danos provocados pelos sismos nas construções [4]

	Classe de danos	Descrição geral dos danos	Ações pós-sismo
I	Danos não-estruturais	Fendilhação ligeira em reboco. Queda de reboco em zonas limitadas	Não é necessária a evacuação. Reparações em acabamentos
II	Danos estruturais ligeiros	Pequenas fendas em paredes. Queda de rebocos em áreas com dimensões importantes. Danos em elementos não-estruturais como chaminés, cornijas, beirais etc. A capacidade resistente da estrutura não é reduzida apreciavelmente.	Não é necessária a evacuação. Reparações em acabamentos providenciando a boa conservação do edifício.
III	Danos estruturais	Fendilhação generalizada, larga e profunda em paredes. Fendilhação em pilares. Queda de chaminés. A capacidade resistente da estrutura é parcialmente reduzida.	É necessária a evacuação. Torna-se necessário a reparação e o reforço estrutural seguindo-se a reparação de acabamentos.
IV	Danos estruturais severos	Brechas em paredes. Queda de panos de parede. Rotura de elementos de ligação de partes do edifício. Cerca de 50% dos elementos estruturais atingem a rotura. A situação do edifício é perigosa.	A evacuação é imperiosa. Torna-se necessário decidir entre a demolição ou a reparação e reforço em profundidade do edifício.
V	Colapso	Uma grande parte ou a totalidade do edifício em ruína.	Demolição, remoção dos destroços e reconstrução de raiz.

Quadro 4.9 – Principais exigências relativas às alvenarias da envolvente [2]

Exigências funcionais	
Segurança	Estabilidade Segurança ao fogo
Adaptação a movimentos	Movimentos das fundações Deformação estrutural Variações de temperatura Variações de humidade e volume Acção química
Estanquidade à água da chuva	
Durabilidade	
Conforto	Termohigrométrico Acústico
Adaptação à utilização	
Economia e produtividade	

4.3.1 EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA

4.3.1.1 Estabilidade

Análise da estabilidade de paredes exteriores não estruturais

a) Acções

- ACÇÕES
 - Peso próprio (incluindo revestimentos)
 - Cargas permanentes suspensas (excêntricas ou concentradas)
 - Vento
 - Impacto
 - Deformação do suporte
 - Acções térmicas
 - Variações de temperatura
 - Choque térmico
 - Acções acidentais
 - Sismo [4, 10]
 - Incêndio
 - Explosões

b) Aspectos a ter em conta na estabilidade de paredes exteriores

- Ligações da alvenaria à estrutura
- Zonamento em termos de vento e acções térmicas
- Tipo de parede
 - Simples
 - Dupla
- Dimensão e forma dos vãos

c) Forma de avaliação da estabilidade

- Cálculo da parede
- Ensaio da parede
- Expedita – esbelteza da parede

Esbeltezas a respeitar de acordo com várias regulamentação⁽¹⁾

- | | | |
|----------------|---|--|
| BS 5628 [8] | - | Paredes simples – 40 (horizontal e vertical) |
| | - | Paredes duplas – 30 (esp. total) |
| | - | Espessura mínima cada pano – 0.10 m; |
| | - | Espessura máxima caixa de ar – 0.10 m; |
| | - | ligadores obrigatórios |
| DTU 20.1 [7] | - | Esbelteza vertical ≤ 30 |

4.3.1.2 Segurança ao fogo

As alvenarias devem ser concebidas para apresentarem um comportamento face ao fogo adequado à sua utilização. O comportamento ao fogo dos materiais de construção e elementos construtivos caracteriza-se pelos seguintes indicadores:

- **Reacção ao fogo** – qualificação sob este ponto de vista efectuado através de 5 classes – M0 a M4
 - M0 – Material não combustível
 - M1 – material não inflamável
 - M2 – material dificilmente inflamável
 - M3 – material moderadamente inflamável
 - M4 – material facilmente inflamável
- **Resistência ao fogo** – manutenção das funções dos elementos em caso de incêndio – estáveis ao fogo, pára-chamas e corta-fogo – classificação através de escalões de tempo de 15 a 360 minutos (15/30/45/60/90/120/180/240/360), no Quadro 4.10.
 - Classe EF (estável ao fogo) – deixa de ser cumprida quando se esgota a capacidade resistente – função suporte
 - Classe PC (Pára-chamas) – estanquidade (deixa de ser cumprida quando ocorre a emissão de chamas ou gases inflamáveis na outra face) , com ou sem satisfação da função suporte
 - Classe CF (Corta-fogo) – funções estanquidade e isolamento térmico (deixa de ser cumprida quando se atingem temperaturas de 140 ° C de valor médio ou 180 ° C pontuais na face não exposta), com ou sem satisfação da capacidade de suporte

⁽¹⁾ Esbelteza – Razão entre distância dos elementos contíguos de travamento e a espessura da parede. Os elementos de travamento podem ser a estrutura ou panos ortogonais com desenvolvimento suficiente

Quadro 4.10 – Síntese das exigências em termos de estabilidade ao fogo

Funções	Exigência		
	Estabilidade	Estanquidade	Isolamento térmico
Suporte	EF		
Compartimentação		PC	CF
Suporte+Compartimentação	PC	CF	

A quantificação das exigências consta da regulamentação específica.

Em geral as partes opacas das paredes correntes exteriores portuguesas são satisfatórias em termos de segurança ao fogo, sendo necessário cumprir determinadas relações de vizinhança no que respeita aos vãos, Quadros 4.11 a 4.12.

Quadro 4.11 – Espessura mínima de paredes de alvenarias não estruturais para resistência ao fogo [12]

Material		Espessura mínima da parede (cm)				
		CF30	CF60	CF90	CF120	CF180
Tijolos cerâmicos	maciços ou perfurados	7 (7)	7 (7)	11 (7)	11 (11)	22 (11)
	furados	7 (7)	11 (7)	15 (11)	22 (15)	22 (22)
Blocos de betão normal	maciços	8 (8)	8 (8)	10 (8)	15 (10)	15 (15)
	furados	10 (8)	12 (10)	15 (10)	15 (12)	20 (15)
Blocos de arg. expandida	furados	8 (8)	10 (8)	12 (10)	12 (10)	15 (12)
Blocos de betão celular	maciços	5 /5/	5 /5/	7 /7/	7 /7/	10 /10/

() – Paredes rebocadas com argamassa de cimento ou gesso ($e \geq 1,5$ cm)

/ / - Paredes revestidas com ligantes sintéticos ($e \geq 0,5$ cm)

Quadro 4.12 – Espessura mínima de paredes de alvenaria estruturais para resistência ao fogo [12]

Material		Espessura mínima da parede (cm)				
		CF30	CF60	CF90	CF120	CF180
Tijolos cerâmicos	maciços ou perfurados	11 (11)	11 (11)	22 (11)	22 (22)	22 (22)
	furados	11 (11)	15 (11)	15 (15)	22 (22)	22 (22)
Blocos de betão normal	maciços	10 (10)	10 (10)	10 ()	15 ()	20 ()
	furados	10 ()	12 ()	15 ()	20 ()	25 ()
Blocos de arg. expandida	furados	10 ()	10 ()	12 ()	12 ()	15 ()
Blocos de betão celular	maciços	10 /10/	10 /10/	10 /10/	15 /15/	15 /15/

() – Paredes rebocadas com argamassa de cimento ou gesso ($e \geq 1,5$ cm)

/ / - Paredes revestidas com ligantes sintéticos ($e \geq 0,5$ cm)

4.3.2 ADAPTAÇÃO A MOVIMENTOS

4.3.2.1 Movimento das fundações (fig.4.3 e 4.4)

➤ ASSENTAMENTOS DIFERENCIAIS

- Podem ser provocados por:
 - Tensões transmitidas ao solo por fundações muito diversas
 - Solos heterogéneos
 - Solos com diferentes compacidades ou profundidades diversas
 - Utilização simultânea de fundações directas e indirectas
- Avaliam-se pela distorção angular provocada na estrutura
- Os danos são função da capacidade da estrutura se adaptar a estes movimentos
- Alvenarias --- $\leq 1/300$
- Evolução no tempo – função do tipo de solo

➤ VARIAÇÃO DO TEOR DE HUMIDADE DOS SOLOS ARGILOSOS

- Variação sazonal – afecta fundações pouco profundas
- Alteração uniforme do nível freático
- Rebaixamentos localizados do nível freático
- Corte de árvores de grande porte ou efeito das suas raízes
- Alterações do nível freático por grandes movimentos de terras
- Heterogeneidade e compactação deficiente de aterros
- Causa e efeitos evolutivos
- É necessário correlacionar as formas de manifestação com as causas

4.3.2.2 Deformação estrutural (fig. 4.5)

- Tendência para a adopção de estruturas cada vez mais esbeltas, logo mais deformáveis e com capacidade de se adaptarem a esses movimentos
- A deformação excessiva é sobretudo importante ao nível dos pisos e coberturas – lajes e vigas
- As actuais estruturas de betão armado ou metálicas sofrem deformações, mesmo respeitando os limites regulamentares, que solicitam as alvenarias, por reacções ou/e por deslocamento, que estas não conseguem absorver sem fissurar
- Nas estruturas de betão armado este efeito é amplificado pelo efeito de fluência
- Os valores referidos nas verificações aos estados limites regulamentares superam em geral a capacidade das alvenarias
- Convém ser mais exigente do que o referido na regulamentação estrutural para evitar a fissuração das alvenarias
- A deformação estrutural pode comprometer outros aspectos (fachadas de vidro, aspecto, mobiliário, efeitos de insegurança psicológica)

Acções a desenvolver

- Limitar as flechas das estruturas
- Rigidificar os elementos estruturais complanares com as paredes exteriores

- Limitar o recurso a zonas balançadas
- Diferir o mais possível a realização das alvenarias da estrutura
- Construir de cima para baixo as alvenarias ou não preencher a última fiada de imediato
- Aumentar a deformabilidade das paredes e a sua capacidade de suportarem sem fissurarem a deformação da estrutura por recurso a:
 - Argamassas bastardas
 - Introdução de armaduras nas juntas
 - Rebocos armados
- Atenuar os efeitos da deformação da estrutura na alvenaria, introduzindo juntas (pode gerar outros problemas que é necessário ter em conta)

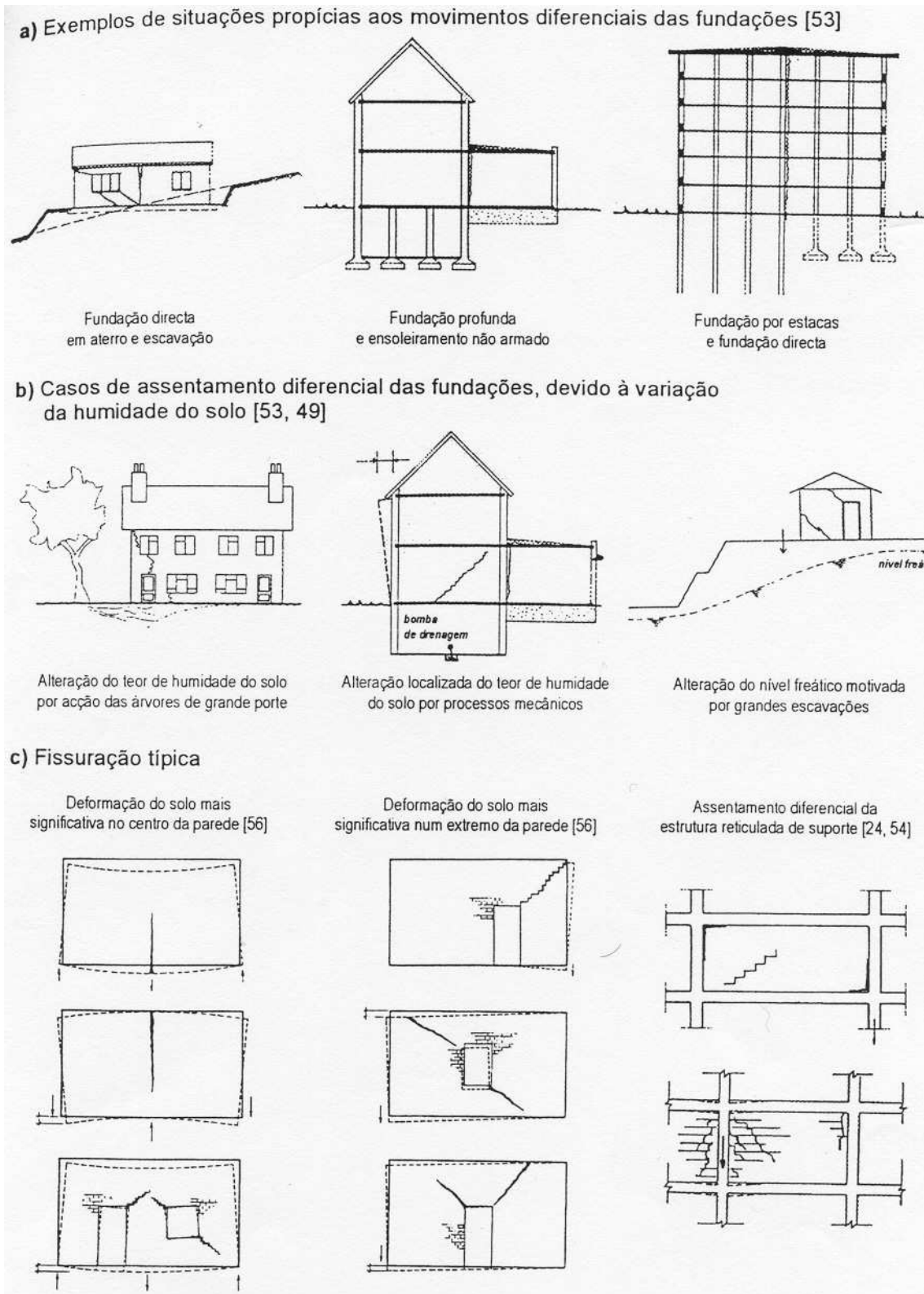


Figura 4.3 – Exemplos de fissuração devida a movimentos da fundação [5]

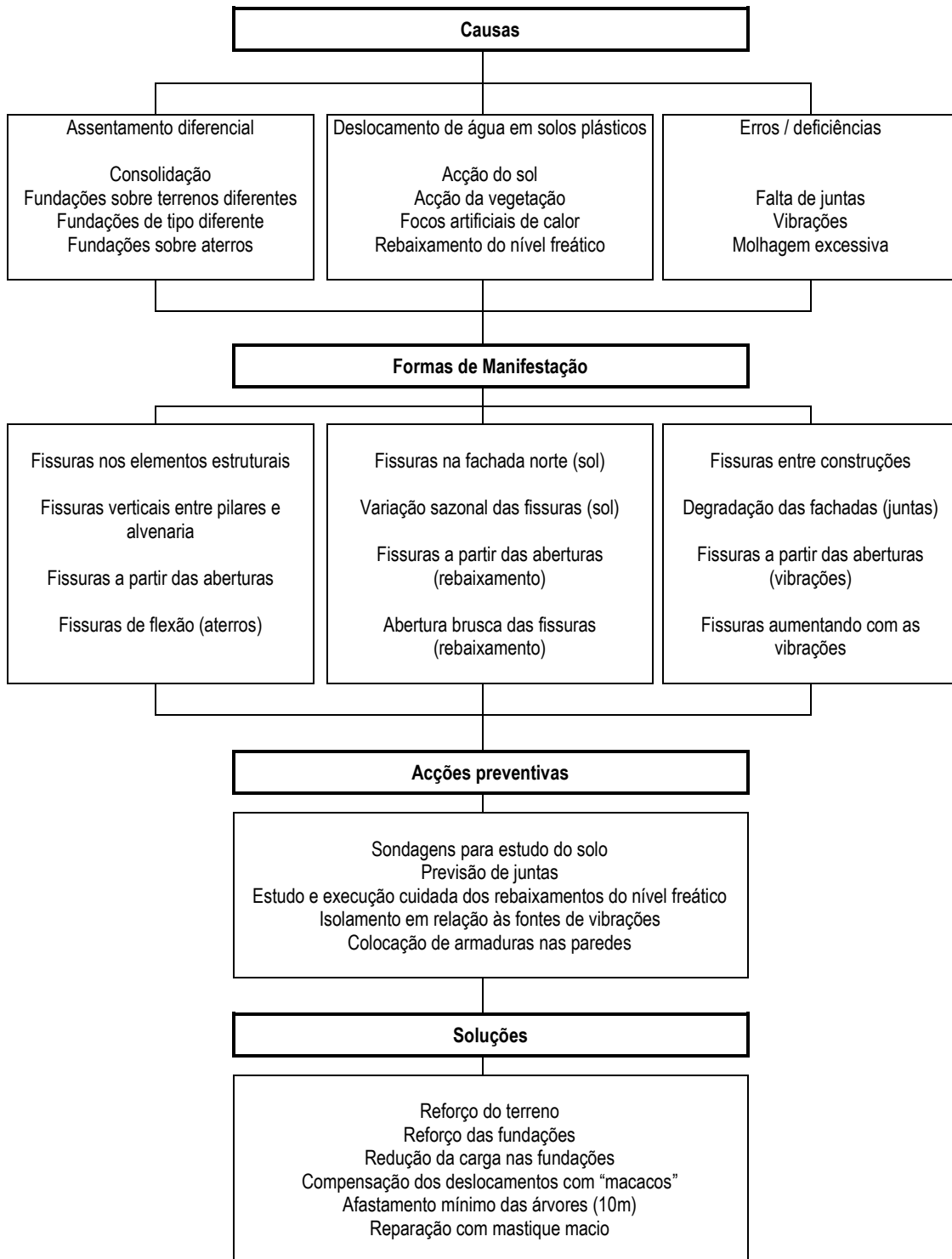


Figura 4.4 – Diagrama de síntese da fissuração devida a movimentos das fundações [5]

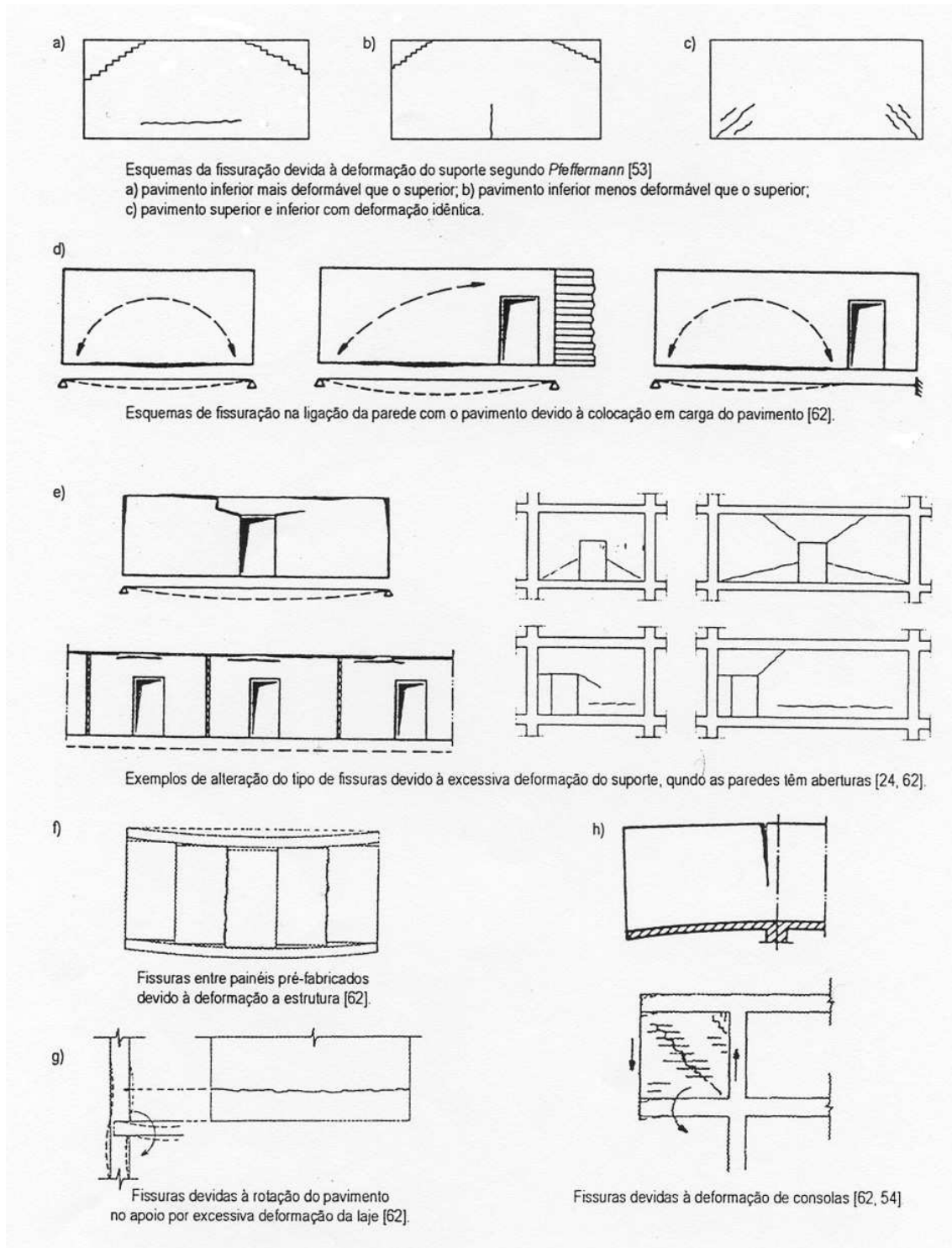


Figura.4.5 – Exemplos de fissuração devida à deformação excessiva do suporte [5]

4.3.2.3 Variações de temperatura (fig.4.6 a 4.10)

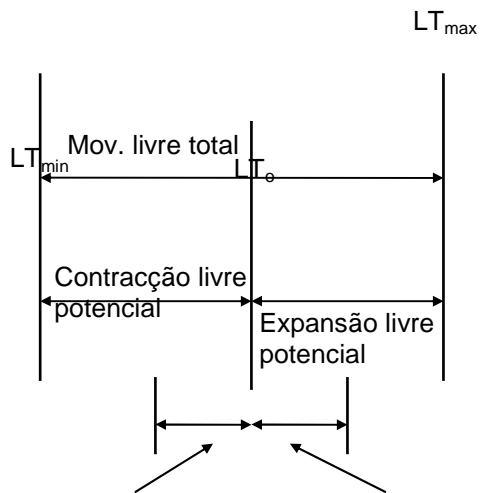
- Os movimentos por variações de temperatura podem ser devidos:
 - A movimentos da própria parede
 - A movimentos da estrutura (pórticos e cobertura) ou outros elementos construtivos
- As variações de temperatura podem ser:
 - Exteriores
 - Gradientes entre o interior e o exterior
 - No próprio elemento
- Estas acções são frequentemente cíclicas
- As coberturas são dos elementos construtivos mais sujeitos a esta variação, particularmente os terraços não isolados e de cor escura, sendo estas acções graves para as estruturas de betão armado e metálicas – originando esforços de corte
- As platibandas são elementos particularmente solicitados por esta acção, com consequências graves de fissuração e perda de estanquidade
- Pode ocorrer dilatação diferenciada entre a estrutura, em geral reticulada, e a alvenaria
- Esta situação é mais importante nos pisos mais elevados sob a cobertura e em pórticos longos nas zonas extremas dos mesmos
- Nas estruturas em betão à vista a estrutura é mais solicitada termicamente
- O tratamento das pontes térmicas pode acentuar algumas destas patologias se as forras forem muito esbeltas
- Algumas zonas das paredes são particularmente sensíveis:
 - Zonas de variação de rigidez (no pano ou em espessura)
 - Ligações a paredes interiores sujeitas a menores variações de temperatura
 - Cunhais
 - Zonas sujeitas a variações diferenciais (sombreadas, cores diferentes)
 - Fontes de calor internas ou zonas com diferente resistência térmica (tubos de água quente não isolados)
- Efeito de choque térmico - brusca descida de temperatura (chuvada de Verão, por exemplo)
- Paredes duplas, por exemplo à vista, com elevada inércia e com pano exterior insuficientemente ligado ao pano interior ou à estrutura, com isolamento na caixa de ar

Medidas cautelares:

- Isolar o mais possível pelo exterior diminuindo as variações de temperatura, sombrear, usar cores claras
- Dessolidarizar, reduzir o espaçamento entre juntas (últimos pisos e platibandas)
- Desligar as paredes do contorno (pode criar problemas de estanquidade)
- Aumentar a capacidade das paredes resistirem a estas acções:
 - melhores ligadores;
 - armaduras nas juntas;
 - travar cunhais;
 - armar revestimentos;
 - confinar alvenaria

(N.B.: Estas acções podem induzir outros problemas)

MOVIMENTOS DE ORIGEM TÉRMICA



T_0 - Temperatura inicial do material durante a construção

T_{min} - Temperatura mínima esperada para a parede

T_{max} - Temperatura máxima esperada para a parede

Contração potencial tendo em conta as restrições

Figura 4 6 - Factores afectando os movimentos de origem térmica

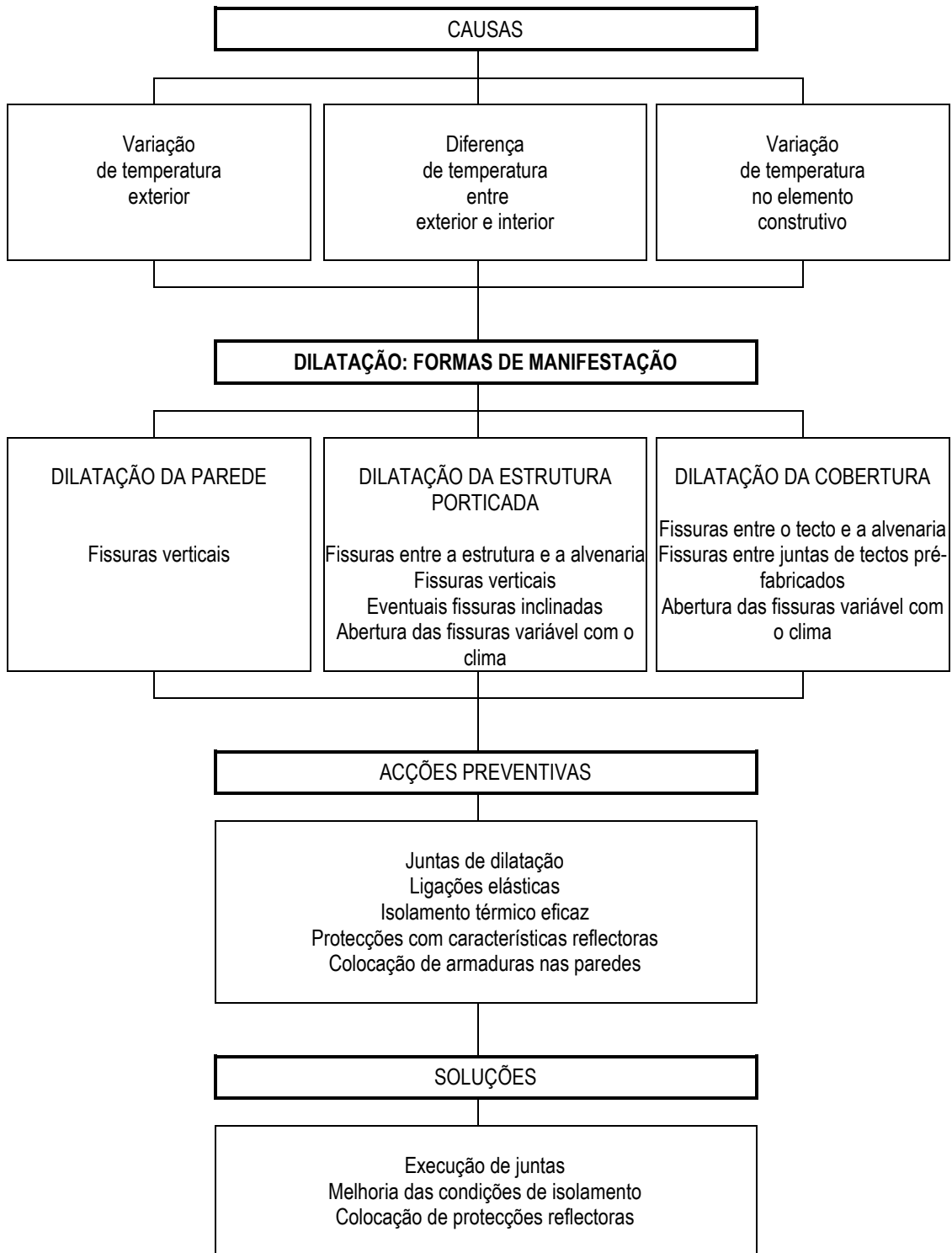


Figura 4.7 – Diagrama de síntese da fissuração devida a variações de temperatura, segundo Pfeffermann [5]

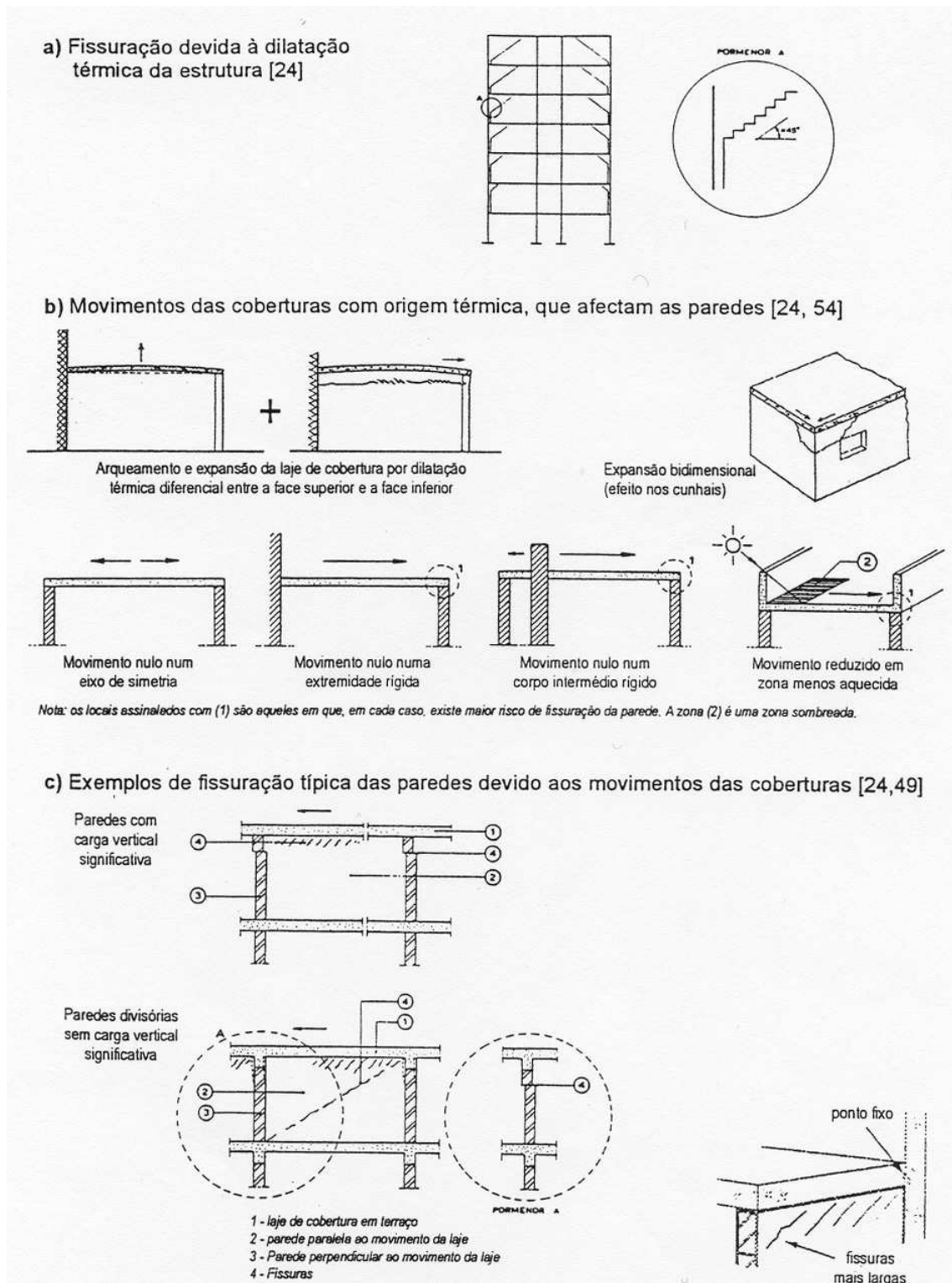
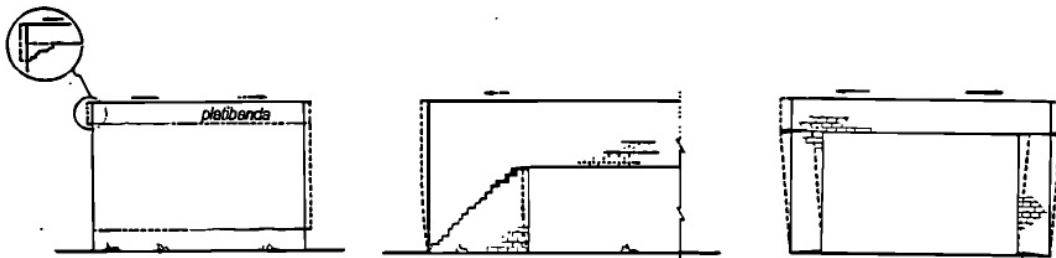


Figura 4.8 – Configurações típicas da fissuração de paredes devida aos movimentos de origem térmica das coberturas e das estruturas reticuladas [5]

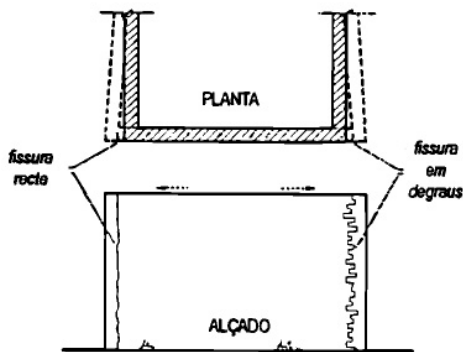
a) Fissuração em paredes de grande comprimento por ausência de juntas de dilatação [40]



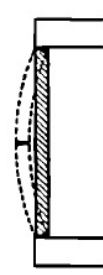
b) Fissuração devida à expansão dos materiais, em panos de pequena dimensão [56]



c) Fissuração em cunhais não travados [56]



d) Encurvadura e fissuração por expansão, em parede esbelta rigidamente confinada [56]



e) Tipos de fissuração por expansão ou contracção em função da resistência relativa dos materiais e das suas ligações [54]

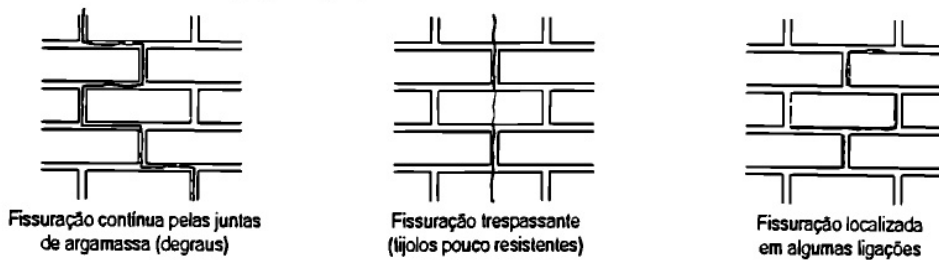
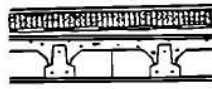


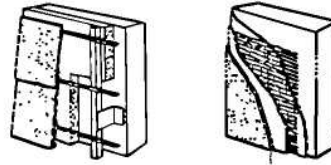
Figura 4.9 – Configurações típicas da fissuração de paredes com origem na expansão/contracção da própria parede

[5]

a) Exemplos de isolamento térmico exterior (redução da solitação térmica)

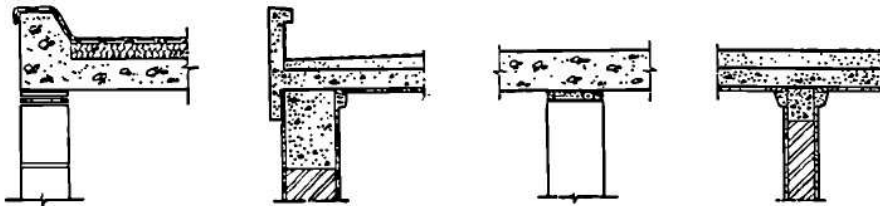


Isolamento térmico em coberturas

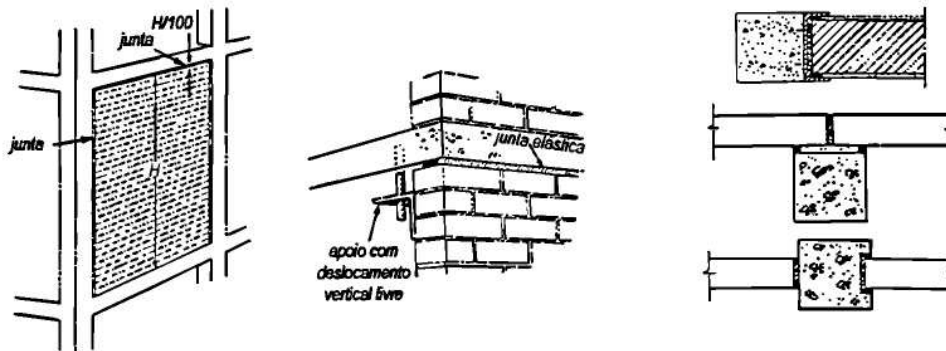


Isolamento térmico exterior em paredes [109]
(exemplos de revestimento contínuo armado e descontinuo com estrutura independente)

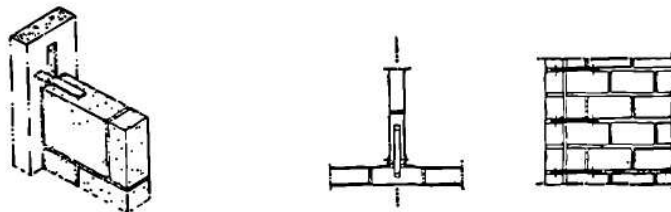
b) Exemplos de dispositivos de dessolidarização entre as lajes de cobertura e as paredes [24, 54]



c) Exemplos de dispositivos de dessolidarização entre as paredes e a estrutura [49, 24, 54]



d) Exemplos de reforço mecânico das ligações entre as paredes e a estrutura e entre paredes perpendiculares entre si, através de elementos metálicos [24]



NOTA: Os exemplos apresentados indicam apenas princípios gerais de concepção, mas não pormenorizam as soluções construtivas. A criação de juntas de dessolidarização obriga a um estudo criterioso da sua constituição de modo a garantir a satisfação das diversas exigências funcionais das paredes. Do mesmo modo, as soluções de isolamento térmico estão apenas esquematizadas,

Figura 4.10 – Exemplos de medidas preventivas para reduzir o risco de fissuração de paredes com origem nos movimentos de origem térmica [5]

4.3.2.4 Variações de humidade e volume (fig. 4.11 e 4.12)

- A humidade está presente nas construções e particularmente nas paredes por diversas causas:
 - Fase construtiva e de produção dos materiais
 - Por ascensão capilar a partir do solo
 - Por precipitação
 - Por condensação no interior da parede ou na sua face interior
 - Por higroscopicidade dos materiais da parede
 - Por causas fortuitas
- A variação do teor de humidade provoca alterações de volume dos materiais porosos embora em graus muito variáveis
- Há alterações irreversíveis (retracção das argamassas e betões, expansão dos cerâmicos) e reversíveis
- A restrição destes movimentos provoca tensões e pode provocar fissuração
- O fenómeno tem analogias com as variações de temperatura, embora mais diferido
- Acção do gelo/degelo, por aumento de volume de água congelada

Medidas cautelares:

- Materiais fornecidos à obra secos e com a parcela mais relevante do movimento irreversível já ocorrido
- Armazenar os materiais para alvenaria em zona ventilada, mas abrigada (atenção aos plásticos que envolvem os materiais)
- Evitar o humedecimento excessivo no assentamento
- Seleccionar materiais que resistam às acções gelo/degelo

MOVIMENTOS PROVOCADOS PELA HUMIDADE NO ELEMENTO

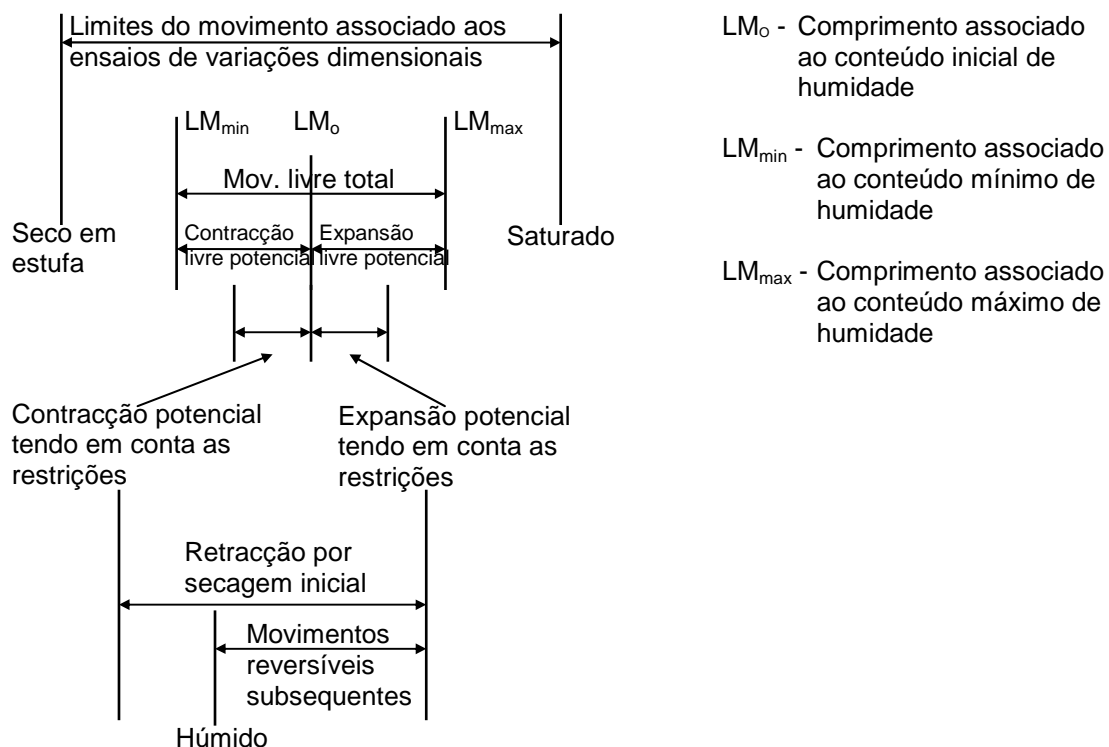
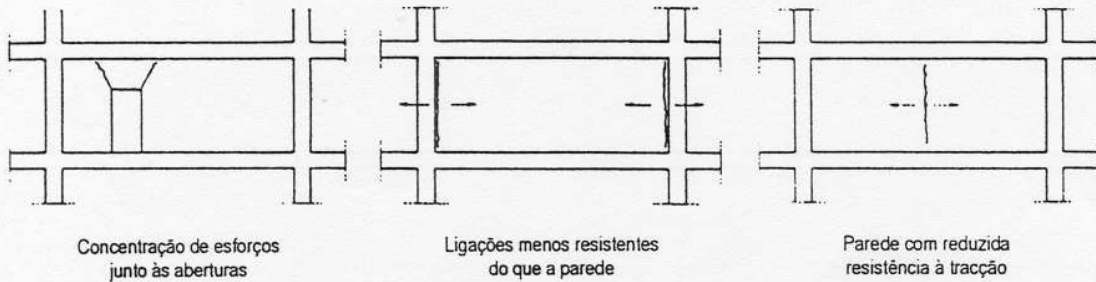
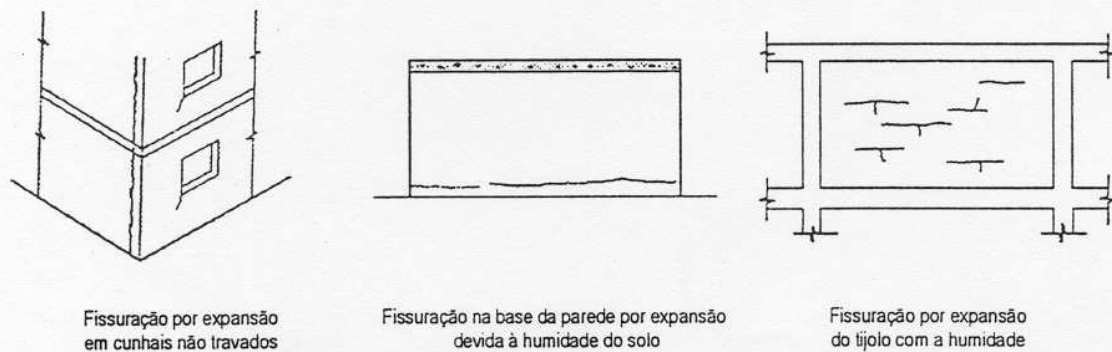


Figura 4.11 - Factores afectando os movimentos de origem térmica e por acção da humidade em paredes

a) Exemplos de fissuração típica de paredes de enchimento de estruturas reticuladas devida à variação do teor de humidade [24]



b) Outros casos de fissuração devida à expansão por humidade [24, 54]

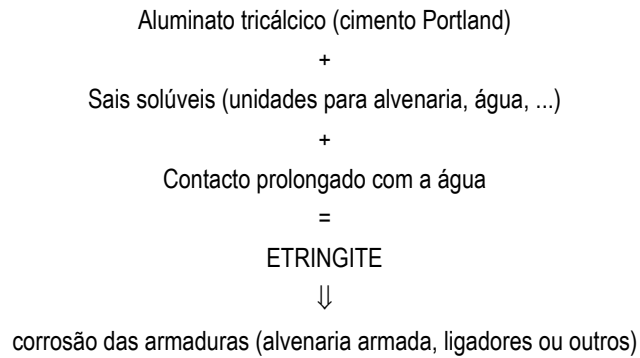


NOTA: A fissuração devida à expansão ou contracção das alvenarias ou dos seus materiais constituintes tem, por vezes, um aspecto semelhante, quer tenha origem nas variações de temperatura (ver Figura 2.12), quer tenha origem nas variações do teor de humidade. A distinção é feita, em geral, pela análise do grau de exposição da parede aos dois tipos de acção.

Figura 4. 12 – Configurações típicas da fissuração de paredes com origem nos movimentos devidos à variação do teor de humidade [5]

4.3.2.5 Movimentos por acção química

- Cal mal hidratada – expande por hidratação retardada já na argamassa. Particularmente importante nos revestimentos
- Acções dos sulfatos



4.3.3 ESTANQUIDADE À ÁGUA DA CHUVA

A garantia de estanquidade à água da chuva corresponde a:

- ⇒ Ausência de infiltrações para o interior por efeito da chuva incidente eventualmente com vento
- ⇒ Ausência de infiltrações da parede que provoquem o seu humedecimento exagerado e prolongado com deterioração da mesma

Os mecanismos de penetração de água da chuva nas paredes requerem:

Condições	- Água da chuva
	- Vento
	- Fissuras

Na fig. 4.13 sintetiza-se os diferentes fenómenos físicos que provocam a penetração de água nas paredes.

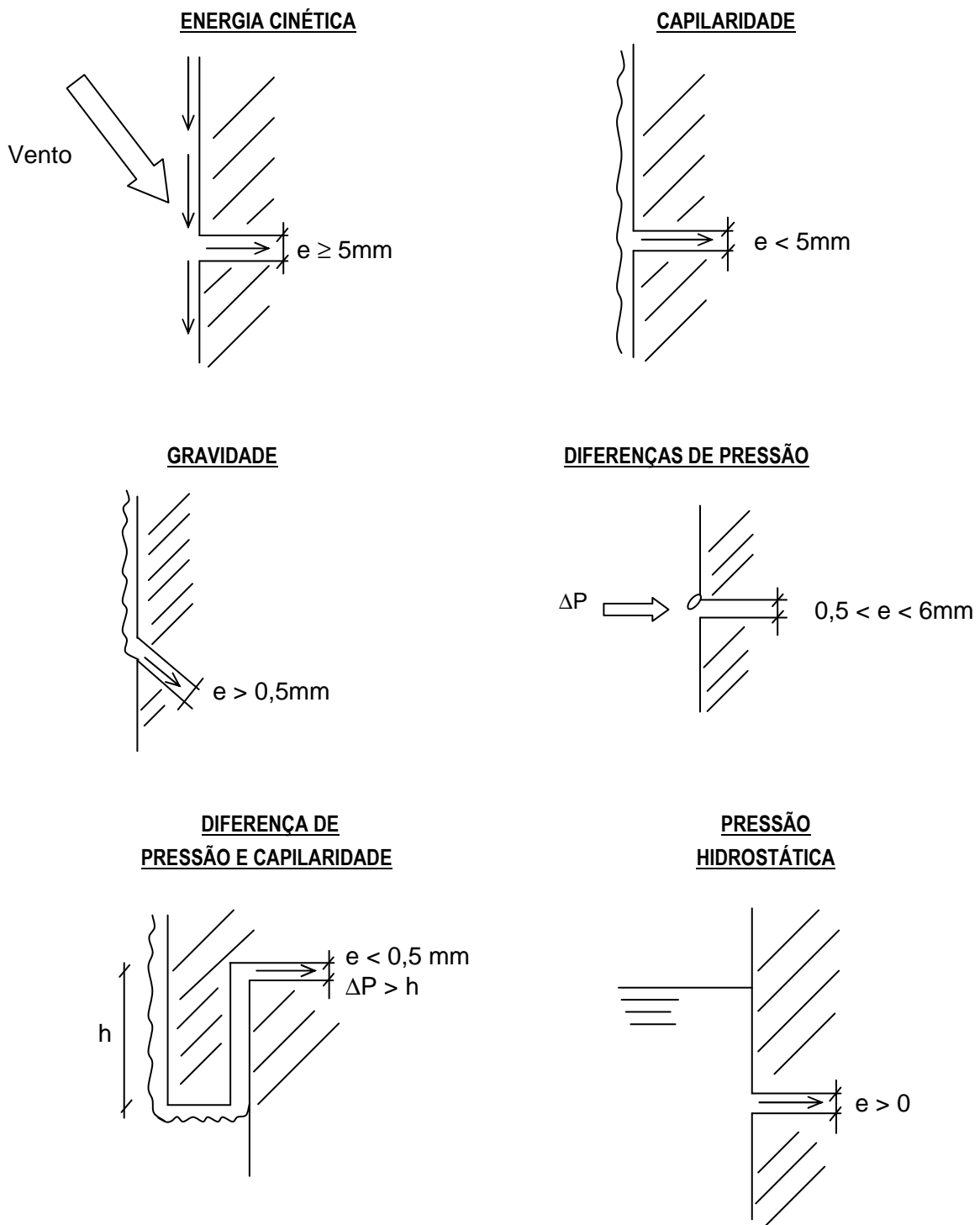


Fig. 4.13 – Fenómenos físicos de penetração de água nas paredes

Os factores que condicionam a penetração de água da chuva nas paredes são:

- Clima e exposição do local:
 - índice de chuva incidente persistente (produto dos valores médios anuais de precipitação pela velocidade do vento e por um factor adimensional)

As BS (British Standard) classificam os locais em:

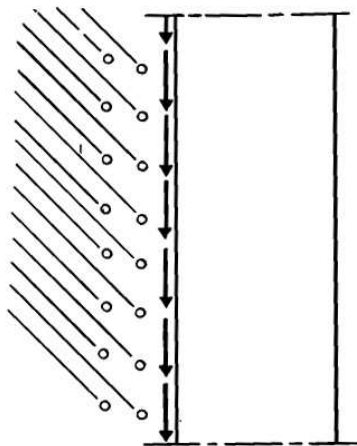
- Muito abrigado
- Abrigado
- Abrigado/Moderado
- Severo/Moderado
- Severo
- Muito severo

Muitos países têm zonamentos e classificações sob este ponto de vista podendo a solução da parede ser escolhida a partir desses parâmetros, Quadro 4.13 e 4.14.

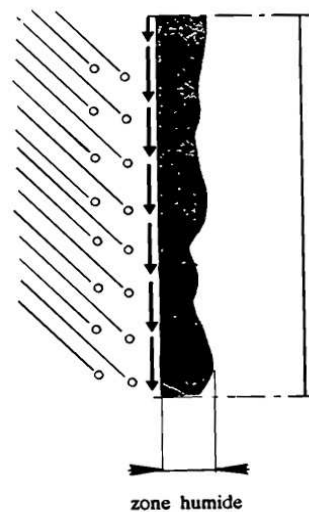
Os principais factores que condicionam a estanquidade à água da chuva das paredes são (Quadro 4.15):

- REVESTIMENTOS – Podem dar uma contribuição importante para a estanquidade e podem ser dos seguintes tipos:
 - De impermeabilização
 - De estanquidade
- A constituição do tosco da parede tem influência segundo os seguintes pontos de vista:
 - Espessura
 - Tipo de parede
 - Absorção de água dos materiais de alvenaria (elementos e argamassa)
 - Características plásticas da argamassa
 - Preenchimento das juntas
- Solução arquitectónica
- Zonamento e possibilidade de escolher a solução de parede (há uma proposta de zonamento para Portugal da autoria do Engº Vasconcelos Paiva), fig. 4.16

a) Importância das fissuras



Parede sem fissuras



Parede com fissuras de 4 a 5 mm

b) Importância da espessura das fissuras

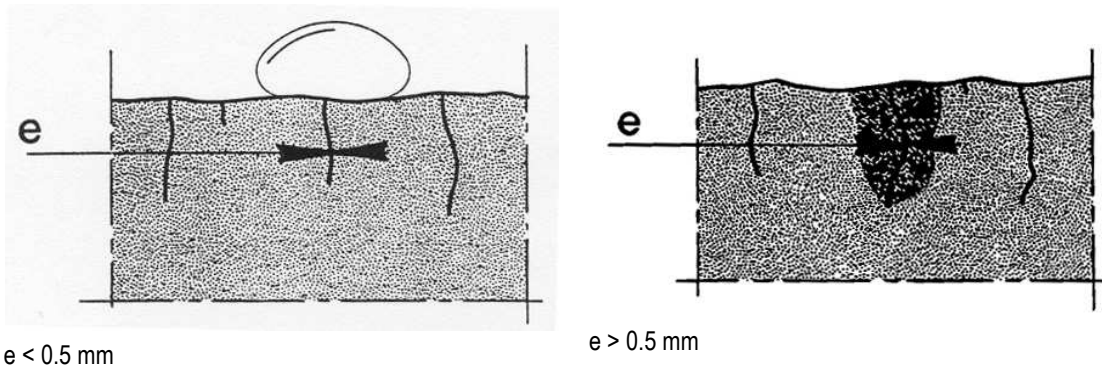
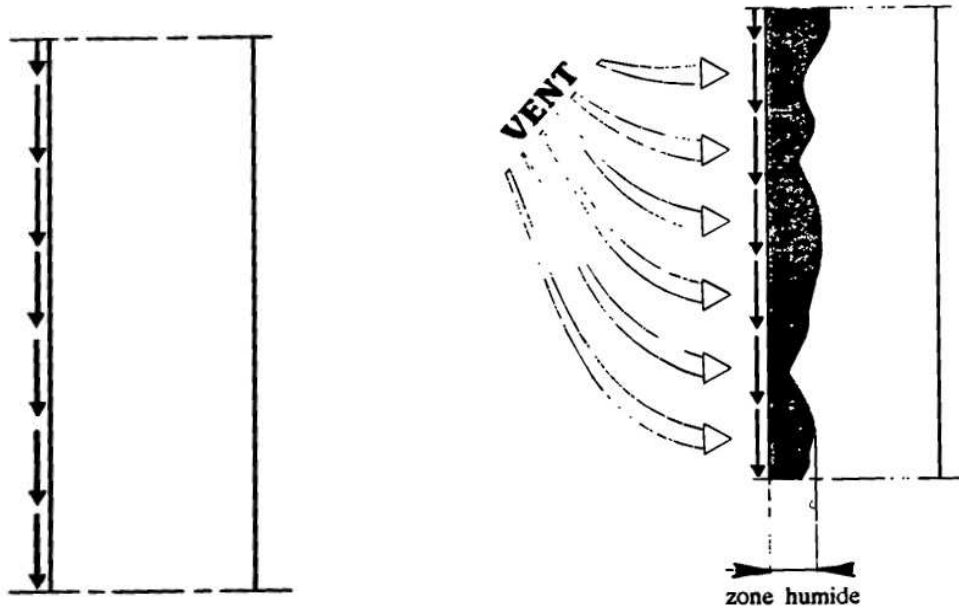
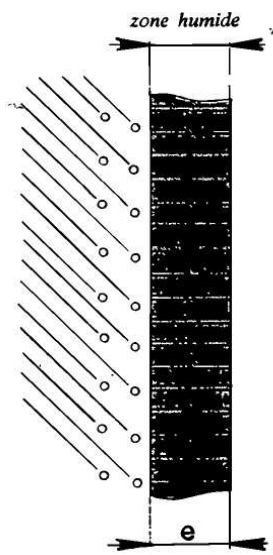


Figura 4.14 – Mecanismos de penetração da água da chuva em paredes 1/2

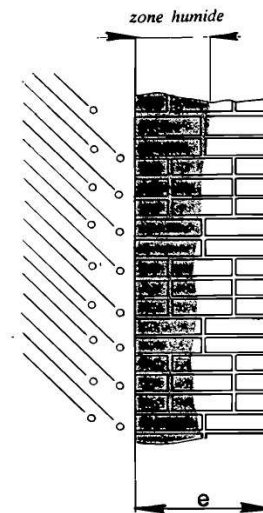
c) Efeito conjugado chuva e vento



d) Influência da espessura da parede



Parede com espessura insuficiente



Parede com espessura suficiente, a zona húmida não atinge a parte inferior

Figura 4.15 – Mecanismos de penetração da água da chuva em paredes 2/2

Quadro 4.13 - Espessura mínima das paredes em pano único função da exposição do local à chuva incidente, segundo BS 5628 [8]

EXPOSIÇÃO À CHUVA INCIDENTE	Espessura mínima da parede excluindo revestimentos (mm)					
	Elementos cerâmicos e sílico-calcários			Elementos em betão		
	Rev. de imperme.	À vista	Elem. de inertes correntes		Elem.inert.leves e de betão cel.autoclavado	
			Rev. de imperme.	À vista	Rev. de imperme.	À vista
Muito severa	Não recomendado. Utilização de revestimentos de estanquidade					
Severa	328	Não rec.	250	Não rec.	215	Não rec.
Moderada/Severa	215	“	215	“	190	“
Abrigada/Moderada	190	440	190	440	140	440
Abrigada	90	328	90	328	90	328
Muito abrigada	90	190	90	190	90	190

Quadro 4.14 - Espessura do tosco de paredes em pano único segundo DTU 20.1 [7]

SITUAÇÃO DA PAREDE	Espessura mínima do tosco (1) (mm)					
	Tij. maciço ou perfurado	Tij. vazado (furação horizontal)	Bloco cerâmico perfurado	Bloco de betão de inertes correntes	Bloco de betão de inertes leves	Bloco de betão celular autoclavado
Abrigada	220	225	200	200	225	200
Não abrigada até 6m	220	225 (2)	200 (2)	200 (2)	225	200 (2)
Não abrigada entre 6 e 18m	220	275 (2)	275 (2)	275 (2)	225	275 (2)
Não abrigada entre 18 e 28m	220	275 (2)	325 (2)	325 (2)	225	275 (2)
Não abrigada, isolada junto ao mar, até 6m e com tradição de uso	220	275 (3)	325 (3)	325 (3)	275 (3)	275 (3)

(1) Paredes obrigatoriamente revestidas

(2) Excepto junto ao mar

(3) Excepto em frente ao mar (orla marítima)

Quadro 4.15 – Factores que influenciam a estanquidade segundo a BS 5628

FACTORES	ACRÉSCIMO DO RISCO DE PENETRAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA			
	De estanquidade	De impermeabilização →		Outro
Revestimento				
Argamassa de assentamento	Cimento : cal : areia	Cimento : areia		
Acabamento da junta	Bem acabada	Mal acabada ou sem acabamento		
Caixa de ar (mm)	> 50	50	25	0
Isolamento térmico na caixa de ar	Sem isolamento	Preenchimento parcial com isolamento	Preenchimento total com isolamento	

4.3.4 DURABILIDADE

A durabilidade é condicionada:

- concepção em termos de estanquidade e tipo de revestimento
- qualidade construtiva e dos materiais constituintes
- quantidade de água contida na parede
- compatibilidade física e química dos materiais constituintes:
 - corrosão das armaduras e ligadores

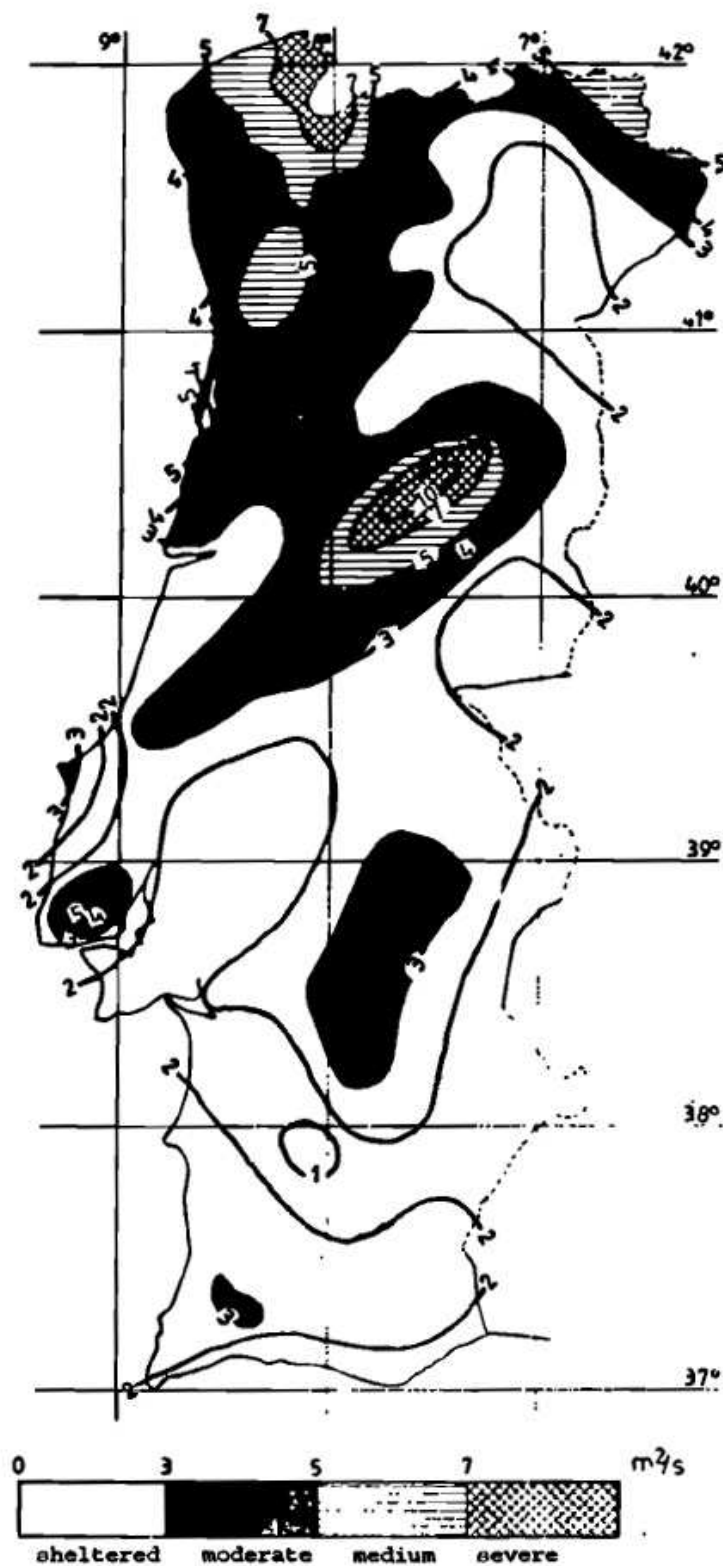


Figura 4.16 – Zonamento proposto para Portugal continental

4.3.5 CONFORTO TERMOHIGROMÉTRICO

Deve-se limitar o coeficiente de transmissão térmica da parede – k – $W/(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ – de acordo com as exigências do RCCTE, Quadro 4.16

Quadro 4.16 - Valores máximos do coeficiente de transmissão térmica de paredes segundo o RCCTE

K ($W/(m^2 \cdot ^\circ\text{C})$)	Zona climática		
	I ₁	I ₂	I ₃
Valor máximo para que a parede exterior satisfaça automaticamente os requisitos do RCCTE ¹	1.4	1.2	0.95
Valor máximo absoluto, em paredes exteriores verticais ¹	1.8	1.6	1.45

¹ - O edifício deverá satisfazer a outros requisitos de isolamento térmico

São ainda importantes:

- Secura dos paramentos interiores
 - temperatura dos paramentos interiores e superior à temperatura de ponto de orvalho do ambiente interior
 - limitar o k
 - limitar o factor de concentração de perdas térmicas
- Ter em conta as diferenças entre as situações teóricas de projecto e as condições efectivas de realização da obra
- Soluções satisfatórias em Portugal – analisar à luz da ITE28 e dos valores de referência das soluções não tradicionais

4.3.6 CONFORTO ACÚSTICO

Nota: a rever de acordo com o novo Regulamento

Isolamento aos ruídos aéreos exteriores – abaixamento acústico do nível dos ruídos aéreos exteriores que atravessam a parede – avaliado pelo factor R45 (dB) – isolamento sonoro médio das paredes exteriores, incluindo zonas transparentes. O desempenho da parede é muito condicionado pelo tratamento acústico dos vãos. As exigências constam do RGR.

Quadro4.17– Factor R 45 (dB) de paredes exteriores, em função da utilização do edifício e do local de implantação segundo o RGR

LOCAL	UTILIZAÇÃO DO EDIFÍCIO			
	Habitação	Escolar		Hospitalar ou similar
		Corrente	Deficientes auditivos	
Pouco ruidoso	≥ 25	≥ 25	≥ 35	≥ 30
Ruidoso	≥ 30	1	1	1
Muito ruidoso	≥ 35	1	1	1

1 - Localização interdita para as novas construções de acordo com o Regulamento Geral sobre o Ruído

4.3.7 ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO

- Aptidão para receber acabamentos
 - aderentes
 - não aderentes

- Facilidade de integrar outros elementos
 - estrutura
 - caixas de estore
 - instalações
 - caixilharias

- Geometria das unidades
 - armazenamento e transporte
 - prensão
 - realização de remates e integração de elementos estruturais

- Existência de elementos complementares
 - sistema construtivo

4.3.8 ASSOCIADAS À EXECUÇÃO

A execução condiciona todas as exigências

- Principais aspectos a levar em conta na execução:
 - aparelho de assentamento
 - 1ª fiada
 - desfazamento entre fiadas

- aderência unidades/argamassa
 - tipo, características e adequação da argamassa
 - molhagem das unidades/absorção de água das unidades

- espessura e correcto preenchimento das juntas
 - respeito das tolerâncias
 - verticalidade e planeza

- protecção contra acções mecânicas durante a construção
 - choques acidentais
 - troços em elevação

- limitação dos danos provocados pelas instalações embutidas

4.3.9 ECONOMIA E PRODUTIVIDADE

- Reduzir os custos melhorando o desempenho
- Requer um conhecimento aprofundado do funcionamento dos materiais e das alvenarias
- Novas unidades - 2ª ou 3ª geração com comportamento optimizado
- Racionalizar o assentamento
- Desenvolver sistemas

4.4 PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DAS ALVENARIAS INTERIORES DE COMPARTIMENTAÇÃO

PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

As paredes podem ser:

- duplas (apenas em situações especiais, por exemplo com comportamento acústico melhorado)
- simples
- revestidas
- à vista
- resistentes
- de preenchimento

A satisfação do desempenho e os principais tipos de anomalias são comuns aos já referidos para as paredes da envolvente.

As exigências funcionais principais são genericamente as mesmas já referidas para as paredes da envolvente, embora a importância relativa das mesmas seja diferente, com excepção da estanquidade à água da chuva que nas paredes interiores não tem relevância.

Enumeram-se seguidamente os aspectos mais diferenciadores relativamente às paredes exteriores.

4.4.1 SEGURANÇA

– Estabilidade

■ Acções

- Menor importância das acções do vento e das acções térmicas
- Maior importância das deformações do suporte
- Maior sensibilidade às acções de impacto e cargas suspensas
- Maior sensibilidade da resistência à fixação de portas, falsas manobras e solicitações brutais (portas de abrir, de correr ou pivotantes)

■ Aspectos a ter em conta na estabilidade das paredes interiores

- Ligações à estrutura e a paredes ortogonais
- Ligações ao pavimento e ao tecto e compatibilização das deformações
- Suspensões
- Respeitar esbeltezas mínimas

– Fogo

■ Maior importância relativa das paredes interiores atendendo à sua constituição mais ligeira

- Reacção ao fogo M0 a M4
atenção aos materiais não tradicionais
- Resistência ao fogo
 - Estável ao fogo – (Estabilidade)
 - Pára-chamas (Estanquidade)
 - Corta-fogo (Estanquidade e isolamento térmico)

Apresentam-se nos Quadros 4.18 a 4.23 a resistência ao fogo de diferentes soluções de paredes de alvenaria com funções de compartimentação.

Quadro 4.18 – Resistência ao fogo de paredes de tijolos de barro vermelho

Resistência ao fogo	Espessura da parede sem revestimento (cm)			
	Tijolos Furados		Tijolos Maciços ou Perfurados	
	s/ rev.	c/ rev.	s/ rev.	c/ rev.
CF 30	7	-	-	-
CF 60	11	7	7	-
CF 90	15	11	-	7
CF 120	-	15	11	-
CF 180	22	-	-	11
≥ CF 240	-	22	22	22

- Os revestimentos são de argamassa de cimento ou de gesso de 1,5 cm de espessura em cada face.

Quadro 4.19 – Resistência ao fogo de paredes de blocos de betão normal

Resistência ao fogo	Espessura da parede sem revestimento (cm)			
	Blocos Furados		Blocos Maciços	
	s/ rev.	c/ rev.	s/ rev.	c/ rev.
CF 30	10	8	-	-
CF 60	12	-	8	-
CF 90	-	10	10	8
CF 120	15	12	-	10
CF 180	-	15	15	-
≥ CF 240	20-25-30	20-25-30	20-25	15-20-25

- Os revestimentos são de argamassa de cimento ou de gesso de 1,5 cm de espessura em cada face.

Quadro 4.20 – Resistência ao fogo de paredes de blocos de betão celular
(massa volúmica – 500 kg/m³)

Resistência ao fogo	Espessura da parede sem revestimento (cm)	
	Blocos Maciços	
	sem revestimento	com revestimento
CF 30	-	-
CF 60	5 *	5 *
CF 90	-	-
CF 120	7 *	7 *
CF 180	10	10
≥ CF 240	15-20-24	15-20-24

- Os revestimentos são de ligantes sintéticos de 0,5 cm de espessura em cada face.
- Estas espessuras são referidas a título indicativo, uma vez que não são recomendadas para a execução de paredes simples de alvenaria.

Quadro 4.21 – Resistência ao fogo de paredes de blocos de betão de argila expandida

Resistência ao fogo	Espessura da parede sem revestimento (cm)			
	Blocos Furados		Blocos Maciços	
	s/ rev.	c/ rev.	s/ rev.	c/ rev.
CF 30	8	-	5 *	-
CF 60	-	-	-	5 *
CF 90	10	8	-	-
CF 120	12	10	10	-
CF 180	-	12	-	10
≥ CF 240	15-20-25	15-20-25	15	15

- Os revestimentos são de argamassa de cimento ou de gesso de 1,5 cm de espessura em cada face.

- * Esta espessura é referida a título indicativo, uma vez que não é recomendada para a execução de paredes simples de alvenaria.

Quadro 4.22 – Resistência ao fogo de paredes de placas e painéis de gesso

Resistência ao fogo	Espessura da parede sem revestimento (cm)			
	Placas Maciças		Painéis Perfurados	
	s/ rev.	c/ rev.	s/ rev.	c/ rev.
CF 30	-	-	-	-
CF 60	-	-	-	-
CF 90	-	-	7	-
CF 120	5 *	-	-	7
CF 180	-	5 *	10	-
≥ CF 240	7-10	7-10	-	10

- Os revestimentos são de argamassa de gesso de 0,5 cm de espessura em cada face.

* Esta espessura é referida a título indicativo, uma vez que não é recomendada para a execução de paredes simples.

Quadro 4.23 – Repertório sobre resistência ao fogo de paredes com função de suporte e compartimentação

Resistência ao fogo	Espessura da parede sem revestimento (cm)			
	Tijolo Maciço ou Perfurado de Barro Vermelho	Bloco Maciço de Betão Normal	Bloco Maciço de Betão Celular	Bloco Maciço de Betão de Argila Expandida
CF 30	-	-	-	-
CF 60	11 *	-	10 *	10 *
CF 90	-	15	-	-
CF 120	-	20	-	12 *
CF 180	-	25	15	-
≥ CF 240	22	-	20-24	15

- Os valores do quadro não se alteram por aplicação dos revestimentos tradicionais.

* Estas espessuras são referidas a título indicativo, uma vez que não são recomendadas para a execução de paredes resistentes por questões de encurvadura.

4.4.2 ADAPTAÇÃO A MOVIMENTOS

- Genericamente são válidas as considerações já referidas para as paredes exteriores
- Grande sensibilidade das paredes interiores à deformabilidade estrutural
- Menor sensibilidade às variações de temperatura
- Menor sensibilidade às variações de humidade por precipitação e condensação

4.4.3 ESTANQUIDADE À ÁGUA

Comportamento adequado face às infiltrações de água de lavagem ou projectada sobre a parede.

4.4.4 CONFORTO TERMOHIGROMÉTRICO

Importante na confrontação com locais não aquecidos.

4.4.5 CONFORTO ACÚSTICO

Apresenta-se no Quadro 4.24 as exigências de acordo com a versão anterior do RGR.

Quadro 4.24 - Isolamento sonoro para sons de condição aérea – la

Utilizações	Requisitos das paredes interiores dos edifícios		
	la (dB)		
Habitação			
– Entre quartos e ou zona de estar do mesmo fogo	40		
– Idem fogos distintos	48		
– Entre quartos ou zonas de estar e zonas comuns ou de equipamentos	48		
– Entre habitações e locais industriais, comerciais ou de espectáculos	48		
	55		
	Paredes interiores entre compartimentos		
Escolar	A	B	C
Compartimento A – Pouco ruidosos	50	50	50
Compartimento B – Ruidosos	50	45	45
Compartimento C – Muito ruidosos	50	45	45
Hospitalar			
– Entre locais com permanência de doentes e circulações	50		
– Entre locais de permanência de doentes	45		
– Entre blocos operatórios, unidades de cuidados intensivos e blocos de partos e anexos	45		
	55		

4.4.6 ADAPTAÇÃO À UTILIZAÇÃO

Aspectos comuns às paredes exteriores

4.4.7 ASSOCIADAS À EXECUÇÃO

Aspectos comuns às paredes exteriores.

4.4.8 ECONOMIA E PRODUTIVIDADE

Aspectos comuns às paredes exteriores

Bibliografia

- [1] Sousa, H. - Materiais para alvenaria – Apreciação de algumas produções e sugestões visando a melhoria da sua qualidade. Tese de Mestrado. FEUP. 1988
- [2] Sousa, H. - Melhoria do Comportamento Térmico e Mecânico das Alvenarias por actuação na geometria dos elementos. Aplicação a blocos de betão de argila expandida. Tese de Doutoramento. FEUP. Porto 1996
- [3] Carvalho E, Oliveira C. Construção Anti-Sísmica – Edifícios de Pequeno Porte. DIT13. LNEC – 4ª Edição. 1997
- [4] LNEC - Construção Anti-Sísmica – LNEC. 1982
- [5] M. Silva, J. - Fissuração das alvenarias. Estudo do comportamento das alvenarias sob acções térmicas. Tese de Doutoramento. FCTUC. Coimbra, 1998
- [6] Sousa, H. et al - Rain in Watertightness of single leaf ant cavity walls – Proceedings of International Symposiums on moisture problems in building walls – Porto – 1995
- [7] Groupe de Coordination des Textes Techniques - DTU 20.1 Parois et murs en maçonnerie de petits éléments. CSBT. Paris, 1985
- [8] BSI – BS 5628. Part 3 - Code of Practice for use of masonry Part 3. Materials and components, design and workmanship. BSI. London 1985
- [9] Paiva, J.V. et al - Patologia da Construção. Documento Introdutório ao tema. 1º Encontro Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação. LNEC, 1985
- [10] Oliveira C. S. et al Monografia- 10 anos após o sismo dos Açores de 1 de Janeiro de 1980. SRHOP. Açores e LNEC 1992
- [11] LNEC Curso de Especialização sobre Segurança Contra Incêndio. Vol I e II. LNEC, Lisboa, 1994
- [12] Santos, S.S. Segurança ao Fogo de Estruturas de Alvenaria. ITES 10, LNEC, Ilsoa, 1994

HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

**CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA
CAPÍTULOS V e VI**

**MATERIAIS PARA ALVENARIAS -
TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO, EXIGÊNCIAS E
CARACTERÍSTICAS**

FEUP 2002

PRELIMINAR (VERSÃO 2)

**MATERIAIS PARA ALVENARIAS -
TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO, EXIGÊNCIAS
E CARACTERÍSTICAS**

ÍNDICE

1. MATERIAIS CERÂMICOS	5
1.1 Processo Industrial	5
1.1.1 Preparação de matéria-prima	5
1.1.2 Conformação	8
1.1.3 Secagem	8
1.1.4 Cozedura	8
1.1.5 Controlo da qualidade	8
1.2 Exigências	9
1.2.1 Exigências Geométricas	9
1.2.2 Exigências Físicas	14
1.2.3 Exigências Mecânicas	16
1.3 Características dos materiais cerâmicos	17
2. BLOCOS DE BETÃO DE AGREGADOS CORRENTES E LEVES	19
2.1 Apresentação do Produto	19
2.2 Processo Industrial	19
2.2.1 Tipo de Máquinas	19
2.2.2 Ciclo Produtivo	19
2.2.3 Agregados	21
2.2.4 Betões	21
2.2.5 Moldagem	23
2.2.6 Cura	23
2.2.7 Controlo de qualidade	23
2.3 Exigências de Carácter Normativo	23
2.4 Principais Exigências Normativas Aplicáveis a Blocos de Betão De Agregados Leves	24
2.4.1 Generalidades	24
2.4.2 - Exigências normativas relativas a blocos de betão de agregados leves	26
2.4.2.1 Características geométricas	26
2.4.2.2 Características físicas	31
2.4.2.3 Características mecânicas	33
2.4.2.4 Recepção do Produto	35
2.5 Principais características	37
3. BLOCOS DE BETÃO CELULAR AUTOCLAVADO	40
3.1 Apresentação do Produto e Processo	40
3.2 Elementos	40
3.3 Principais Exigências	41
4. ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO	42
4.1 Introdução	42
4.2 Propriedades das Argamassas	42
4.2.1. Trabalhabilidade	42
4.2.2. Consistência	43
4.2.3. Capacidade de retenção de água	43
4.2.4. Aderência	44
4.2.5. Resistência à compressão	45
4.2.6. Variações dimensionais	45
4.2.7 Durabilidade	45
4.3 Tipos de argamassas e constituintes	45
4.3.1 Tipos de Argamassa	45
4.3.2 Constituintes	46
4.3.2.1. Cal aérea	46

4.3.2.2. Cal hidráulica	47
4.3.2.3. Cimentos	47
4.3.2.4. Areia	47
4.4 Composição das argamassas.....	49
4.4.1 Aspectos gerais	49
5. REVESTIMENTOS.....	50
5.1 Revestimentos de Paramentos Exteriores.....	50
5.1.1 Classificação	50
5.1.1.2 Revestimentos de Estanquidade	50
5.1.1.3 – Revestimento de Impermeabilização	50
5.1.1.4 Revestimentos de Isolamento Térmico pelo Exterior.....	51
5.1.1.5 – Revestimentos de Acabamento ou Decorativos	51
5.2. Revestimentos de Paramentos Interiores.....	52
5.2.1 Revestimentos de Regularização.....	52
5.2.1.1 De ligantes hidráulicos.....	52
5.2.1.2 De argamassa de cal apagada	52
5.2.1.3 – Com base em gesso	52
5.2.1.4 – De ligantes sintéticos	52
5.2.1.5 – Elementos descontínuos independentes	52
5.2.2 – Revestimentos de Acabamento.....	52
5.2.3 – Revestimentos Resistentes à Acção da Água.....	52
5.2.4 – Revestimentos Decorativos.....	52
5.3 Exigências Funcionais dos Revestimentos de Paredes (ver publicação LNEC).....	53
5.4 Aspectos Fundamentais do Comportamento dos Rebocos.....	53
5.4.1 – Função do Reboco – regularização.....	53
5.4.2 – Aspectos Fundamentais	53
5.5 Fendilhação de Rebocos	53
5.5.1 – Classificação da Fendilhação.....	53
5.5.2 – Causas	53

MATERIAIS PARA ALVENARIAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO, EXIGÊNCIAS E CARACTERÍSTICAS

1. MATERIAIS CERÂMICOS

1.1 Processo Industrial

As fases principais do processo industrial de produção dos cerâmicos de construção para alvenarias são os que esquematicamente se apresentam nas figs. 2 e 3:

- Preparação da Matéria-Prima (pasta)
- Conformação
- Secagem
- Cozedura
- Retirada do forno, escolha (controlo de qualidade) e paletização

A matéria – prima usada é a pasta, existindo vários tipos. Na pasta obtida a partir da argila, existem vários tipos de constituintes com funções complementares:

- Minerais que asseguram a plasticidade
- “Agregados” – esqueleto – quartzo
- Fundentes – formam o vidro “feldspatos”

1.1.1 Preparação de matéria-prima

A preparação da matéria-prima na Cerâmica de Construção é em geral realizada por via Plástica, conforme figura 1:

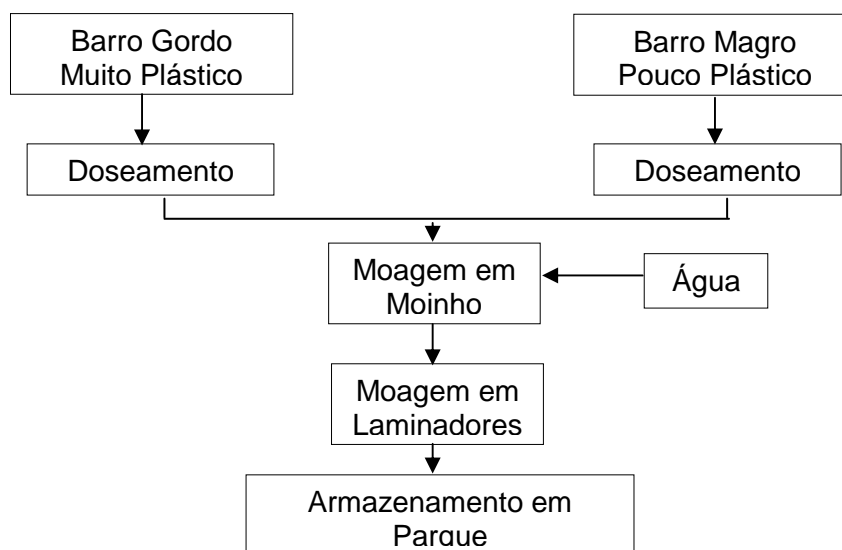


Fig. 1 - Preparação da pasta por via plástica – Processo

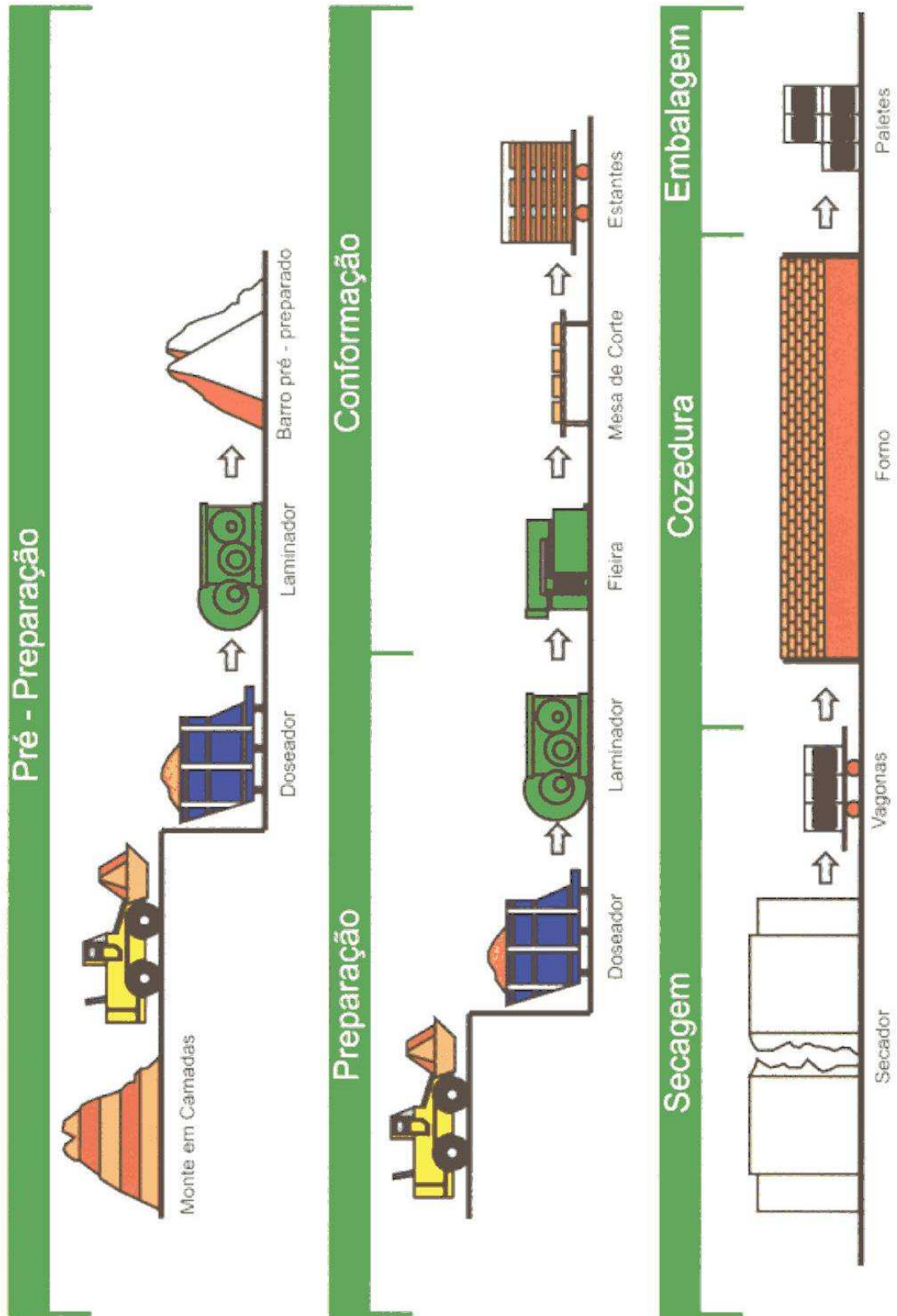


Fig. 2 – Fluxograma do processo de fabrico de tijolos cerâmicos[1]

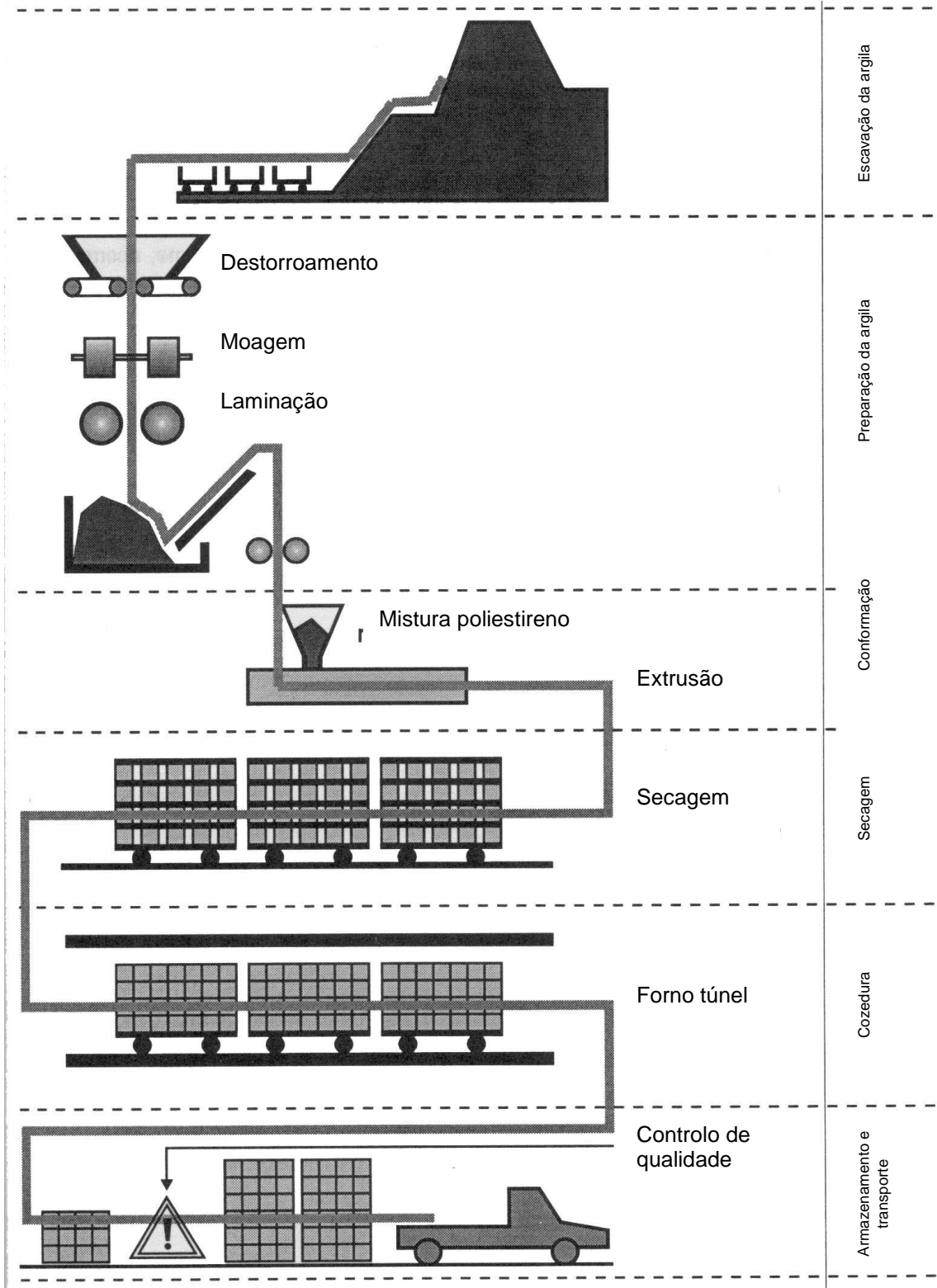


Fig. 3 – Esquemática do processo de fabrico de tijolos cerâmicos alveolados [2] (com recurso a argila aligeirada)

1.1.2 Conformação

Na conformação as técnicas mais correntes são função do tipo de pasta:

- Seca ou semi-seca – prensagem da pasta granulada
- Plástica - à mão
 - extrusão à feira
 - extrusão seguida de prensagem

1.1.3 Secagem

A secagem visa a eliminação rápida da água, com o menor consumo de energia, sem empenos e fissuras dos elementos e de forma a que a água remanescente não prejudique a cozedura. A velocidade de secagem é influenciada pela geometria das peças.

A secagem tem 3 fases:

- Eliminação da água de retracção
- Eliminação da água de preenchimento dos poros (praticamente sem retracção)
- Eliminação da água adsorvida

A secagem pode ser efectuada por processo natural, ao tempo, ou artificial, por recurso a secadores.

1.1.4 Cozedura

Na cozedura os elementos vão ser sujeitos a um aumento gradual de temperatura até à fusão química, com alteração da estrutura da argila, nas seguintes fases:

- Expulsão da água residual – 150 a 200° C
- Combustão da matéria orgânica – < 500° C
- Fusão do quartzo – 573° C
- Decomposição dos carbonatos – 900° C
- Vitrificação – > 900° C

A cozedura ocorre na actualidade em fornos túnel, em geral durante várias horas.

1.1.5 Controlo da qualidade

Neste processo a qualidade da matéria-prima e do processo são decisivos para a qualidade do produto. Em geral a cor é um indicador da origem da matéria-prima e da temperatura de cozedura.

Os principais aspectos a controlar são:

- Controlo da matéria-prima (teor em areia, verificação do processo de dosagem)
- Controlo do fabrico – Laminação – controlo visual
- Conformação – humidade à saída da feira
- Secagem – retracção verde/seco e teor em água residual
- Cozedura – registo contínuo da temperatura de cozedura e sua duração
- Controlo do produto final

Nota: Naturalmente as funções principais do elemento condicionam a sua concepção.

(função mecânica, dimensões, isolamento térmico, facilidade de manuseio, possibilidade de servir de paramento à vista, ...)

1.2 Exigências

As exigências mais importantes aplicáveis aos produtos cerâmicos são as constantes do Quadro 1.

Quadro 1 – Exigências e características mais importantes aplicáveis a cerâmicos para alvenaria

<u>CARACTERÍSTICAS</u>	
Geométricas	Dimensões exteriores Geometria interna Porcentagem de Furacão Tolerância das dimensões exteriores
Físicas	Aspecto e textura Massa volúmica da argila Absorção de água por capilaridade Absorção de água por imersão Eflorescências e sais solúveis Inclusões de cal viva Expansão com a humidade Resistência ao gelo
Mecânicas	Resistência à compressão Resistência à tracção por flexão Módulo de elasticidade
Recepção do Produto	Identificação e data fabrico Ensaio de recepção

1.2.1 Exigências Geométricas

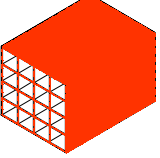
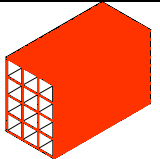
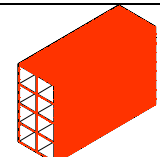
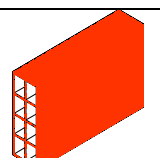
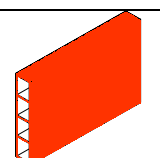
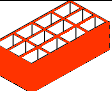
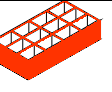
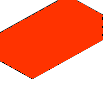
- Dimensões exteriores

Em vários países as dimensões dos cerâmicos para alvenaria não são normalizadas. Em Portugal há dimensões preferenciais que obedecem a princípios de coordenação dimensional, admitindo juntas horizontais de 10 mm e verticais de 5 mm, com uma modulação horizontal múltipla de 30 cm e modulação vertical múltipla de 20 cm. Nos pequenos formatos a modulação é diferente (220x107x10)

Quadro 2 – Dimensões de coordenação e nominais de tijolos e blocos cerâmicos de acordo com a NP-834 e E-309.

	Dimensão (mm)							
	Comprimento				Altura		Espessura	
	Formato base		Formato complementar		Coord.	Nominal	Coord.	Nominal
	Coord.	Nominal	Coord.	Nominal				
Elementos maciços e perfurados	220	220	-	-	70	70	110	107
Furados	300	295	200	195	200	190	70	70
							110	110
							150	150
"Duplex"	300	295	200	195	200	190	220	220
							170	170
							270	270
							320	320

Quadro 3 – Tijolos cerâmicos mais vulgares em Portugal e respectivas características médias

	Forma e dimensões (cm)	Peso aprox. (kg)	Perc. de furação (%)	Resistência à compressão ⁽²⁾ (MPa)
Furação horizontal	 30 x20 x22 ⁽¹⁾	9-10	55-70	2.5-4
	 30 x20 x15 ⁽¹⁾	6-7	50-65	3.5-5
	 30 x20 x11 ⁽¹⁾	4-5	50-65	4.5-5.5
	 30 x20 x7 ⁽¹⁾	3-4	40-60	6.5-7.5
	 30 x20 x4	2-3	40-50	6-7
Furação vertical	 22 x11 x7 ⁽¹⁾	1.5-2.5	25-40	8-9.5
	 22 x11 x5	1.2-1.7	25-40	8-9.5
Sólidos	 22 x11 x7 ⁽¹⁾	3-4	-	11.5-13.5

⁽¹⁾ Dimensões de acordo com normalização

⁽²⁾ Expressa em termos de área aparente dos provetes, não normalizada por factores de forma

Quanto à espessura as dimensões resultam de imposições de desempenho, de acordo com os valores referidos no Quadro 2.

Parece que estas espessuras deveriam ser completadas com valores superiores, para fazer face a maiores exigências, sobretudo sob o ponto de vista térmico, com eventual recurso a elementos alveolados.

A referida norma refere ainda a necessidade de realizar formatos complementares com 195 mm de comprimento para permitir rematar fiadas e executar vãos sem cortar tijolos. Contempla também a possibilidade de se realizarem elementos de maiores dimensões faciais, recomendando 445 mm para o comprimento, 390 mm para a altura e ainda a realização de encaixes nos bordos laterais que permitam melhorar a estabilidade transversal. Todavia a E-309, mais recente, refere a possibilidade de se realizarem comprimentos maiores, 395 e 495 mm.

No Quadro 3 apresentam-se as características principais dos elementos mais usados em Portugal.

- Geometria interna

A geometria interna resulta da percentagem de furação que não pode ser superior a 75% de acordo com a normalização portuguesa. O Eurocódigo 6 (EC 6) classifica os tipos de elementos para alvenaria em grupos (1, 2 e 3) furação da sua percentagem de furação e da sua orientação.

As normas francesas e italianas limitam a espessura mínima dos septos e secções dos alvéolos. No entanto não existem ainda dimensões preferenciais estabelecidas, apenas a NFP13 – 301 () estabelece os intervalos em que se podem situar as dimensões exteriores, função do número de fiadas de alvéolos para blocos correntes e com interrupção de junta horizontal conforme se apresenta nos quadros 4 e 5.

Quadro 4 – Dimensões exteriores permitidas segundo NFP13 – 301, para blocos correntes, função do número de fiadas de alvéolos.

Dimensões	Número de fiadas de alvéolos					
	1	2	3	4	5	26
Comprimento (cm)	20 a 60	20 a 60	20 a 60	20 a 60	20 a 60	20 a 60
Altura (cm)	11 a 40	11 a 40	11 a 25	11 a 25	11 a 25	15 a 30
Espessura (cm)	3 a 7	6 a 13	10 a 19	13 a 25	20 a 30	20 a 32.5

Quadro 5 – Dimensões exteriores permitidas segundo NFP13 – 301, para blocos com interrupção de junta horizontal (ver fig. 4), função do número de fiadas de alvéolos.

Dimensões	Número de Fiadas de Alvéolos		
	5	6	7
Comprimento (cm)	20 a 30	20 a 30	22.5 a 30
Altura (cm)	18.5 a 30	18.5 a 30	18.5 a 30
Espessura (cm)	33 a 60	33 a 60	33 a 60

Na Itália, país onde o estudo e a produção dos materiais cerâmicos estão muito desenvolvidos, o fabrico de produtos cerâmicos para alvenaria tem o seguinte enquadramento normativo:

UNI – 8942 – Parte 1 (1) – Produtos de argila para alvenaria, terminologia e sistema de classificação;

- o número de septos horizontais que estabelecem a ligação central entre as duas partes de cada lado do canal ou canais, não deve ser inferior a três;
- deve haver um septo vertical contínuo na prumada de cada parede lateral do canal;
- é recomendável que os septos horizontais não sejam dispostos em continuidade na direcção da largura do bloco para melhorar o isolamento térmico.

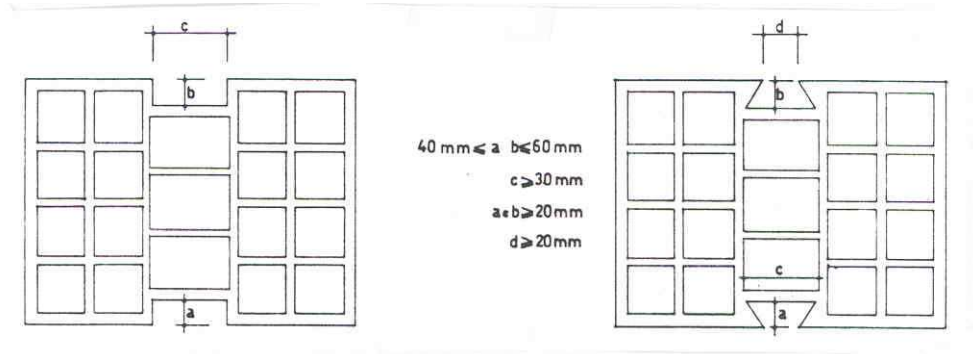


Fig. 4 – Limites dimensionais relativos aos blocos com interrupção de juntas, estabelecidos na E-309

Em França a normalização é mais exigente. Estabelece outros condicionantes geométricos que se vão descrever:

a) NFP13 – 301 () – “Tijolos” vazados:

- Afastamento máximo dos septos verticais, ou no caso de blocos que possam ser assentes ao alto e ao baixo, também dos septos horizontais, de 6 cm.
- Secção dos alvéolos limitada a 28 cm², no caso de blocos de resistência garantida e 35 cm² para os correntes. Os blocos de resistência garantida são caracterizados por resistências médias e mínimas à compressão superiores às dos blocos correntes.
- A espessura dos septos exteriores deverá ser maior ou igual à dos interiores e para os blocos de resistência garantida a espessura média de todos os septos deverá ser 8 mm, não podendo nenhum septo apresentar espessura inferior a 7 mm.
- Nos blocos com interrupção de junta horizontal, preconiza que a ligação central entre as duas partes se faça, no mínimo, por 3 septos horizontais, havendo um septo vertical contínuo na prumada de cada parede lateral do canal e que a largura efectiva do apoio seja, no mínimo, 80% da largura bruta. As exigências dimensionais destes elementos apresentam-se na figura 5.

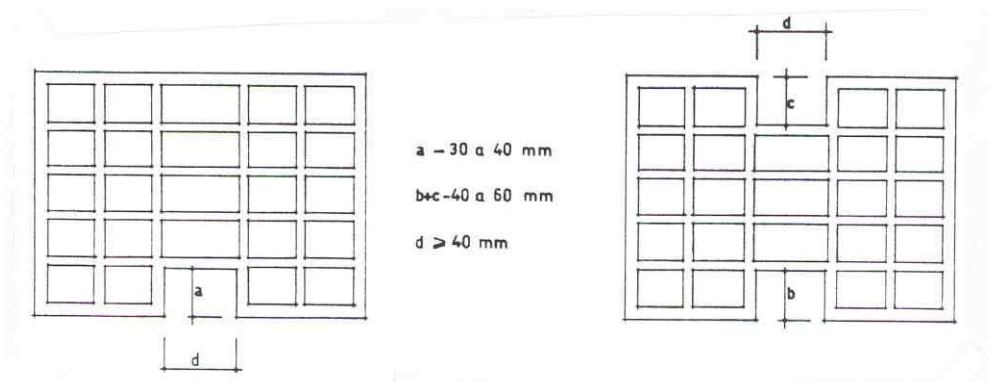


Fig. 5 – Exigências dimensionais para os blocos com interrupção de junta horizontal, segundo NFP13 – 301.

b) NFP13 – 304 – “Tijolos” em argila cozida com paramentos à vista:

- secção de cada orifício inferior ou igual a 6,5 cm²;
- elementos perfurados com largura igual ou superior a 12 cm podem ter um vazio central de maior secção para facilitar a prensão, desde que essa secção não ultrapasse 10% da secção bruta;
- no caso da furação perpendicular à face de assentamento, a espessura mínima dos septos exteriores das faces, podendo ser aparentes, é de 15 mm.

c) NFP13 – 305 – “Tijolos” maciços ou perfurados e blocos perfurados com paramentos rebocados:

- relativamente aos “tijolos” são feitas as duas primeiras exigências apresentadas em b);

quanto aos blocos perfurados referem:

- secção de cada orifício inferior ou igual a 12 cm², salvo se uma das dimensões da secção não ultrapassar 2,5 cm;
- podem apresentar na parte central um ou mais orifícios de maior secção, desde que a secção de apoio represente no mínimo 60% da secção bruta.

d) NFP13 – 306 – Blocos perfurados com paramentos à vista:

- a secção de cada orifício deve ser inferior ou igual a 12 cm², salvo se uma das dimensões da secção não ultrapassar;

- Percentagem de furação

Sintetiza-se no Quadro 6 os limites da percentagem de furação segundo diferentes normalizações.

Quadro 6 – Limites da percentagem de furação segundo diferente normalização

NP	NF	EC6 (CEN)
Tijolo maciço ≤ 15%		1 ≤ 25% (1 ^A)
Tijolo perfurado 15 a 50% (furação vertical)		2A-25 a 45% 2B-45 a 55%
Tijolo furado 30 a 75% (Furação horizontal)	> 40%	3 ≤ 70%

Os elementos dos grupos 2A e 2B têm furação vertical. O grupo 3 tem função horizontal.

- Tolerância das dimensões exteriores

No processo os tijolos estão sujeitos a variações dimensionais com alguma expressão por efeito da secagem e da cozedura. As exigências expressam-se em desvios máximos entre as dimensões de fabrico e as dimensões efectivas normalmente entre 4 a 6 mm.

1.2.2 Exigências Físicas

- Aspecto e textura

O processo de fabrico produz manifestação de diversos defeitos de aspecto, tolerando a normalização alguns defeitos dentro de limites considerados aceitáveis.

As fissuras são o defeito mais frequente sobretudo nos elementos com maior furação sendo limitados em grande parte das normas (a NP não limita objectivamente).

Algumas normas são mais exigentes nos septos exteriores.

É fundamental num processo de controlo de qualidade limitar o número de fissuras.

Outros defeitos:

- Crateras, borbulhas,
- Defeitos de cozedura;
- Defeitos de planeza das faces e ortogonalidade;

- Massa volúmica da argila

As massas volúmicas da argila são:

- Comum ----->1450 kg/m³ (correntemente 1800 kg/m³)
- Alveolada---≤1450 kg/m³

As normas UNI (Italianas) limitam a variação a 8%

- Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade serve para avaliar:

- o comportamento do tijolo à água da chuva;
- capilaridade da face de paramento, por uma expressão referida na normalização francesa:

$$Absorção = \frac{\Delta m}{s\sqrt{t}}$$

Δm – água absorvida

S – área da face em contacto com a água

T – tempo – 10 min.

Exigências – tijolos furados $\leq 15 \text{ gcm}^{-2} \text{ min}^{-1/2}$

– tijolos maciços prensam $\leq 60 \text{ gcm}^{-2} \text{ min}^{-1/2}$

– tijolos perfurados $\leq 30 \text{ gcm}^{-2} \text{ min}^{-1/2}$

A necessidade de molhagem dos tijolos no assentamento (UNI, BS, ASTM);

- Face de assentamento em contacto com a água;
- Duração do ensaio 1 minuto;
- Resultado 8 a 20 gdm⁻²;
- Recomenda-se o humedecimento quando o resultado ultrapassa 15 gdm⁻².

- Absorção de água por imersão

A porosidade aberta é a responsável pela absorção de água sendo função da temperatura de cozedura e da pasta. O seu aumento faz aumentar os poros grandes e diminuir os pequenos e canais capilares, diminuindo a capilaridade e aumentando a resistência mecânica.

Limites (Norma UNI) – 10 a 25% tijolos correntes
15 a 40% argila alveolada

- Eflorescências e sais solúveis

Depósitos de sais que se formam à superfície ou ligeiramente abaixo desta (criptoeflorescência) prejudicam o aspecto e podem provocar destacamentos.

As exigências são mais severas para tijolos à vista.

O ensaio é efectuado colocando a face do tijolo em contacto com a água.

A especificação da NP é pela área com eflorescências que deve ser inferior a 5 cm.

O teor em sais solúveis avalia a possibilidade, sob acção da humidade dos tijolos deteriorarem a argamassa.

A NP 80 limita a 0.5% da massa do provete.

- Inclusões de cal viva

Nas pastas que contêm calcário no processo de cozedura esta passa a cal viva. Com a humidade a cal hidrata com forte aumento de volume provocando, se se encontrar um pouco abaixo da superfície, rotura do elemento, localmente, e mesmo expulsão do revestimento.

Os tijolos são ensaiados em água a ferver (durante 3h) verificando-se o nº e dimensão das crateras.

As exigências são normalmente mais severas para alvenaria à vista.

- Expansão com a humidade

Da expulsão da água na secagem e cozedura a elevadas temperaturas resulta uma situação instável à temperatura ambiente, que só estabiliza após a absorção química de moléculas de água, a qual produz uma expansão irreversível que, quando impedida pode provocar roturas por compressão excessiva.

A fixação das moléculas dá-se na fase amorfa e não na cristalina. A constituição das pastas também é importante.

Há tentativas de na produção atenuar este efeito pela incorporação de carbonato de cálcio moído, pela realização de uma pré-dilatação, injectando água no forno, na fase de arrefecimento (entre 200 a 400 °C).

A normalização francesa especifica ensaios acelerados cujos resultados são correlacionáveis com a situação de temperatura de 20 °C e 80% humidade.

- Provetes recozidos a 600 °C

- Ensaio em banho de água a ferver durante 24h
- Ensaio em autoclave saturada a 180 °C durante 5h

Resultados – 1º ensaio – média ≤ 0.6 mm/m

Valor individual ≤ 0.8 mm/m

2º ensaio – ≤ 1.6 mm/m

- Resistência ao gelo

Importante em tijolos face à vista conhecer o **Coefficiente de saturação** – relação entre o volume de poros preenchidos por imersão em água fria e o volume total de poros, determinado pela imersão em água em ebulição. Quanto menor for este coeficiente melhor pois significa que maior é a percentagem de poros que permitem a expansão da água por congelação, com reduzido risco.

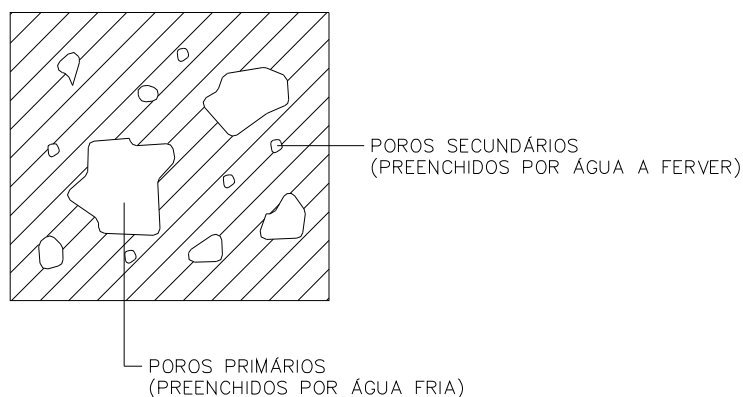


Fig. 6 – Ampliação da estrutura do material

1.2.3 Exigências Mecânicas

- Resistência à compressão

A resistência à compressão dos elementos para alvenaria é convencional, pois é muito influenciada pela técnica de ensaio – rectificação das faces comprimidas e condições de humidade dos provetes.

Quadro 7 – Comparação de técnicas de ensaio e exigências para avaliação de resistência à compressão

TÉCNICAS DE ENSAIO

Norma	N.º Elementos	Rectificação e condicionamento	Velocidade de carregamento
NP 80	6	Argamassa cimento areia. Câmara saturada 2h Imersão em água 4h 6 dias	$\cong 10$ MPa/min
NFP13 – 301	7	Pasta de enxofre	0.1 ± 0.05 MPa/s
UNI 8942	6	Pasta de enxofre ou interposição de folhas de cartão	≤ 2 MPa/s
EN	5 se coef. Var < 15%, senão 10 elementos -	Regularização por desgaste ou com argamassa	Função da resistência esperada

EXIGÊNCIAS

Norma	Média f_{bm}	Tensão de rotura (MPa)	
		característica f_{bk}	Mínima individual
NP – 80	—	—	Categoria A ≥ 4.5 B ≥ 3.0 C ≥ 1.5
NFP13 – 301	cat I ≥ 4.0 cat II ≥ 6.0 cat III ≥ 8.0 correntes ≥ 2.8	—	$\geq 80\%$ do valor médio
UNI	—	\geq valor mínimo nominal -8% coef. var $-\leq 20\%$	—
CEN EN 772 – 1	Valor normalizado mínimo condições de seco ao ar e factor de forma		

- Resistência à tracção por flexão

Pode ser determinada sobre os tijolos sobre septos dos mesmos, secos ou saturados.

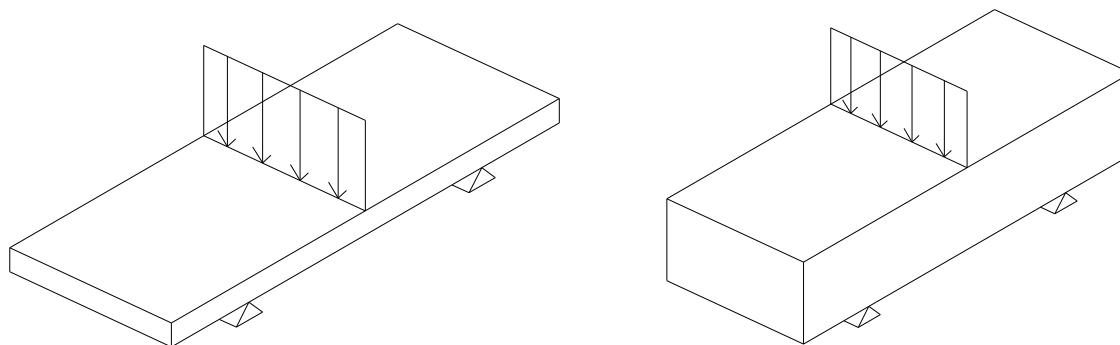


Fig. 7 – Esquema de ensaio de septos e de tijolos à flexão

É correlacionável com a resistência à compressão e com a aptidão da pasta a várias aplicações.

- Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é determinável sobre tijolos maciços ou sobre septos.

1.3 Características dos materiais cerâmicos

As características dos materiais cerâmicos são muito variáveis em função da realidade construtiva de cada país.

Em Portugal a cerâmica privilegia actualmente a função enchimento, recorrendo a tijolo com percentagem elevada de furação, qualidade reduzida e baixa resistência mecânica.

Os tijolos maciços ou perfurados para aplicação à vista tem expressão crescente embora sem assimilação suficiente da tecnologia.

A penetração de produtos espanhóis é crescente.

Noutros países, como a Itália, a França e outros a cerâmica é um domínio com grande dinâmica existindo para além dos produtos tradicionais produtos vocacionados para sistemas não tradicionais sistemas.

O recurso a tijolos realizados a partir de cerâmica alveolada tem vindo a adquirir relevância nesses países.

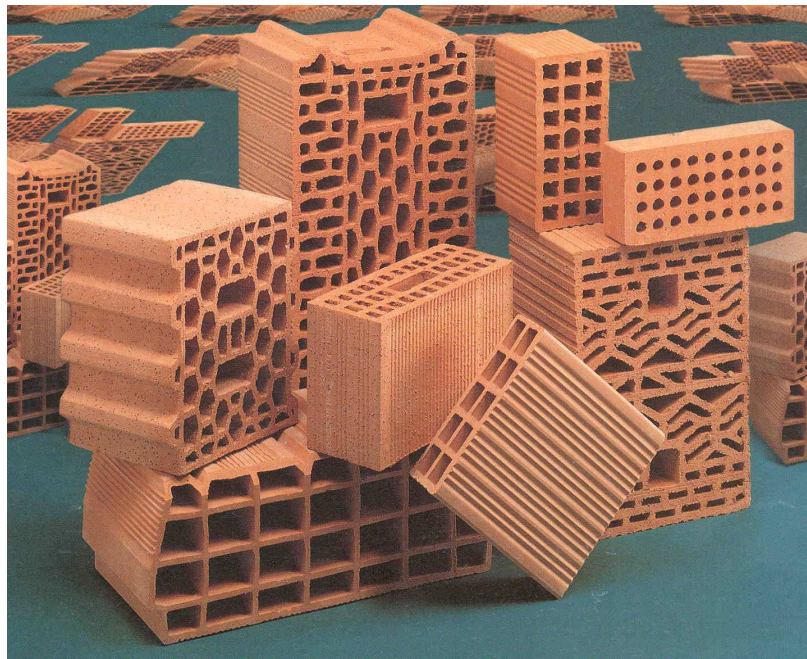


Fig. 8 – Exemplos de elementos de cerâmica alveolada

(*) – Nos agregados leves há um prévio humedecimento com água.

Sublinha-se que este processo é em tudo idêntico ao adoptado noutros produtos industriais do tipo artefactos de betão como lancis, pedra de chão, blocos de cofragem, etc.

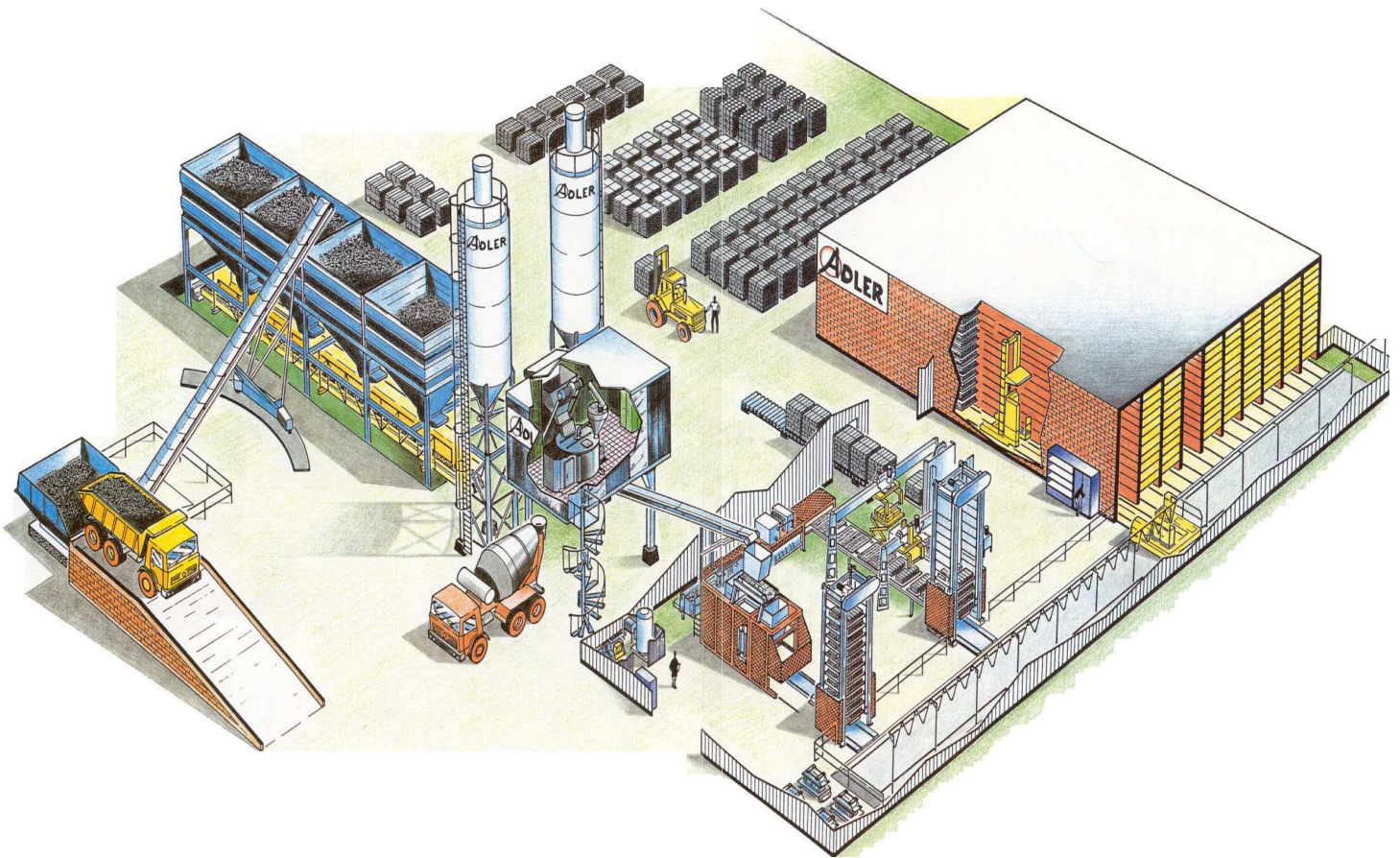


Fig. 9 – Ciclo produtivo de produção de artefactos de betão



Fig. 10 – Exemplo de uma máquina fixa



Fig. 11 – Elevador de transporte de elementos “frescos” ou “verdes” moldados sobre pranchas

2.2.3. Agregados

Os agregados influenciam o desempenho, aspecto e textura dos blocos.

A máxima dimensão do agregado está condicionada pela espessura dos septos. A norma inglesa BS 6073 exige que a espessura dos septos seja maior ou igual a 1.75 máxima dimensão do agregado.

Grandes dimensões dos agregados dificultam a extrusão, criam texturas muito abertas e resistências baixas “em verde”. Nos betões leves há em geral a incorporação de uma areia corrente para melhorar a resistência.

A regularidade da granulometria e humidade dos agregados é fundamental sobretudo porque grande parte dos doseamentos é volumétrica. Existem vários tipos de betões de agregados leves – vide, Quadro 8 com Terminologia e Classificação, de betões leves referidos pela RILEM.

2.2.4. Betões

Os betões para a realização de blocos têm algumas características específicas que os individualizam relativamente aos betões correntes:

- baixa dosagem de cimento;
- muito baixa dosagem de água, para obtenção de betões muito secos;
- dimensão máxima dos agregados limitada;
- requisitos importantes de estabilidade para desmontagem imediata;
- massa volúmica inferior à dos betões correntes ($\cong 2100 \text{ kg/m}^3$ contra 2400 kg/m^3).

A dosagem de cimento está limitada por questões económicas e de retracção.

O ajuste da água é a maior dificuldade das empresas produtoras, dado a resistência do betão fresco condicionar muito a desmoldagem destes produtos:

Quadro 8 – Terminologia e classificação RILEM para betões leves[]

Tipos de betões leves ¹	Betão compacto de agregados leves Betão semi-cavernoso Betão cavernoso Betão celular obtido por reacção química Betão celular obtido por acção física
Tipos de ligantes	Cimento Cal Mistura de cimento e cal Gesso Ligantes orgânicos
Tipos de agregados para betão leve ¹	Materiais naturais preparados ¹ . Pedra-pomes . Escórias e tufos vulcânicos Materiais naturais preparados ¹ . Vermiculite esfoliada . Perlite expandida . Argila expandida ou sinterizada . Xisto expandido ou sinterizado Desperdícios industriais não preparados ¹ . Escória de alto forno . Cinzas volantes Desperdícios industriais preparados ¹ . Escória de alto forno expandida . Cinzas volantes expandidas . Vidro expandido Materiais orgânicos ¹ . Granulado de cortiça
Tipos de cura	Cura a temperatura e pressão normais Cura a temperatura elevada e pressão normal Cura a temperatura e pressão elevada (em autoclave) Métodos combinados de cura

¹ A enumeração dos diferentes exemplos de agregados em cada classe encontra-se reduzida relativamente à recomendação RILEM.



Fig. 12 – Evolução da resistência à compressão do betão fresco com o teor de água

2.2.5. Moldagem

A moldagem condiciona as características do produto, mas é muito variável com os seguintes aspectos:

- máquina, sua energia e força de compactação / vibração;
- tempo de ciclo-enchimento, compactação/vibração e desmontagem;
- moldes -geometria, qualidade, rigidez, etc.;
- pranchas sobre as quais os blocos são moldados.

2.2.6. Cura

Designam-se por cura os processos de manter condições de temperatura e humidade favoráveis à hidratação do cimento, de modo a que se desenvolvam as melhores características do betão.

A cura pode ser natural, com aproveitamento do calor de hidratação, ou acelerada com fornecimento de calor e humidade.

Naturalmente na indústria de produção de blocos de betão há interesse em libertar rapidamente as pranchas e o espaço por elas ocupado.

É corrente a cura por vapor à pressão atmosférica, esta cura tem normalmente 3 fases:

- Subida de temperatura (a um ritmo de 20 a 30 °C/h até cerca de 70 °C);
- Manutenção da temperatura máxima;
- Arrefecimento.

Na cura sem aquecimento a permanência nas câmaras é de 24 a 36 horas, enquanto na cura acelerada com fornecimento de vapor é de cerca de 8 a 16 horas.

Reconhece-se que este processo de cura penaliza a resistência mecânica e reduz as variações dimensionais.

2.2.7. Controlo de qualidade

Os principais aspectos sobre os quais deve incidir o controlo da qualidade são:

- Fixação das características e recepção dos agregados;
- Armazenamento e teor em água dos agregados;
- Estabelecimento da composição, mecanismos de correcção do teor da humidade e calibração do equipamento de medida;
- Aferição dos moldes e controlo dimensional dos blocos, sobretudo altura;
- Duração mínima de cura função do processo adoptado. Controlo da temperatura máxima e do ritmo de crescimento sobretudo na cura a vapor;
- Marcação dos blocos e armazenamento durante tempo suficiente para completar a cura e diminuir a retracção.

2.3 Exigências de Carácter Normativo

São em geral idênticas para blocos de betão de agregados correntes e leves, embora os blocos de betão leve tenham em geral espessuras de septos maiores, maiores variações dimensionais e menores resistências mecânicas.

As características distintivas deste tipo de blocos de agregados leves são:

- espessura septos ≥ 20 mm;
- variações de massa volúmica declarada +100 a -200 kg/m³;
- massa volúmica ≤ 1700 kg/m³.

2.4 Principais Exigências Normativas Aplicáveis a Blocos de Betão De Agregados Leves

2.4.1 Generalidades

Apresenta-se uma síntese comparada das exigências normativas aplicáveis a blocos de betão de agregados leves. Convém ter presente que, com exceção da normativa francesa, as restantes normas são genéricas para diferentes tipos de blocos, pelo que a comparação deverá ser cautelosa, tanto mais que as técnicas de ensaio admitidas na diferente normalização não são idênticas. Recorda-se que de acordo com a normalização francesa, NF P 14-304 [137], se consideram blocos de betão de agregados leves aqueles que apresentam uma massa volúmica seca do betão constituinte não superior a 1700 kg/m³. Sublinha-se ainda que numa forma geral na Grã-Bretanha e nos Estados Unidos da América, os blocos têm geometrias mais simples, caracterizadas pela existência de apenas 2 septos longitudinais exteriores, travados por septos transversais que definem um número reduzido de furos. Estes blocos são correntemente usados em paredes duplas e as suas espessuras têm limites máximos inferiores às espessuras correntes em França, Itália e em Portugal. Este aspecto deve ser tido em conta na comparação de algumas exigências, particularmente as características geométricas.

Utilizaram-se nesta síntese as normas constantes do Quadro 9.

Quadro 9 - Normas exigenciais de blocos de betão correntes de agregados leves analisadas

ORIGEM	NORMA	ANO	DESIGNAÇÃO
França	NF P 14-01 []		Agglomères-Blocs en béton pour murs et cloisons. Definitions
	NF P 14-04 []	1983	Agglomères-Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons
	NF P 14-02 []	1983	Agglomères-Blocs en béton pour murs et cloisons. Dimensions
Grã-Bretanha	BS 6073:1 []	1981	Precast concrete masonry units. Specification for precast concrete masonry units
	BS 6073:2 []	1981	Precast concrete masonry units. Method for specifying precast concrete masonry units
EUA	ASTM C90 []	1990	Load-bearing concrete masonry units
	ASTM C129 []	1990	Non load-bearing concrete masonry units
CEN	pr EN 771-3 [] (draft)	1992	Specification for masonry units - Part 3: Aggregate concrete masonry units (dense and lightweight aggregates)

Sintetiza-se no Quadros as características relativamente às quais essas normas apresentam exigências.

Quadro 10 - Características previstas nas normas exigenciais de blocos de betão de agregados leves

CARACTERÍSTICAS		NORMA
Características geométricas	Forma	NF P 14-304 pr EN 771-3
	Geometria interna	NF P 14-304 BS 6073:1 ASTM C90 e C129 pr EN 771-3
	Dimensões exteriores	NF P 14-402 BS 6073:1 pr EN 771-3
	Tolerância das dimensões exteriores	NF P 14-402 BS 6073:1 ASTM C90 e C129 pr EN 771-3
	Percentagem de furação	NF P 14-101 BS 6073:1 ASTM C90 e C129 pr EN 771-3
	Características físicas	Aspecto e textura
Massa volúmica		NF P 14-304 pr EN 771-3
Variações dimensionais		NF P 14-304 BS 6073:1 ASTM C90 e C129
Absorção de água por imersão		ASTM C90
Características mecânicas	Resistência à compressão	NF P 14-304 BS 6073:1 ASTM C90 e C129 pr EN 771-3
Recepção do produto	Identificação e data de fabrico	NF P 14-304 BS 6073:1 ASTM C90 e C129 pr EN 771-3
	Ensaio de recepção	NF P 14-304 BS 6073:1

2.4.2 - Exigências normativas relativas a blocos de betão de agregados leves

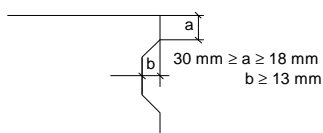
2.4.2.1 Características geométricas

2.4.2.1.1 Forma

a) NF P 14-304

Os topos dos blocos devem permitir a realização de juntas verticais contínuas ou descontínuas, de acordo com a fig. 5.11.

a) Juntas verticais contínuas



b) Juntas verticais descontínuas

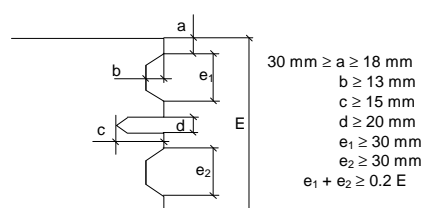


Fig.13 - Configuração dos topos dos blocos segundo NF P 14-304

As faces horizontais dos blocos devem permitir a execução de juntas horizontais contínuas, ou descontínuas. Neste último caso, a largura das partes argamassadas deve ser no mínimo 40% da espessura dos blocos. Além das prescrições anteriores, preconiza-se ainda que a configuração dos blocos deve ser tal que permita a continuidade entre as juntas verticais e horizontais, na caso dos blocos com juntas descontínuas, de acordo com a fig. 5.12 .

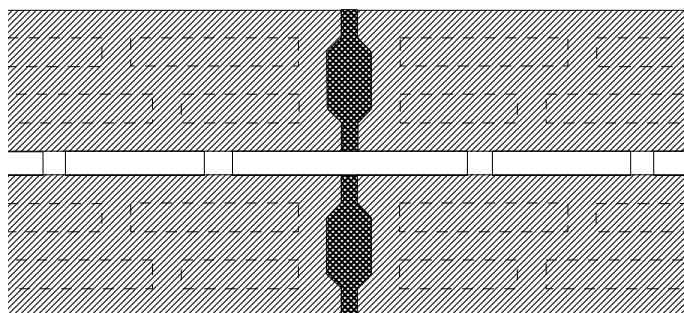


Figura 14 - Disposição preconizada para os blocos com juntas descontínuas, relativamente à continuidade das juntas verticais e horizontais

b) pr EN 771-3

Recomenda que os elementos apresentem reentrâncias ou dispositivos de encaixe nas juntas. Fixa exigências para as arestas, planeza e ortogonalidade das faces, admitindo dois tipos de tolerâncias, normal e fina.

2.4.2.1.2 - Geometria interna

a) NF P 14-304

A espessura dos septos exteriores, medida a meia altura, deve ser no mínimo 20 mm. A espessura da lâmina de betão na face de assentamento, medida ao fundo dos alvéolos- fundo “cego” - deve ser no mínimo 5 mm.

Para os blocos com juntas descontínuas, a largura dos alvéolos que materializam a descontinuidade, medida na face de apoio, deve ser no mínimo 15 mm.

b) BS 6073:1

A espessura mínima dos septos exteriores na face de apoio, não deve ser inferior a 15 mm ou 1.75 vezes a máxima dimensão do inerte.

c) ASTM C90 e C129

Para blocos de betão a utilizar em paredes estruturais, as espessuras mínimas de septos, em função da largura nominal do bloco, são as constantes do Quadro 11, de acordo com a ASTM C 90. Para blocos de betão a utilizar em paredes não resistentes, a espessura mínima para os septos longitudinais exteriores é de 13 mm, de acordo com a ASTM C 129.

d) pr EN 771-3

A espessura mínima dos septos interiores e exteriores na face de apoio não deve ser inferior a 20 mm, ou 1.5 vezes a máxima dimensão do inerte.

Quadro 11- Espessuras mínimas dos septos exteriores e interiores de blocos de betão destinados a paredes estruturais, segundo ASTM C90

ESPESSURAS MÍNIMAS DE SEPTOS (mm)			
ESPESSURA NOMINAL	SEPTOS LONGITUDINAIS	SEPTOS TRANSVERSAIS	
DO BLOCO (mm)	EXTERIORES	ESP. MÍNIMA (mm)	ESP. MÍNIMA EQUIVALENTE ⁽¹⁾ (mm/m)
76,2 e 102	19	19	136
152	32	25	188
203	32	25	188
254	35	29	209
-	32 (2)	29	209
305	38	29	209
-	32 (2)	29	209

(1) - Soma das espessuras de todos os septos transversais do bloco, multiplicada por 12 e dividida pelo comprimento do elemento

(2) - Em condições de carga especiais

2.4.2.1.3 Dimensões exteriores

a) NF P 14-402

As dimensões exteriores nominais dos blocos de betão devem ser as indicadas no Quadro 12 .

As dimensões de coordenação são obtidas a partir das dimensões nominais, adicionando ao comprimento e à altura a espessura da junta, normalmente 10 mm para a junta horizontal e 6 mm para a junta vertical. A espessura de coordenação obtêm-se adicionando à espessura nominal a espessura do reboco em ambas as faces.

Quadro 12 - Dimensões exteriores de coordenação e nominais dos blocos segundo a NF P 14-402

DIMENSÕES EXTERIORES DE COORDENAÇÃO E NOMINAIS						
(mm)						
ALTURA		ESPESSURA		COMPRIMENTO		
COORDENAÇÃO	NOMINAL	COORDENAÇÃO	NOMINAL	COORDENAÇÃO	NOMINAL	
200	190	75	50	300	294	
		100	75			
250	240	125	100	400	394	
		150	125			
300	290	175	150	500	494	
		200	175			
		225	200			
		250	225	600		594
		275	250			
		300	275			
		325	300			
		350	325			

b) BS 6073:1

As dimensões exteriores nominais recomendadas para os blocos de betão são as indicadas no Quadro 13.

c) pr EN 771-3

Limita apenas as dimensões máximas dos elementos aos seguintes valores:

- comprimento 1500 mm, espessura 500 mm, altura 650 mm.

Quadro 13 - Dimensões exteriores nominais dos blocos segundo BS 6073:2

DIMENSÕES EXTERIORES NOMINAIS															
(mm)															
ALT.	COMP.	ESPESSURA													
		60	75	90	100	115	125	140	150	175	190	200	215	220	225
190	390	X	X	X	X	X		X	X		X	X			
140	440	X	X	X	X			X	X		X	X			X
190	440	X	X	X	X			X	X		X		X	X	
215	440	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
290	440	X	X	X	X			X	X		X	X	X		
140	590		X	X	X			X	X		X	X	X		
190	590		X	X	X			X	X		X	X	X		
215	590		X	X	X		X	X	X	X		X	X		X

2.4.2.1.4 Tolerância das dimensões exteriores

a) NF P 14-402

As tolerâncias definidas, para as dimensões efectivas exteriores dos blocos, relativamente às dimensões nominais de fabrico, são as constantes do Quadro 14.

Quadro 14 - Tolerâncias de dimensões exteriores segundo NF P 14-402

TOLERÂNCIA DAS DIMENSÕES EXTERIORES		
(mm)		
ALTURA	ESPESSURA	COMPRIMENTO
± 4	± 4 para espessuras nominais até 100 ± 5 para as restantes	± 5

b) BS 6073:1

Para cada uma das três dimensões do bloco, as tolerâncias definidas para as dimensões efectivas dos blocos, relativamente às dimensões nominais correspondentes, são as constantes do Quadro 15.

Quadro 15 - Tolerâncias de dimensões exteriores segundo BS 6073:1

TOLERÂNCIA DAS DIMENSÕES EXTERIORES		
(mm)		
ALTURA	ESPESSURA	COMPRIMENTO
+3 - 5	± 2 para a média das 7 medições efectuadas em cada bloco ± 4 para qualquer medição individual	+3 - 5

c) **ASTM C90 e C129**

Para cada uma das três dimensões do bloco, a média das medições efectuadas não pode diferir da dimensão nominal mais de 3.2 mm.

d) **pr EN 771-3**

As tolerâncias definidas para as dimensões efectivas dos blocos de betão são as constantes do Quadro 16.

Quadro 16- Tolerâncias de dimensões exteriores segundo pr EN 771-3

TOLERÂNCIA DAS DIMENSÕES EXTERIORES		
(mm)		
TIPO DE TOLERÂNCIA	DIMENSÃO RESULTANTE DA SUPERFÍCIE DO MOLDE	DIMENSÃO RESULTANTE DO ENCHIMENTO
normal	4	5
fina	2	3

2.4.2.1.5 - Percentagem de furação

a) **NF P 14-101**

Para qualquer tipo de agregados, correntes ou leves, a NFP14-101, distingue 3 tipos de blocos:

- Blocos maciços
- Blocos perfurados
- Blocos vazados
- sem qualquer furação
- percentagem de furação não superior a 25%
- percentagem de furação superior a 40 %

A NF P 14-304 obriga ainda a que a superfície de apoio dos blocos seja no mínimo 1/3 da secção bruta, o que equivale a limitar superiormente a percentagem de furação aproximadamente a 67%.

b) BS 6073:1

Para qualquer tipo de agregados, distingue 3 tipos de blocos:

- blocos maciços - sem qualquer furação;
- blocos com furos não atravessantes - com um ou mais alvéolos que não atravessam totalmente o bloco;
- blocos com furos atravessantes - com um ou mais alvéolos atravessando o bloco.

Não estabelece limites para a percentagem de furação.

c) ASTM C90 e C129

Apenas a ASTM C90 distingue entre 2 tipos de blocos:

- blocos maciços - percentagem de furação não superior a 25%;
- blocos furados - todos os que não sejam maciços e aos quais se aplicam apenas as exigências de espessuras mínimas de septos.

d) pr EN 771-3

Não fixa exigências. Com carácter informativo refere a seguinte classificação, sob o ponto de vista de percentagem de furação:

- elementos maciços ou equivalentes - furação vertical limitada a 25%;
- elementos perfurados - furação vertical maior que 25 % e não ultrapassando 50 %;
- elementos vazados - furação vertical superior a 50 %;
- elementos furados horizontalmente - furação horizontal não superior a 50 %.

2.4.2.2 Características físicas

2.4.2.2.1 Aspecto e textura

a) NF P 14-304

Os blocos não devem apresentar defeitos aparentes como fissuras ou deformações. As suas faces devem ser planas e as arestas rectilíneas. A textura das faces deve ser suficientemente rugosa para assegurar uma boa aderência dos rebocos e da argamassa das juntas.

b) BS 6073:1

Refere apenas que as faces e os topos dos blocos devem ser perpendiculares entre si, respeitando as tolerâncias dimensionais.

c) ASTM C90 e C129

Os blocos não devem apresentar fissuras ou outros defeitos que interfiram com o seu assentamento, provoquem redução da resistência ou durabilidade da construção. Pequenos defeitos, acidentais no processo de fabrico, ou resultantes dos processos habituais de transporte, carga e descarga não são motivo de rejeição. Os blocos para revestir devem apresentar rugosidade suficiente para garantir uma boa aderência.

2.4.2.2.2 Massa volúmica

a) NF P 14-304

A massa volúmica seca do betão constituinte dos blocos não deve afastar-se de + 100 kg/m³ a - 200 kg/m³ do valor nominal declarado pelo fabricante. A massa volúmica seca do betão constituinte dos blocos não deve ultrapassar 1700 kg/m³.

b) pr EN 771-3

A massa volúmica seca do bloco e a massa volúmica seca do betão constituinte, não podem diferir mais de $\pm 7.5 \%$ do valor declarado pelo fabricante.

2.4.2.2.3 Variações dimensionais

a) NF P 14-304

As variações dimensionais, obtidas em condições convencionais definidas na técnica de ensaio, de retracção por secagem e de expansão por imersão, contadas a partir da data de fornecimento, têm os seguintes limites:

- variação dimensional entre estados convencionais extremos, de retracção e expansão $\leq 450 \times 10^{-6}$;
- amplitude da expansão convencional $\leq 300 \times 10^{-6}$.

b) BS 6073:1

As variações dimensionais por retracção, em condições convencionais de ensaio, não podem exceder 600×10^{-6} .

c) **ASTM C90 e C129**

As variações dimensionais por retracção, em condições convencionais de ensaio, não podem exceder 650×10^{-6} .

2.4.2.2.4 Absorção de água por imersão

a) **ASTM C90**

Esta norma especifica para blocos com funções estruturais, as absorções de água por imersão, em função da massa volúmica do betão, constantes do Quadro 17

Quadro 17 - Absorção máxima de água por imersão de blocos de betão com função resistente, segundo ASTM C90

TIPO DE BETÃO DO BLOCO (1)	ABSORÇÃO MÁXIMA DE ÁGUA POR IMERSÃO (kg/m ³)
LEVE ≤ 1682 kg/m ³	288
MÉDIO 1682 a 2002 kg/m ³	240
NORMAL ≥ 2002 kg/m ³	208

(1) - massa volúmica seca do betão constituinte dos blocos

2.4.2.3 Características mecânicas

2.4.2.3.1 Resistência à compressão

a) **NF P 14-304**

Os blocos devem apresentar no mínimo, à data de fornecimento, a resistência característica à compressão, expressa relativamente à secção aparente do bloco, constante do Quadro 18. Independentemente destes resultados, nenhum valor individual pode ser inferior a 80 % dessa resistência.

b) **BS 6073:1**

Blocos de espessura igual ou superior a 75 mm deverão apresentar resistências médias à compressão, expressas relativamente à secção aparente do bloco, não inferiores a 2.8 MPa. Qualquer mínimo individual não deverá ser inferior a 2.25 MPa.

Os blocos de espessura inferior a 75 mm deverão apresentar resistências médias à flexão iguais ou superiores a 0.65 MPa.

Quadro 18 - Classes e resistências características de blocos de betão de agregados leves segundo NF P 14-304

CLASSES DE RESISTÊNCIA			
BLOCOS MACIÇOS E PERFURADOS		BLOCOS VAZADOS	
CLASSE	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (MPa)	CLASSE	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA (MPa)
L35	3.5	L25	2.5
L45	4.5	L40	4.0
L70	7.0		

c) ASTM C90 e C129

De acordo com estas normas a resistência à compressão expressa-se relativamente à secção efectiva e não relativamente à secção aparente como é comum na restante normalização.

Os blocos devem apresentar resistência à compressão, função da utilização dos mesmos, de acordo com o Quadro 19. Os blocos para utilização não estrutural deverão ter essa indicação assinalada de forma inequívoca, para excluir a sua utilização como blocos estruturais.

Quadro 19 - Resistência média e mínima à compressão de blocos de betão, em função da sua utilização, segundo ASTM C90 e C129

UTILIZAÇÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO ⁽¹⁾ (MPa)	
	MÉDIA DE 3 BLOCOS	MÍNIMA
ESTRUTURAL	13.1	11.7
NÃO ESTRUTURAL	4.14	3.45

(1) Expressa como quociente entre a carga de rotura e a secção efectiva do bloco, diferente das outras normas em análise

d) pr EN 771-3

O valor mínimo da resistência à compressão, expressa relativamente à secção aparente, de qualquer elemento, não pode ser inferior a 1.8 MPa. O valor médio deverá ser maior ou igual a 1.25 o valor mínimo.

2.4.2.4 Recepção do Produto

2.4.2.4.1 Identificação e data de fabrico

a) NF P 14-304

A data de fabrico e a identificação da empresa produtora devem figurar no mínimo em 5% dos blocos (excepto nos blocos de 50 e 75 mm em que essa percentagem pode ser reduzida a 3%). As guias de remessa devem conter a indicação da data de fabrico mais recente. São dadas indicações relativamente ao tempo mínimo de permanência em parque para que, atendendo às condições de fabrico, os blocos apresentem características de acordo com o especificado na norma. Para os blocos de agregados leves não titulares do direito de utilização da marca de conformidade *NF*, esse prazo é de 6 semanas. Para os blocos titulares desse direito o prazo pode ser reduzido, nunca sendo no entanto inferior a 10 dias.

b) BS 6073:1

A guia de remessa ou certificado do fornecedor deve conter a seguinte informação para cada fornecimento:

- identificação do produtor;
- resistência à compressão dos elementos de acordo com a norma em apreço;
- dimensões exteriores dos blocos;
- tipo de bloco, em termos de percentagem de furação, de acordo com 5.8.2.1.5 b).

c) ASTM C90 e C129

Especificam apenas que à data de expedição os blocos devem apresentar características conformes às especificadas nas normas. Os blocos para utilização não estrutural devem ter essa informação assinalada de forma inequívoca.

d) pr EN 771-3

A embalagem ou a guia de remessa devem conter no mínimo a seguinte informação:

- identificação do produtor;
- data de produção.

Deve haver um sistema de identificação claro dos elementos, preferencialmente através de marcação dos mesmos.

2.4.2.4.2 Ensaio de recepção

a) NF P 14-304

As condições de recepção são as que seguidamente se descrevem, excepto para os produtos titulares da marca NF, certificados por entidade independente, de acordo com o definido no regulamento da marca .

As características a controlar são as seguintes:

- aspecto;
- características geométricas;
- amplitude das variações dimensionais;
- massa volúmica;
- resistência à compressão.

A recepção é efectuada para cada tipo de bloco ou classe de resistência solicitada. As verificações e ensaios são efectuados num Laboratório aceite pelo fornecedor e comprador. A data de ensaio é acordada entre as partes.

O fornecimento é dividido em lotes de 5000 blocos no máximo, procedentes duma mesma produção. Um fornecimento ou uma fracção inferior a 5000 blocos são tratados como um lote. Constituem-se duas amostras, 1 e 2, de 15 e 20 blocos cada, retirados aleatoriamente do lote e marcados de forma a identificar o lote e a amostra a que pertencem.

As verificações são efectuadas sucessivamente para as características atrás enunciadas, sendo o número de elementos requeridos para ensaio de cada uma das características o constante do Quadro 20. Em caso de rejeição de um lote por não conformidade de uma das características os ensaios restantes não são efectuados. A recepção é decidida através dum plano de amostragem duplo por atributos, servindo a amostra nº 2 para comprovação em caso de não conformidade da amostra nº 1. Os blocos titulares da marca *NF* não estão em geral sujeitos a ensaios de recepção, salvo no que respeita à marcação.

Quadro 20 - Número de elementos constituintes das amostras, para ensaios de recepção, segundo NF P 14-304

CARACTERÍSTICAS A CONTROLAR	Nº DE ELEMENTOS REQUERIDOS POR FORNECIMENTO DE 5000 OU FRACÇÃO	
	AMOSTRA Nº 1	AMOSTRA Nº 2
Aspecto	15	8
Características geométricas	8	8
Variações dimensionais	6	2 x 6
Massa volúmica	3	2 x 3
Resistência mecânica	8	8

b) BS 6073:1

Deve-se colher uma amostra representativa para ensaios de recepção. Cada amostra deve ser marcada para identificação do fornecimento e do tipo de bloco. A data de colheita e de fabrico devem ser registadas. A amostra deve ser protegida de condições atmosféricas extremas.

O número de elementos constituintes da amostra para a realização dos ensaios é o constante do Quadro 21

Quadro 21 - Número de elementos constituintes da amostra para ensaios de recepção segundo BS 6073:1

CARACTERÍSTICAS A CONTROLAR	Nº DE ELEMENTOS REQUERIDOS POR FORNECIMENTO DE 1000 OU FRACÇÃO	
	ESPESSURA \geq 75 mm	ESPESSURA < 75 mm
	Dimensões	10 (disponíveis para ensaios subsequentes)
Resistência à compressão	10	-
Resistência à flexão	-	5
Variações dimensionais por retracção	4	4

2.5 Principais características

Os blocos de betão podem ser muito diversos, função da aplicação pretendida e das tecnologias de execução.

Os elementos podem ser maciços, perfurados ou vazados, com diferentes geometrias, texturas da superfície e acabamento superficial.

Podem existir blocos coloridos, preparados para aplicação à vista e com texturas especiais.

Existem também blocos com formatos especiais para utilizações específicas.

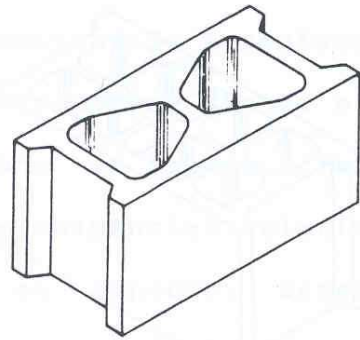
Existem no entanto concepções diversas da geometria dos blocos, função da tradição construtiva de cada país.

Duma forma geral a tradição anglo-saxónica (EUA, UK, Canadá) aponta para blocos com geometria mais simples, com menos septos e larguras limitadas. Os furos são em geral atravessantes e a argamassagem é apenas parcial.

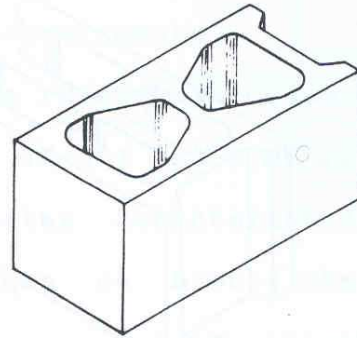
Noutros países como a França, Itália e em parte Portugal os blocos apresentam mais septos, os orifícios são de menor dimensão e a maior parte dos furos são não atravessantes.

Esta diferença tem a ver com a tradição construtiva dos diferentes países.

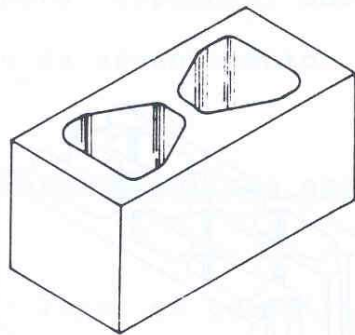
Enquanto nos 1.^{os} os blocos se destinam fundamentalmente a panos interiores de paredes duplas, no 2.^o caso constituem frequentemente panos exteriores simples.



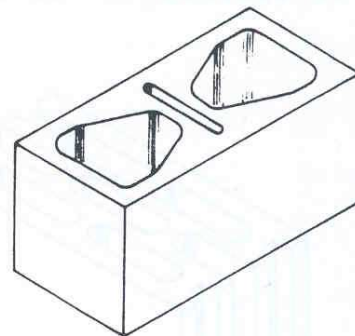
Corrente



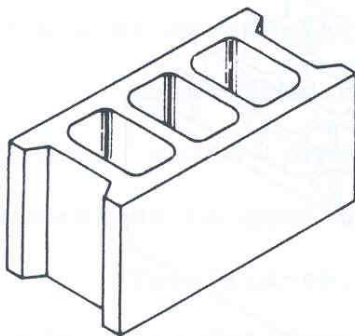
**Um topo plano
(canto simples)**



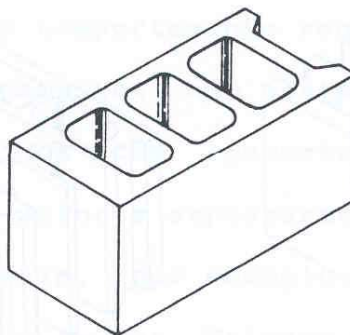
**Dois topos planos
(canto duplo ou pilar)**



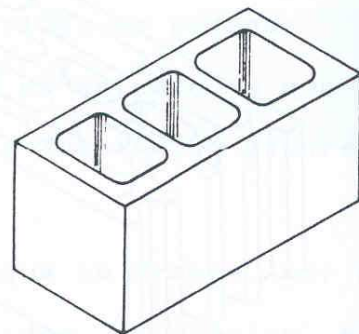
(a) - Blocos de 2 furos



Corrente

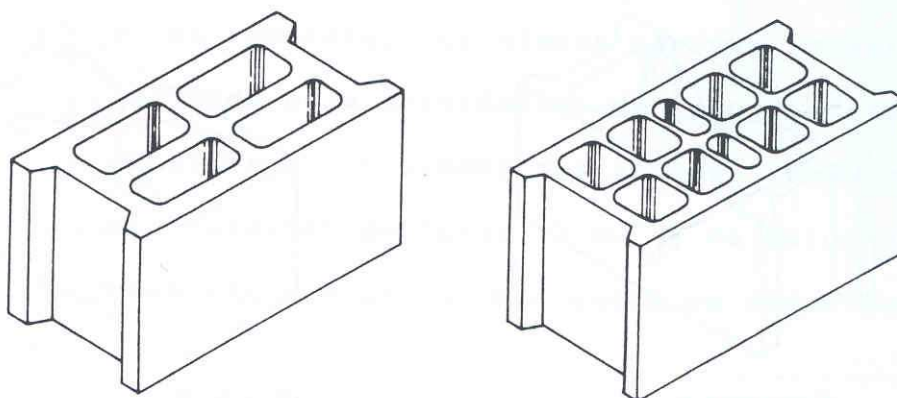


**Um topo plano
(canto simples)**

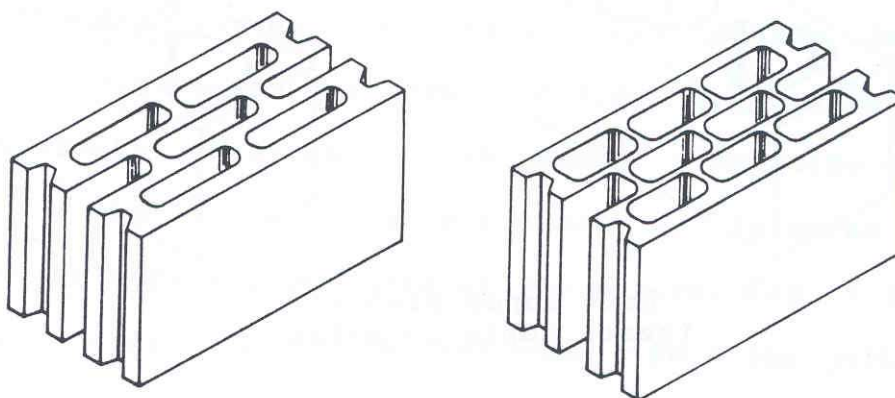


**Dois topos planos
(canto duplo ou pilar)**

Fig. 15 – Blocos correntes anglo-saxónicos

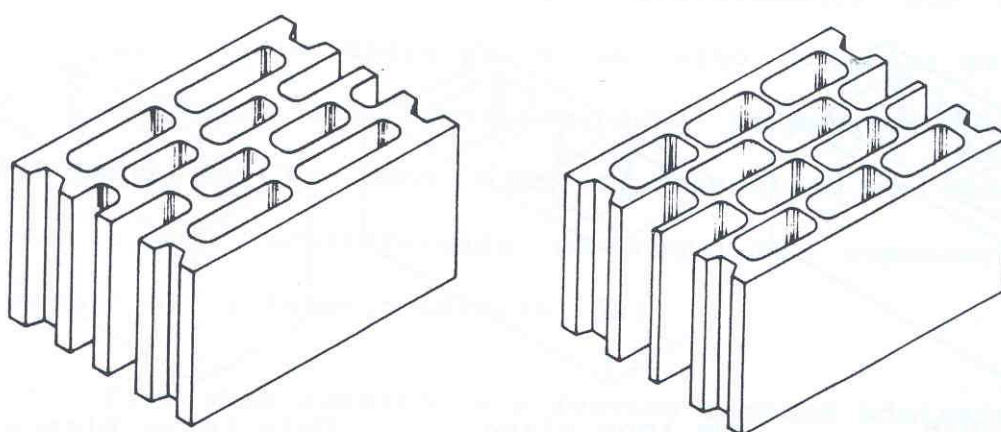


(a) - Blocos 400 mm x 200 mm x 200 mm



(b) - Blocos 400 mm x 200 mm x

200 mm
225 mm
250 mm



(c) - Blocos 400 mm x 200 mm x

275 mm
300 mm
325 mm

Fig. 16 – Blocos correntes da Europa do Sul

3. BLOCOS DE BETÃO CELULAR AUTOCLAVADO

3.1 Apresentação do Produto e Processo

Produtos do tipo silico-calcário, obtidos em autoclave sob pressão de vapor por reacção em presença de água entre os componentes de uma mistura de ligantes hidráulicos, cal e agregados finamente moídos nos quais foi incorporado pó de alumínio destinado a criar uma multiplicidade de pequenas células de repartição uniforme.

A estrutura é homogénea e não comporta outras cavidades além das células.

Os elementos são obtidos por corte a partir de grandes blocos.

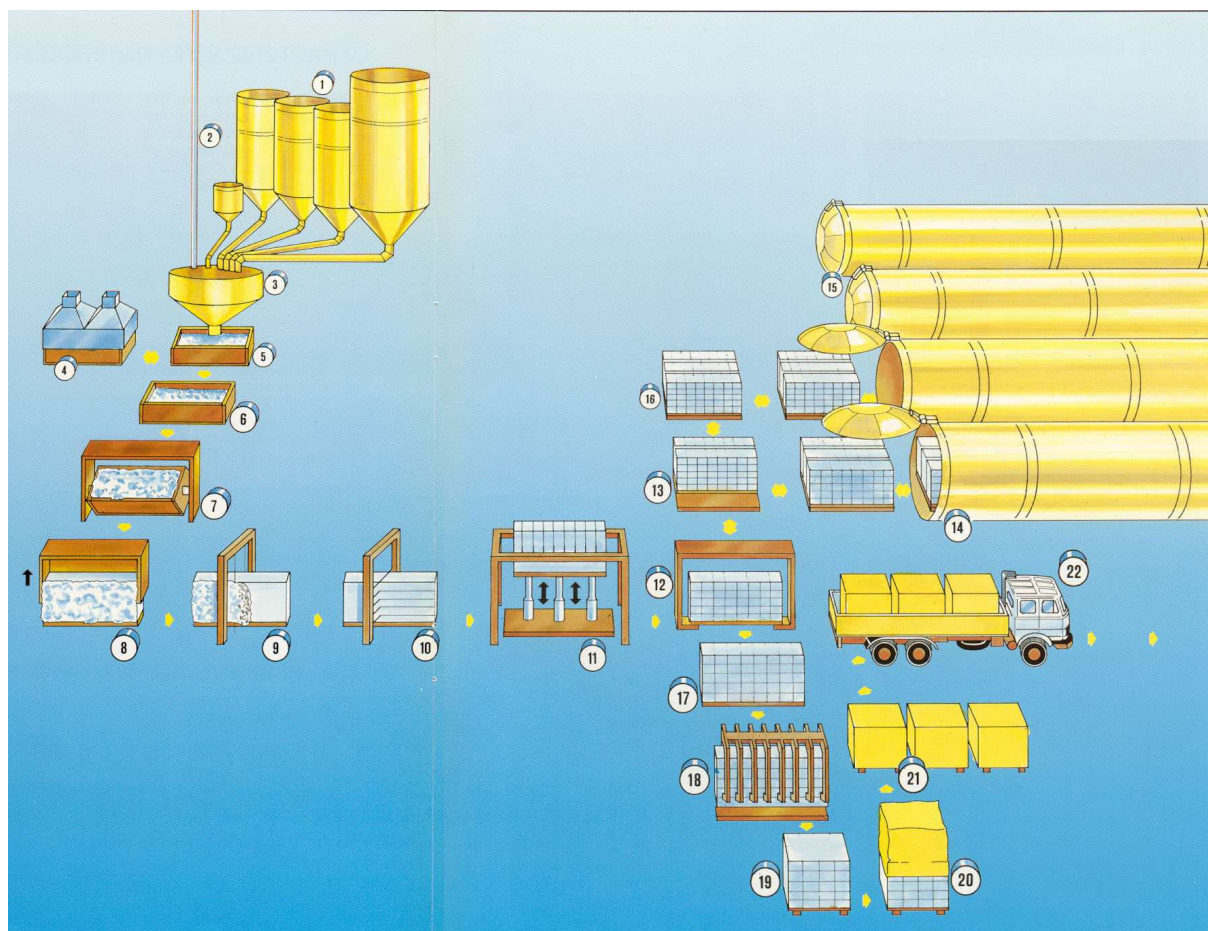


Fig. 17 – Esquema da produção de blocos celulares autoclavados

3.2 Elementos

Os elementos maciços, paralelepípedicos:

- Maior dimensão ≤ 76 cm
- Espessura ≥ 7 cm
- Diferentes massas volúmicas
- Assentamentos com juntas coladas ou argamassadas
- Paredes rebocadas com argamassa adequada

3.3 Principais Exigências

- Características gerais:
 - Aspecto
 - Textura superficial

- Características geométricas:
 - Tolerâncias para juntas coladas e argamassadas diferenciadas

- Características físicas:
 - Massa volúmica nominal aparente – limites de variação – classes 400 a 800 Kg/m³
 - Resistência característica à compressão
 - Resistência em tracção por flexão
 - Estabilidade dimensional
 - Absorção de água por capilaridade

4. ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

4.1 Introdução

Embora a argamassa tenha, no volume da parede, um peso aparente reduzido, a sua influência no desempenho da parede é bastante superior. Em termos estéticos confere cor e textura à alvenaria. Em termos funcionais aglutina os elementos, garante a estanquidade ao ar e à humidade e liga-se a outros constituintes e componentes. Em termos construtivos e mecânicos a resistência é condicionante como a trabalhabilidade e a resistência dos elementos.

4.2 Propriedades das Argamassas

Neste século o cimento portland tornou-se o principal constituinte das argamassas bem como do betão. No entanto os princípios usados para produzir betões resistentes e duráveis não são aplicáveis às argamassas.

No betão a propriedade física mais importante é a resistência à compressão. Nas argamassas a resistência à compressão é apenas uma de várias propriedades importantes (aderência e durabilidade).

Estas qualidades das argamassas são influenciadas por 3 conjuntos de diferentes propriedades que se interagem:

- propriedades da argamassa plástica – (trabalhabilidade, retenção de água, consistência inicial e consistência após sucção)
- propriedades da argamassa endurecida – (aderência, durabilidade, variações dimensionais e resistência à compressão)
- propriedades argamassa/unidades

4.2.1. Trabalhabilidade

- A trabalhabilidade influencia a maior parte das outras propriedades e não só a facilidade de execução. A trabalhabilidade não é facilmente quantificável, pois não há testes que permitam a sua determinação.
- A trabalhabilidade é uma propriedade complexa que depende da aderência, coesão, densidade, espalhamento, plasticidade e viscosidade.
- De uma forma genérica areias bem graduadas e arredondadas, inclusão de cal, ar e aumento da água de amassadura melhoram a trabalhabilidade.
 - a cal melhora a plasticidade e aumenta a capacidade de retenção de água;
 - o ar introduzido funciona como lubrificante embora reduza a resistência mecânica;

As variações nas unidades e nas condições ambientais afectam a trabalhabilidade e consistência da argamassa.

→ elementos mais pesados requerem argamassas mais densas para evitar assentamentos ou fuga da argamassa pelas juntas;

- A trabalhabilidade é em geral facilmente reconhecida pelo pedreiro e difícil de especificar.
- Os ensaios normalmente previstos sobre as argamassas frescas dão indicações importantes quanto à trabalhabilidade:
 - consistência
 - capacidade de retenção de água

4.2.2. Consistência

Conforme a pasta de ligante envolve os grãos de areia distinguem-se 3 consistências:

- seca — a pasta preenche apenas os vazios e os grãos fazem um contacto entre si – argamassas ásperas;
- plástica — a película de pasta “molha” a superfície dos grãos, garantindo boa aderência, lubrificação e boa trabalhabilidade;
- fluída — os grãos estão submersos na pasta, sem coesão, argamassas segregáveis e com baixa resistência ao deslizamento.

As argamassas adequadas ao assentamento de alvenarias são as plásticas. Os factores influentes são:

- relação areia/ligante
- relação ligante/areia
- granulometria da areia
- natureza e finura do ligante

A consistência é em geral estabelecida pelo pedreiro e vai-se reduzindo ao longo do tempo por evaporação, devendo ser corrigida pelo pedreiro, desde que não se tenha iniciado a hidratação (aproximadamente até 2.00h). Métodos de avaliação da consistência:

- sonda de vicat (ASTM C780) – profundidade de penetração da agulha expressa em mm;
- ensaio de espalhamento (ASTM C109) – amostra tronco-cónica sujeita a movimentos adiar induzidor por uma mesa durante um certo intervalo de tempo. No fim mede-se o aumento de diâmetro relativamente ao inicial.

É importante ter presente que a consistência inicial da argamassa reduz-se após a colocação sobre os elementos para alvenaria por sucção destes.

4.2.3. Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água avalia a facilidade com que a argamassa perde parte da sua água de amassadura quando em contacto com um material absorvente e mesmo por evaporação.

Argamassas com boa capacidade de retenção de água deverão manter a sua consistência plástica durante o tempo necessário ao assentamento.

Unidades muito absorventes deverão ser pré-humedecidas, mas os de origem cimentícia (blocos de betão) não deverão humedecidos, devendo ser a própria argamassa que resiste a essa sucção.

Convém que as unidades não flutuem na argamassa, no caso de argamassas com boa retenção de água e unidades pouco absorventes, nem o inverso.

A avaliação da retenção de água pode ser efectuada medindo a consistência por espalhamento inicial e após contacto com a superfície absorvente. Existe um ensaio (ASTM C91) que consiste no seguinte:

- sujeitar uma argamassa com consistência inicial de $110 \pm 5\%$ a uma depressão de 51 ± 3 mm de mercúrio durante 60 segundos medindo-se no fim a consistência após sucção que não deverá ser inferior a 75%, de acordo com especificação das normas ASTM.

Como já se referiu a retenção de água melhora com a dosagem de cal, aumento do teor em ar, utilização de areias finas, adjuvantes e ligantes adequados.

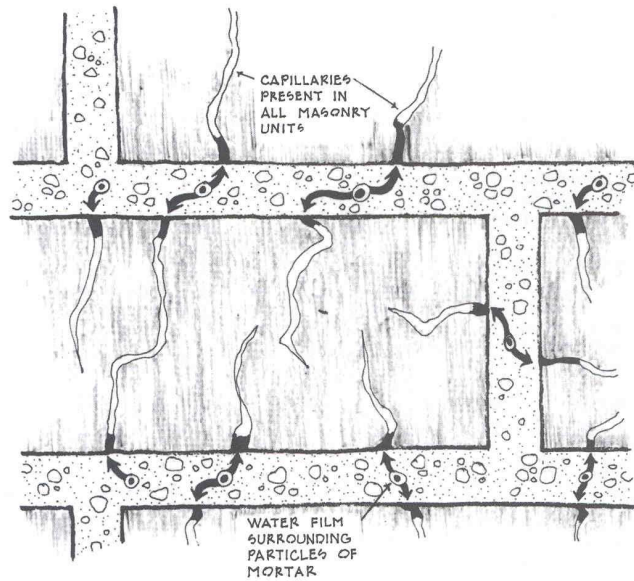


Fig. 18 – Aspecto da sucção de umidade da argamassa pelas unidades

4.2.4. Aderência

A aderência da argamassa é uma propriedade que inclui:

- extensão da área de contacto unidade/argamassa;
- aderência argamassa/unidades.

A aderência pode ser avaliada por ensaios de tracção ou flexão. A unidade deverá apresentar irregularidades e uma absorção que garantam uma aderência suficiente.

A aderência depende bastante da ligação mecânica dos cristais de cimento hidratado nos poros da superfície das unidades. Absorção excessiva prejudica a hidratação.

Condições de cura húmidas após construção melhoram a aderência. A textura superficial também é importante. Grãos britados e as superfícies cortadas asseguram melhores ligações mecânicas do que superfícies moldadas ou extrudidas.

Em condições idênticas a aderência cresce com o aumento da resistência à compressão.

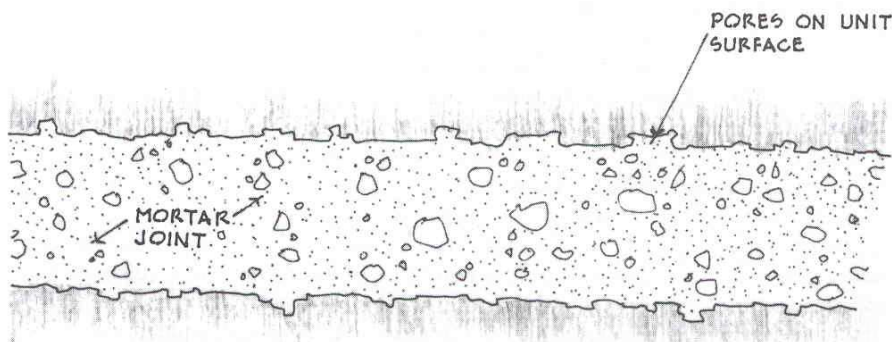


Fig. 19– Ampliação de uma junta com ilustração da aderência

O assentamento é decisivo na aderência. O preenchimento total da junta assegura um contacto total e reduz a penetração potencial de água. O movimento das unidades após assentamento prejudica muito a aderência.

A determinação experimental é difícil. O simples levantamento de um elemento assente permite verificar se a argamassa aderiu a toda a superfície, sem bolhas de ar ou áreas não aderentes.

4.2.5. Resistência à compressão

É a característica da argamassa endurecida mais fácil de determinar e de maior reprodutibilidade, sendo por isso a mais usada quer para a identificação da argamassa, quer para o seu controlo de qualidade e classificação para utilização estrutural. No entanto a sua influência na resistência à compressão da alvenaria é relativamente modesta. Por outro lado como o crescimento da resistência prejudica em geral outros aspectos como a consistência e a aderência, com frequência prejudica-se aquela a estas características.

De forma simplificada a resistência da argamassa aumenta com a quantidade e resistência do cimento e diminui com o aumento da dosagem de cal, de água e ar introduzido. Areias finas em excesso reduzem também a resistência. Ao contrário dos betões não é possível melhorar a resistência das argamassas por redução da água o que comprometeria a trabalhabilidade. Nas argamassas são correntes razões água/ligante superiores a 1.

A caracterização das argamassas é feita por ensaios em prismas 40x40x160 previamente ensaiadas à flexão (ensaiam-se as metades) ou pequenos cubos de 70 ou 100 mm de aresta. Após desmoldagem a cura é efectuada em ambiente saturado ou por imersão. É vulgar ensaiar aos 7 e 28 dias.

4.2.6. Variações dimensionais

As variações dimensionais podem resultar da cura, ciclos de humedecimento e secagem, variações dimensionais e constituintes expansivos. Em algumas situações estas variações podem ser significativas.

Argamassas ricas podem ter retracções significativas se tiverem grandes conteúdos de água e estiverem sujeitas a ciclos alternados secagem/embebição. Compostos químicos chegam a provocar a desintegração da alvenaria.

4.2.7 Durabilidade

Durabilidade é um indicador de resistência aos agentes climatéricos e ao envelhecimento, particularmente aos ciclos gelo-degelo.

A resistência à compressão é um bom indicador da durabilidade. No entanto muitos outros factores condicionam a durabilidade como sejam a concepção da parede, a qualidade de execução, etc.

Um bom comportamento aos ciclos gelo-degelo é conseguido pela inclusão de cal, introdutores de ar e boas aderências.

4.3 Tipos de argamassas e constituintes

4.3.1 Tipos de Argamassa

Os construtores egípcios, 2700 anos A.C. usavam argamassas em alvenarias, como mistura de gesso cozido e areia, na construção das pirâmides. Os construtores gregos e romanos usavam argamassas de gesso, cal e materiais vulcânicos, mas apenas no sec. XIX se generalizavam as argamassas de cimento portland.

Tradicionalmente as argamassas são uma mistura de ligantes, um ou mais, com areia e água com adição de eventuais adjuvantes. Em certos locais da Terra, sobretudo em zonas áridas ou com falta de cal são usadas argilas como argamassas. A argila precisa de ser protegida da água.

É corrente designar as argamassas pelos ligantes que entram na sua composição:

- argamassas de cal aérea;
- argamassas de cal hidráulica;
- argamassas de cimento;
- argamassas de cimento e cal ou bastardo.

As argamassas de cal aérea já não são utilizadas, salvo eventualmente em trabalhos de reabilitação. As argamassas são também designadas pela forma de fabrico:

- argamassas preparadas em obra;
- argamassas prontas:
 - pré-doseadas;
 - prontas.

As argamassas prontas apresentam uma maior regularidade de características.

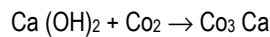
4.3.2 Constituintes

4.3.2.1. Cal aérea

Cal aérea apagada resulta da extinção da cal aérea viva. Esta é obtida da cozedura de calcários quase puro. A extinção pode conduzir à obtenção de cal em pasta ou em pó.

A cal aérea apagada em pó designa-se por cal hidratada e é fornecida em sacos análogos ao cimento.

O endurecimento da cal aérea faz-se apenas ao ar, por combinação com o dióxido de carbono



É uma reacção muito lenta, desenvolvendo resistência muito baixas, sendo muito sensível ao gelo e às atmosferas agressivas. A existência de grãos de cal viva pode provocar expansões prejudiciais.

Quadro 22 – Características exigidas à cal hidratada para utilização em argamassas segundo diversas normas.

Norma	Características químicas		Características físicas			
NFP 15-510	<ul style="list-style-type: none"> • $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 80\%$ • CO_2 (à saída da fábrica) $\leq 5\%$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Finura resíduo no peneiro 800 $\mu\text{m} = 0$ resíduo no peneiro 80 $\mu\text{m} \leq 10\%$ • Expansibilidade em pastilhas de cal com 50mm de diâmetro $\leq 2\text{mm}$ 			
BS 890	<ul style="list-style-type: none"> • $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 65\%$ • $\text{MgO} \begin{cases} \leq 4\% (\text{cal altamente cálcica}) \\ \geq 4\% (\text{cal magnésiana}) \end{cases}$ • $\text{CO}_2 \leq 6\%$ • Matéria insolúvel $\leq 1\%$ 		<ul style="list-style-type: none"> • Finura resíduo no peneiro 180 $\mu\text{m} \leq 1\%$ resíduo no peneiro 90 $\mu\text{m} \leq 6\%$ • Expansibilidade Le Chatelier, em pastilhas de argamassa de cal, cimento e areia (traço ponderal 1:1/3:4) $\leq 10\text{mm}$ • Massa volúmica da pasta (1 vol. de cal+1vol.de água) $\leq 1500 \text{ kg/m}^3$ • Trabalhabilidade da pasta (expressa pelo n.º de pancadas da mesa de espalhamento que produz um espalhamento de 190mm) ≥ 14 			
ASTM C-207		cal do tipo normal (N)	cal do tipo especial (S)(*)		cal do tipo normal (N)	cal do tipo especial (S)(*)
	• $\text{CaO} + \text{MgO}$	$\geq 95\%$		• Finura	Resíduo no peneiro 600 $\mu\text{m} \leq 0.5\%$ Resíduo no peneiro 75 $\mu\text{m} \leq 15\%$	
	• CO_2	à saída da fábrica $\leq 5\%$ noutros locais $\leq 7\%$		• Expansibilidade (apenas quando o resíduo no peneiro 600 μm for $> 0.5\%$)	não formação de crateras em pastilhas de cal e gesso (traço ponderal (1:1/4) submetidas a vapor de água em ebulição durante 5h)	
	• Óxidos não hidratados	—	$\leq 8\%$	• retenção de água (em argamassa de cal e areia com traço ponderal 1:3)	$\geq 75\%$	$\geq 85\%$

- – Difere da cal do tipo normal pela sua melhor plasticidade e capacidade de retenção da água e pelo menor teor de óxidos não hidratados.

Hoje em dia a cal aérea é usada conjuntamente com o cimento. Diferentes normas especificam exigências para a cal hidratada a aplicar em argamassas. São aspectos importantes o avançado estado de carbonatação ou a extinção incompleta da cal.

4.3.2.2. Cal hidráulica

A cal hidráulica resulta da reacção da cal viva com água obtida da cozedura até 1200–1500 °C de calcários com teor de argila entre 5 e 20%. Estes calcários, contendo mais argila, originam a formação de óxido de cálcio livre, silicatos e aluminatos o que torna o ligante hidráulico. A hidraulicidade da cal depende da proporção de argila no calcário.

Índice de hidraulicidade $\text{CaO} (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ nas cal hidráulicas varia de 10 a 2. O cimento apresenta índice inferior a 2.

A cal hidráulica tem maior resistência mecânica e menor tempo de presa, mantendo boas características de plasticidade e de retenção de água. As cal hidráulicas podem ser naturais ou artificiais. As artificiais resultam da adição ao cimento portland de fileres calcários.

As resistências classificam-se normalmente em classes de 30, 60 e 100 MPa.

4.3.2.3. Cimentos

Tradicionalmente o material mais adequado para alvenaria é o cimento Portland normal de baixa resistência.

Muitos países desenvolveram cimento para alvenarias obtidos por adição ao cimento portland de materiais potencialmente activos – introdutores de ar, plastificantes muito finos hidraulicamente inerte ou não (cré calcários moídos, silicas, escórias, pozolanas, etc.) – não devendo exceder 35% ou 25% em massa conforme possuam ou não propriedades hidráulicas.

As exigências da normalização destes cimentos – BS 5224, ASTM C91 e NFP 15 – 307 – são normalmente: finura, expansibilidade, início e fim de presa, retenção de água, teor em ar, espalhamento e resistência à compressão.

Classificam-se em geral por classes de resistência à compressão mínimas aos 28 dias – 16 e 25 MPa.

Estes cimentos são usados como ligante único na constituição das argamassas, substituindo as argamassas bastardas.

4.3.2.4 Areia

As exigências relativas às areias para alvenaria são genericamente as mesmas das areias para betões.

São aspectos importantes os grãos serem arredondados, granulometria bem graduada, quantidade limitada de elementos finos e ausência de substâncias prejudiciais. A dimensão máxima do grão deve estar limitada entre 1/3 e 1/2 da espessura das juntas sem exceder 5 mm. Diferente normalização apresenta fusos granulométricos limites que devem ser respeitadas pelas areias.

O teor em partículas finas deve estar também limitado (ensaio de equivalente de areia – avalia a quantidade de partículas inferiores a 75 μm) \cong a 15%.

As composições são normalmente referidas a areias secas atendendo ao empolamento provocado pela água, tanto mais notório quanto as areias são finas.

Uma parcela das areias podem ser agregados leves.

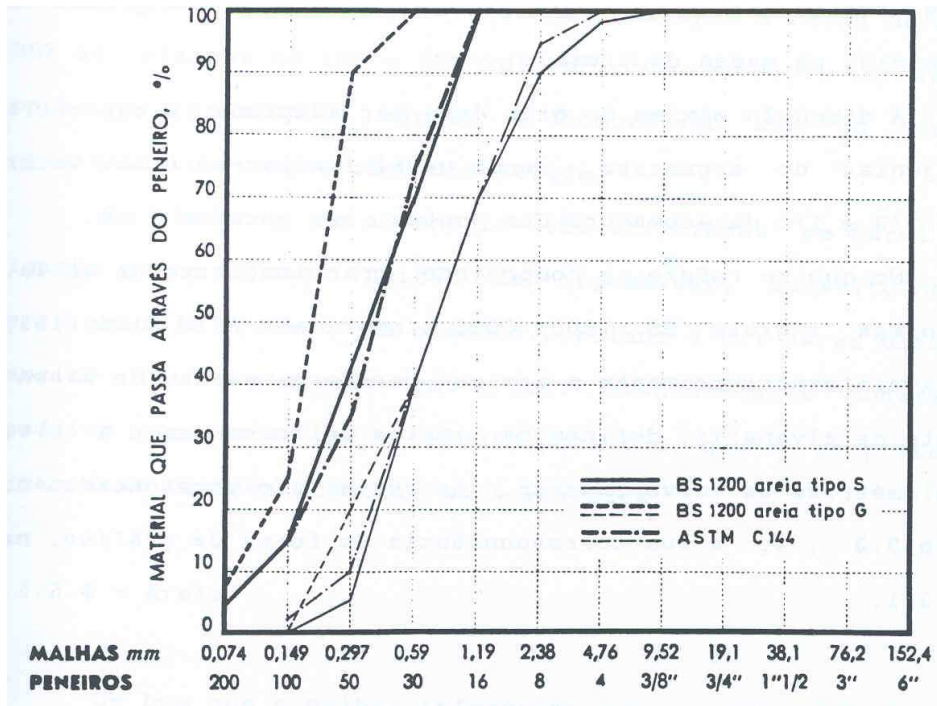


Fig. 20– Limites granulométricos para a areia natural a utilizar em argamassa de assentamento de alvenaria, segundo as normas BS 1200 e ASTM C144.

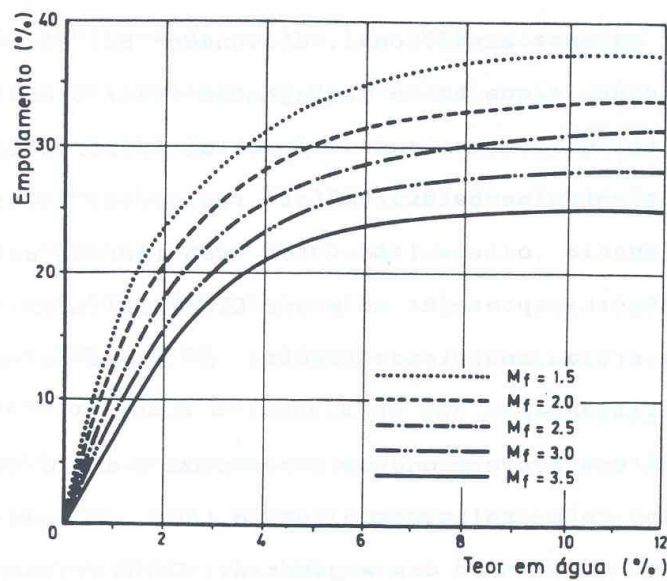


Fig. 21 – Curvas de empolamento das areias

Devido a esta característica de empolamento da areia com o teor em água é usual referirem-se os traços de argamassa à areia seca, havendo que, no caso de se utilizarem areias húmidas, fazer a necessária correcção do volume de areia a introduzir.

4.4 Composição das argamassas

4.4.1 Aspectos gerais

A argamassa em obra é habitualmente fabricada a partir de medições volumétricas. Os traços são assim volumétricas, mas como as areias apresentam características granulométricas a sua proporção é indicada sob a forma dum intervalo, sendo o limite superior correspondente a areias bem graduadas e com reduzida percentagem de finos.

5. REVESTIMENTOS

5.1 Revestimentos de Paramentos Exteriores

5.1.1 Classificação

5.1.1.2 Revestimentos de Estanquidade

(Garantem por si só a estanquidade à água exigível ao conjunto tosco-revestimento)

5.1.1.2.1 – Revestimento por elementos descontínuos de reduzida dimensão facial

5.1.1.2.2 – Revestimentos por elementos descontínuos de grandes dimensões faciais

5.1.1.2.3. Revestimentos por elementos descontínuos de pedra natural

(distinguir sistemas de estanquidade de revestimentos decorativos)

- fixação por agramos e pontos de argamassa
- fixação por gatos resistentes
- fixação sobre estrutura intermédia

5.1.1.2.4 Revestimentos de ligantes hidráulicos armados e independentes

(com caixa de ar entre a parede e o revestimento armado, fixação à parede por intermédio de uma estrutura, a armadura metálica é fixada pontualmente a esta estrutura)

5.1.1.2.5 – Revestimento de ligantes sintéticos armados com rede de fibra de vidro (revestimento delgado (esp. 0,7 mm) de ligantes sintéticos, elásticos, com interposição entre as demãos de fibra de vidro)

5.1.1.3 – Revestimento de Impermeabilização

(conforme o complemento de impermeabilidade à água necessário para que o conjunto parede-revestimento seja estanque)

5.1.1.3.1 – Tradicionais de ligantes hidráulicos

Realizados com argamassas doseados e preparados em obra em duas ou três camadas-crepido ou chapiso, camada de base ou emboço, camada de acabamento ou reboco.

5.1.1.3.2 – Não tradicionais de ligantes hidráulicos

Realizados com produtos pré-doseados, (cimento, cal, areia e adjuvantes) argamassas prontas a aplicar com retardador de presa, alguns destinados à execução de revestimentos em camada única, habitualmente aplicados por projecção, com vários tipos de acabamento.

5.1.1.4 Revestimentos de Isolamento Térmico pelo Exterior

5.1.1.4.1 – Espesso sobre isolante

Em geral constituído por um isolante colado ao suporte e um revestimento (normalmente não tradicional) de ligantes hidráulicos com rede metálica.

5.1.1.4.2 – Delgado sobre isolante

Em geral constituído por um isolante colado ao suporte um revestimento delgado de ligante misto armado com rede flexível de fibra de vidro e um revestimento de acabamento de ligante orgânico (resina, cimento, cargas e adjuvantes) delgado – estes sistemas requerem vários acessórios.

5.1.1.4.3 – Argamassas de ligantes hidráulicos com agregados de material isolante

Revestimentos em camadas em que a base tem características isolantes

5.1.1.4.4 – Sistemas de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados (*vêtures*)

Dispensam a existência de estrutura de fixação intermédia e podem ser de dimensão variável

5.1.1.4.5 – Sistemas de isolamento térmico projectado “in situ”

Projectação de poliuretano

5.1.1.5 – Revestimentos de Acabamento ou Decorativos

5.1.1.5.1 – Camadas de revestimentos de ligantes hidráulicos

(Relevos tipo carapinha, tirolês, etc. ...)

5.1.1.5.2 – Delgados de massa plásticas

Massas plásticas (resinas em dispersão aquosa) com cargas e pigmentos aplicados com espessura de 1 a 3 mm, diferem das tintas pelas cargas maiores e não uniformes e pela maior espessura

5.1.1.5.3 – Delgados de ligantes mistos

Coexistem ligantes hidráulicos e sintéticos, podem ser amassados com água ou resina ou ser adicionado cimento a uma pasta. A espessura é de 2 a 5 mm, podem ser armados com rede de fibra

5.1.1.5.4 – Elementos descontínuos

Diferem dos de estanquidade por não haver caixa de ar entre o revestimento e o suporte. Os elementos são ladrilhos, mosaicos ou placas. As juntas não são estanques.

A aplicação pode ser por colagem (tradicional, argamassa-cola ou outros) ou fixação mecânica

5.2. Revestimentos de Paramentos Interiores

5.2.1 Revestimentos de Regularização

5.2.1.1 De ligantes hidráulicos

- tradicionais
- não tradicionais

5.2.1.2 De argamassa de cal apagada

5.2.1.3 – Com base em gesso

- gesso e areia tradicional para aplicação manual
- gesso e areia para aplicação mecânica com gessos muito finos
- esboços de gesso, cal apagada e areia
- pastas de gesso
- gesso e inertes leves
- pré-doseadas em fábrica para aplicação manual ou mecânica

5.2.1.4 – De ligantes sintéticos

Dispersões de resinas sintéticas, cargas e adjuvantes

5.2.1.5 – Elementos descontínuos independentes

5.2.2 – Revestimentos de Acabamento

São do mesmo tipo dos referidos em 5.2.1, mas com características de acabamento

5.2.3 – Revestimentos Resistentes à Acção da Água

- Cerâmicos – azulejos, ladrilhos, de grés ou semi-grés e ladrilhos de barro vermelho esmaltado
- Vidro opaco
- De pedra
- Epoxidicos
- Ligantes sintéticos envernizados ou esmaltados

5.2.4 – Revestimentos Decorativos

- Em rolo
- Rede fibra de vidro pintada

5.3 Exigências Funcionais dos Revestimentos de Paredes (ver publicação LNEC)

5.4 Aspectos Fundamentais do Comportamento dos Rebocos

5.4.1 – Função do Reboco – regularização

- acabamento
- protecção do tosco da parede
- impermeabilização das paredes (no caso das externas)

5.4.2 – Aspectos Fundamentais

- Trabalhabilidade (evitar o aumento do teor em finos ou de ligante, preferível introduzir cal ou plastificantes)
- Resistência à fendilhação
 - depende da retracção e da relação módulo de elasticidade / resistência à tracção
 - depende da aderência ao suporte
 - depende do poder de retracção da água
- Impermeabilização em zona não fendilhada
 - capacidade de resistir à penetração da água do exterior
 - permitir a eliminação rápida de água em excesso por secagem
 - permeabilidade
 - capilaridade
- Permeabilidade ao vapor de água
- Aderência ao suporte
- Resistência aos choques
- Compatibilidade com os suportes
- Aspecto estético
- Durabilidade

5.5 Fendilhação de Rebocos

5.5.1 – Classificação da Fendilhação

- Aspecto e abertura
 - Microfendas < 0,2mm
 - Fendas médias – 0,2 a 2 mm
 - Fracturas ou grandes fendas > 2 mm

5.5.2 – Causas

- Atribuíveis ao reboco
 - Retracção diferencial
 - Retracção restringida

- deficiente adaptação ao suporte
 - gelo

- Conceção e aplicação
 - misturas cimento – gesso (sal de Candlot)
 - concentração de tensões
 - corrosão de elementos metálicos

- Suporte
 - deslocamentos do suporte
 - reacções com sais do suporte

- Reboco e suporte
 - comportamento diferencial
 - absorção excessiva do suporte
 - variações dimensionais diferenciais reboco / suporte
 - retracção do suporte

HIPÓLITO DE SOUSA



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

**CONSTRUÇÕES EM ALVENARIA
CAPÍTULO VII**

**COMPORTAMENTO MECÂNICO SOB ACÇÕES
VERTICAIS**

FEUP 2002

PRELIMINAR (VERSÃO 2)

COMPORTAMENTO MECÂNICO SOB ACÇÕES VERTICAIS

ÍNDICE

- 4.1 - INTRODUÇÃO
- 4.2 - PARTICULARIDADES DAS ALVENARIAS COMO MATERIAL ESTRUTURAL
- 4.3 - MODELOS DE COMPORTAMENTO DAS ALVENARIAS SOB CARGAS VERTICAIS
 - 4.3.1 - Generalidades
 - 4.3.2 - Síntese dos modelos clássicos de comportamento das alvenarias
 - 4.3.3 - Modelos simplificados de comportamento
 - 4.3.4 - Modelos contemplados em documentos de carácter regulamentar
 - 4.3.5 - Modelos numéricos
- 4.4 - PRINCIPAIS FACTORES CONDICIONANTES DO COMPORTAMENTO DAS ALVENARIAS SUJEITAS A ACÇÕES VERTICAIS
 - 4.4.1 - Generalidades
 - 4.4.2 - Resistência à compressão dos elementos
 - 4.4.3 - Geometria interna e dimensões dos elementos
 - 4.4.4 - Resistência e características da argamassa
 - 4.4.5 - Juntas de assentamento
 - 4.4.6 - Aparelho de assentamento e qualidade de execução

COMPORTAMENTO MECÂNICO SOB ACÇÕES VERTICAIS

1 - INTRODUÇÃO

São objectivos deste Capítulo discutir o comportamento mecânico das alvenarias sob acções verticais, com destaque para as alvenarias realizadas a partir de blocos de betão de inertes leves com furação vertical.

Discutem-se as singularidades das alvenarias como material estrutural, apresentando-se de forma sumária os mecanismos de funcionamento das alvenarias sujeitas a cargas verticais e os critérios que se conhecem para efectuar o seu dimensionamento. Destacam-se os critérios constantes de documentos de carácter regulamentar, visando a verificação de estabilidade das alvenarias estruturais. Refere-se a possibilidade de aplicação de métodos numéricos a este domínio.

Por último discute-se a influência dos principais parâmetros condicionantes do comportamento mecânico das alvenarias, recorrendo a resultados de ensaios e simulações numéricas. Os parâmetros considerados são a resistência à compressão dos elementos, características da argamassa de assentamento, geometria interna e dimensões dos elementos, juntas de assentamento e aspectos associados ao aparelho e qualidade de execução.

2 - PARTICULARIDADES DAS ALVENARIAS COMO MATERIAL ESTRUTURAL

As alvenarias constituem provavelmente a solução estrutural mais antiga na realização de edifícios, associando-se a esta solução um riquíssimo espólio arquitectónico. No entanto a sua realização baseou-se durante milhares de anos na tradição construtiva regional, alicerçada num processo empírico progressivamente apurado ao longo dos séculos.

Com algum atraso relativamente a outras soluções estruturais, os critérios modernos de dimensionamento procuraram estender-se também às alvenarias.

São inúmeros os testemunhos que se podem referir a nível internacional do crescente interesse suscitado pelas alvenarias como material estrutural. Apenas com carácter ilustrativo, refere-se :

- Principais entidades desenvolvendo actividade no domínio das alvenarias:
 - Comissão Técnica do CIB - *International Council for Building Research Studies and Documentation* :
 - W 23 - " *Load Bearing Walls* ";
 - Comissões Técnicas do CEN - *European Committee for Standardization* :
 - TC125 - " *Masonry* "
 - TC250 - " *Structural Eurocodes* "
 - Comissão Técnica da ISO - *International Organization for Standardization* :
 - TC179 - " *Masonry Structures* ";
 - " *British Masonry Society* " na Grã-Bretanha;
 - " *Masonry Society* " nos EUA.

- Principais encontros no domínio das alvenarias com periodicidade regular :

- “ *International Brick and Block Masonry Conference* “(IBMaC) com 9 edições;
- “ *North American Masonry Conference* “ com 6 edições;
- “ *International Symposium on Computer Methods in Structural Masonry* “ com 3 edições.

A actividade de investigação no domínio das alvenarias tem contribuído para a produção de múltiplos documentos de carácter normativo, a que se fará referência detalhada mais à frente.

No entanto, a tentativa de produzir materiais estruturais para alvenarias com boas características mecânicas, bem como desenvolver métodos eficazes de dimensionamento enfrenta algumas dificuldades. Com efeito, e contrariamente a outros materiais estruturais ou soluções construtivas, para as quais o estabelecimento de valores teóricos das suas características resistentes pode ser efectuado de forma relativamente fácil e com uma incerteza satisfatória, no caso das alvenarias este objectivo é muito mais delicado pelas razões que seguidamente se enumeram.

a) **A solução**

A alvenaria é em si própria um elemento construtivo composto, constituído no mínimo pelos elementos e pela argamassa, podendo ainda incorporar outros constituintes, como por exemplo armaduras horizontais ou verticais, no caso das alvenarias armadas, ou betão de enchimento de forma a melhorar as suas características resistentes.

b) **Os constituintes**

Os elementos para alvenaria, para além de poderem ser realizados a partir de matérias-primas ou materiais muito diversos (argilas, betão normal ou leve, pedras naturais, etc.), apresentam geometrias exteriores e interiores muito variadas, frequentemente de carácter local, assentes nas tradições construtivas de cada região.

Por outro lado a produção dos elementos para alvenaria pode ser conseguida com níveis de industrialização muito diversos, desde produções de carácter marcadamente artesanal, até produções muito industrializadas. Estes aspectos dão origem a uma gama muito ampla das características dos produtos.

Quanto ao outro constituinte fundamental das alvenarias - a argamassa de assentamento - pode apresentar múltiplas composições. A espessura e configuração das juntas horizontais e verticais, em estreita articulação com os elementos, têm uma influência significativa, mas difícil de esclarecer.

Poderão enumerar-se ao nível dos constituintes os seguintes parâmetros condicionantes do comportamento mecânico das alvenarias:

- Elemento :
 - resistências à tracção e compressão em regime uniaxial ou multiaxial;
 - módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e fluência;
 - rugosidade;
 - absorção de água;
 - resistência aos agentes químicos;
 - variações dimensionais;
 - massa, geometria e furação;

- Argamassa :
 - resistência à compressão e comportamento em regime multiaxial;
 - módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e fluência;
 - aderência;
 - trabalhabilidade, plasticidade e capacidade de retenção de água.

c) A execução

Os aspectos de carácter tecnológico associados à qualidade de execução das alvenarias são também importantes para o seu comportamento mecânico. No entanto os factores intervenientes no assentamento das paredes são inúmeros e a sua influência difícil de evidenciar, tornando muito difícil qualquer tentativa de uniformização.

d) A experimentação e o cálculo

A determinação das características resistentes dos elementos isolados põe problemas acrescidos relativamente aos outros materiais estruturais correntes. Referem-se como exemplos, a dificuldade em obter provetes de dimensões normalizadas, a necessidade de proceder à regularização das faces dos provetes nos ensaios mecânicos, a grande sensibilidade dos elementos às condições de fabrico e conservação, a anisotropia da generalidade dos elementos e a dificuldade de instrumentar os provetes devido à geometria dos elementos.

A consideração dos efeitos combinados, por exemplo entre elementos e argamassa, é complexa e difícil de parametrizar, podendo conduzir a que os fenómenos que condicionam a rotura possam ser diferentes dos observados nos produtos isolados.

A comparação entre modelos de comportamento e resultados experimentais é delicada porque, para além das dificuldades na realização das caracterizações experimentais, a generalidade dos resultados apresenta dispersões importantes e, ainda, porque muitos procedimentos experimentais têm, por diversas razões, carácter convencional.

3 - MODELOS DE COMPORTAMENTO DAS ALVENARIAS SOB CARGAS VERTICAIS

3.1 - Generalidades

A concepção de estruturas recorrendo a alvenarias resistentes passa sobretudo pelo conhecimento da sua resistência sob acção de cargas verticais.

A determinação experimental desta resistência é trabalhosa e cara, devido à própria dimensão dos provetes, às precauções a ter em conta na execução, à instrumentação complexa e ainda à dispersão importante dos resultados. Por outro lado, a possibilidade de a partir dos resultados experimentais formular conclusões muito gerais deve ser cuidada, atendendo às grandes disparidades entre as características dos diferentes elementos e às singularidades já referidas das alvenarias como material estrutural. A alternativa de determinação da resistência pelo cálculo é assim de interesse evidente.

É objectivo deste ponto, apresentar de forma sumária a síntese dos mecanismos de funcionamento das alvenarias sob cargas verticais e os critérios que se conhecem, sobretudo os adoptados pelos regulamentos de alvenaria estrutural, para a verificação da estabilidade das mesmas.

Discute-se de forma mais detalhada o comportamento mecânico das alvenarias resistentes de blocos de betão de inertes leves com furação vertical.

3.2 - Síntese dos modelos clássicos de comportamento das alvenarias

Como já foi referido, embora sob um ponto de vista histórico as alvenarias sempre tenham tido uma utilização estrutural importante, a tentativa de explicar o seu comportamento mecânico é bastante recente. Descrevem-se de seguida os critérios de comportamento mais divulgados.

a) Modelo de formulação próprio da mecânica do contínuo

A abordagem mais simplificada consiste na suposição de um modelo de comportamento em que a alvenaria é uma associação de elementos e argamassas com propriedades médias, admitindo comportamento elástico e isotrópico [89]. Esta formulação é simplista, mas comum no estudo de outros problemas de Engenharia.

O tratamento analítico do problema é análogo ao adoptado noutros problemas de Engenharia Civil, devendo respeitar-se as condições de equilíbrio e a lei constitutiva típica do material em apreço, cuja determinação se baseia em resultados experimentais. O comportamento dos materiais apresenta uma complexidade notável que a lei constitutiva deverá traduzir, devendo no entanto esta complexidade ser ponderada pela necessária simplicidade das aplicações em Engenharia.

Em primeira aproximação, o comportamento da alvenaria pode admitir-se elástico, o que é razoável para carregamento moderado em fase não fissurada.

O estabelecimento de critérios de rotura que permitam a análise não linear em fase fissurada poderá seguir os critérios correntemente adoptados em problemas mecânicos (Coulomb, Mohr, etc.), ou outros ajustados ao domínio das alvenarias [90]. Os critérios de rotura a usar para o estudo de alvenarias deverão ter em conta a anisotropia.

b) Modelo de HILSDORF

A 1ª tentativa que se conhece de explicar o mecanismo de rotura de uma alvenaria - de tijolos maciços - em função das diferentes deformabilidades dos dois principais constituintes - argamassa e tijolo - é devida a HILSDORF e remonta a 1969 . Observando o mecanismo de rotura de provetes de alvenaria, HILSDORF concluiu que sob acção de uma compressão simples a parede deforma-se não só no seu plano, mas também no plano perpendicular, gerando-se tensões horizontais de compressão na argamassa e tensões horizontais de tracção no elemento, devido à maior deformabilidade da argamassa, fig 1.

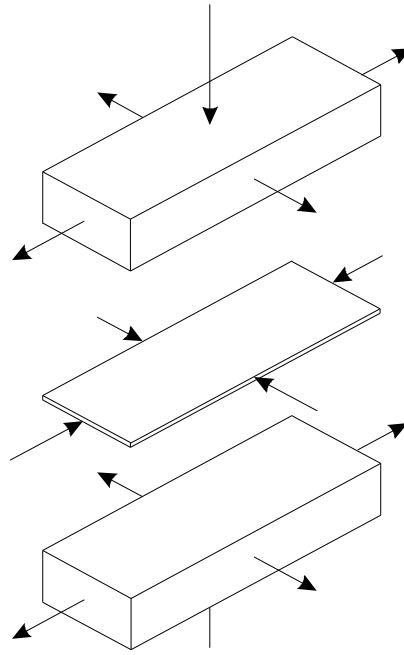


Fig 1 - Representação esquemática das tensões nos elementos e na argamassa, numa alvenaria submetida à compressão simples, em que a argamassa é mais deformável que os elementos

O estado de tensão triaxial que se desenvolve na argamassa explica os factos das tensões de rotura da alvenaria poderem ultrapassar a resistência à compressão uniaxial da argamassa, bem como da resistência à compressão simples do elemento para alvenaria poder não se correlacionar com a resistência do elemento na parede.

c) Modelo de formulação em duas fases

A regularidade do aparelho da alvenaria sugere a utilização de um modelo em que a alvenaria é assimilada a um material com duas fases, consistindo em elementos elásticos assentes numa matriz de argamassa com comportamento não elástico [92,93] fig 2. A rotura ocorre de acordo com uma lei constitutiva. As juntas de argamassa têm boa resistência à compressão, reduzida resistência à tracção e resistência ao corte função do aparelho e da compressão instalada. Esta formulação tem analogias em problemas de mecânica das rochas.

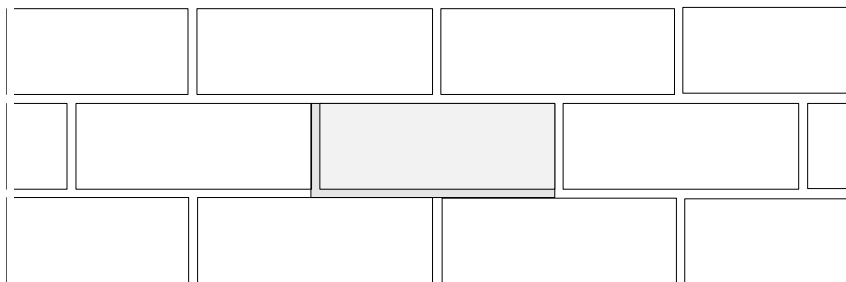


Fig. 2 - Ilustração do modelo em duas fases

3.3 - Modelos simplificados de comportamento

Procurando ter em conta a especificidade dos elementos para alvenaria utilizados em França, mas também na Europa do Sul, com uma estrutura interna muito alveolada, o CSTB desenvolveu recentemente um modelo simplificado de cálculo, para explicar de forma aproximada o comportamento das alvenarias sob acção de cargas verticais. Este documento surge também como reacção a alguma inadequação do Eurocódigo 6 - *EC6 -Estruturas de Alvenaria* - para traduzir, através de modelos fiáveis, o comportamento das alvenarias, particularmente das realizadas com os materiais correntes na Europa do Sul.

A formulação apresentada é simplificada, mas representativa da realidade.

Tendo em conta o comportamento à rotura das alvenarias distingue 3 grupos:

- alvenarias de elementos maciços ou equiparáveis;
- alvenarias de elementos de furação vertical;
- alvenarias de elementos de furação horizontal.

O modelo proposto relaciona a resistência média à compressão da alvenaria - f -, com a resistência média normalizada à compressão dos elementos constituintes - f_b - e com a resistência média à compressão da argamassa - f_m .

Convém ter presente que os valores obtidos experimentalmente, f_b e f , não são intrínsecos ao material, pois têm sempre um carácter convencional associado às técnicas de ensaio. No caso das alvenarias têm influência, entre outros, o modo e velocidade de carregamento, as características dos materiais usados na rectificação, a humidade dos produtos e o efeito de cintagem dos pratos da prensa.

Admitindo comportamento elástico e linear e por considerações de deformabilidade global do elemento deduzem-se as seguintes expressões gerais:

a) Elementos maciços

$$f = f_b \cdot \frac{S_r}{S_b} \cdot \frac{t_u}{t_u + \frac{e}{h_u} \cdot \frac{E_b}{E_m}} \quad (4.1)$$

e

$$\frac{S_r}{S_b} = (t_u - e) / t_u \quad (4.2)$$

em que :

S_r - Secção resistente do elemento

S_b - Secção aparente do elemento
 e - Espessura da junta horizontal
 h_u - Altura do elemento
 t_u - Espessura do elemento
 E_b - Módulo de elasticidade do elemento
 E_m - Módulo de elasticidade da argamassa

No caso dos elementos maciços o coeficiente corrector S_r / S_b traduz a redução efectiva da largura da junta, devido à sua degradação próximo dos bordos do elemento, de acordo com (4.2).

A configuração de rotura é função da espessura da junta e da resistência da argamassa, podendo corresponder ao esmagamento do material do elemento, no caso de juntas delgadas realizadas com argamassas resistentes, ou ao esmagamento da argamassa e/ou fissuração do elemento em torno dum núcleo central, no caso de juntas espessas realizadas com argamassas pouco resistentes.

b) Elementos de furação vertical

$$f = f_b \cdot \frac{S_r}{S_n} \cdot \frac{t_u}{t_u + \frac{e}{h_u} \cdot \frac{E_b}{E_m} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{1}{R_1}} \quad (4.3)$$

em que :

S_n - Secção efectiva do elemento, correspondente à secção aparente deduzida dos vazios
 R_1 - Factor adimensional que traduz a esbelteza dos septos ($R_1 \leq 1$)

os restantes símbolos têm o significado já referido em (4.1) e (4.2).

No caso dos elementos de furação vertical a rotura pode ocorrer por punçoamento da argamassa das juntas produzido pelos septos, ou por esmagamento do material constituinte dos septos.

Nestes elementos de furação vertical, a secção resistente - S_r - deve ser entendida como a secção efectiva comum a duas fiadas consecutivas, ou seja, a secção correspondente aos septos longitudinais, pois, devido ao aparelho aleatório de assentamento, não há garantia de sobreposição dos septos transversais.

A inclusão do parâmetro S_b / S_n resultou dum estudo de correlação com resultados de ensaios.

O parâmetro R_1 procura acautelar a possibilidade de ocorrer rotura por encurvadura de septos muito esbeltos de elementos para alvenaria. Esta consideração pode revelar-se relevante no caso de blocos de grande altura.

c) Elementos de furação horizontal

$$f = f_b \cdot \frac{S_r}{S_n} \cdot \frac{t_u}{t_u + \frac{e}{h_u} \cdot \frac{E_b}{E_m} \cdot \frac{S_b}{S_n} \cdot \frac{I}{R_2}} \quad (4.4)$$

R_2 - factor adimensional que traduz a esbelteza dos septos ($R_2 \leq 1$)

os restantes símbolos têm o significado já referido em (4.1), (4.2) e (4.3).

No caso destes elementos, normalmente cerâmicos, a rotura ocorre por encurvadura local dos septos verticais, após fissuração dos septos horizontais que funcionam como rigidificadores.

A principal vantagem deste modelo simplificado, resulta do facto da simples análise das expressões permitir retirar conclusões que concordam normalmente com as observadas nas caracterizações experimentais:

- a resistência da alvenaria - f - nunca é superior à resistência do elemento - f_b ;
- a resistência da alvenaria - f - cresce com a redução da espessura das juntas horizontais - e ;
- a resistência da alvenaria - f - cresce com o aumento da rigidez da argamassa - E_m ;
- no caso dos elementos de furação vertical, por exemplo os blocos de betão, a percentagem de furação produz uma redução da resistência superior à relação entre a secção efectiva e a secção bruta.

3.4 - Modelos contemplados em documentos de carácter regulamentar

Em Portugal nunca existiu um regulamento estrutural para alvenarias. Existem referências a disposições construtivas, por forma a assegurar a segurança estrutural das construções em alvenaria, no *Regulamento Geral das Edificações Urbanas - RGEU* e no *Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos - RSCCS*. Esta abordagem é antiquada e não dispõe de qualquer modelo que a suporte.

Merece destaque um planeamento de estudos visando a regulamentação e normalização de construções de alvenaria, elaborado por TRIGO em 1983.

Situação diversa ocorre nos principais países da Europa e da América do Norte, onde existem documentos de carácter regulamentar relativos à utilização estrutural das alvenarias.

Apresenta-se no Quadro 1 uma síntese dos documentos de carácter normativo / regulamentar aplicáveis a alvenarias em vigor em diversos países, embora nos países membros da União Europeia o Eurocódigo 6 possa vir a substituir, a prazo, os regulamentos nacionais, pelo que alguns desses países não têm procedido a revisões dos seus regulamentos.

Quadro 1 - Síntese de documentos de carácter normativo relativos ao cálculo de alvenarias

PAÍS	DOCUMENTO E REF. ^{AS}	SÍNTESE
ALEMANHA	DIN 1053 - Part 1 1974	<p>A regulamentação está dividida em 4 partes:</p> <p>1ª Parte - Dimensionamento , disposições construtivas e execução dos trabalhos de alvenarias resistentes ou não.</p> <p>Aplica-se a todo o tipo de materiais para alvenaria.</p> <p>Resulta da síntese e duma longa evolução de regras práticas (a 1ª edição remonta a 1930). Dimensionamento por tensões de segurança a partir das tensões admissíveis nas diferentes alvenarias (função do elemento, da argamassa e da situação da parede).</p> <p>Apresenta exigências relativas às argamassas.</p> <p>Existem normas de características dos elementos, ensaio e mecanismos de certificação.</p>
	DIN 1053 - Part 2 1984	<p>2ª Parte - Dimensionamento de alvenarias a partir de resultados de ensaios sobre os elementos e as argamassas, ou, em alternativa, sobre provetes de parede.</p> <p>Aplica-se aos mesmos materiais da 1ª Parte.</p> <p>Dimensionamento por estados limites.</p>
	DIN 1053 - Part 4 1987	<p>3ª Parte -Dimensionamento e disposições construtivas de alvenarias armadas. Existe apenas sob a forma de "draft".</p> <p>4ª Parte - Dimensionamento, disposições construtivas e execução dos trabalhos de painéis pré-fabricados tendo por base elementos cerâmicos.</p> <p>Dimensionamento por tensões de segurança.</p>
AUSTRÁLIA	AS 3700 - 1988	<p>Dimensionamento, disposições construtivas e execução dos trabalhos de alvenarias.</p> <p>Aplica-se a todos os tipos de alvenarias e materiais para alvenaria.</p> <p>Dimensionamento por estados limites.</p> <p>A resistência da alvenaria pode ser obtida a partir da resistência dos elementos e da argamassa, ou a partir de ensaios sobre provetes de parede.</p> <p>Existem normas de características e ensaio dos elementos.</p>
BÉLGICA	NBN B24 -301 1980	<p>Dimensionamento e concepção de estruturas de alvenaria.</p> <p>Aplica-se a alvenarias correntes realizadas com elementos cerâmicos e em betão.</p> <p>Dimensionamento por estados limites.</p> <p>A resistência da alvenaria pode ser obtida a partir da resistência dos elementos e da argamassa, ou a partir de ensaios sobre provetes de parede.</p>
	NBN B24 - 401 1981	<p>Existem normas de características e ensaio dos elementos e normas de ensaio dos "muretes" de alvenaria.</p> <p>A norma NBN B24 -401 respeita à execução das alvenarias.</p>

Quadro 4.1 (cont.) - Síntese de documentos de carácter normativo relativos ao cálculo de alvenarias

EUA	ACI 530 - 92	<p>Dimensionamento e concepção de estruturas de alvenaria. Aplica-se a todos os tipos de alvenarias e materiais para alvenaria. Dimensionamento por tensões de segurança de alvenarias correntes e armadas. Contempla regras de dimensionamento expedito “ empírico”, para edifícios em determinadas condições. Contêm disposições relativas a alvenarias armadas. Apresenta requisitos para alvenarias em zonas sísmicas. O ACI 530.1-92 apresenta exigências dos materiais e da execução das estruturas em alvenaria.</p>
FRANÇA	DTU 20.1 1985	<p>Disposições construtivas e execução dos trabalhos de alvenarias. Aplica-se a alvenarias correntes, realizadas com qualquer material para alvenaria. Comporta um anexo com regras simplificadas de dimensionamento estrutural por tensões de segurança a partir das tensões admissíveis pelas diferentes alvenarias . Os produtos estão enquadrados por normas contendo exigências e técnicas de ensaio, existindo mecanismos de certificação assegurando a conformidade com as normas.</p>
GRÃ-BRETANHA	BS 5628: Part 1 1978	<p>A regulamentação está dividida em 3 partes: 1ª Parte - Dimensionamento e concepção de estruturas correntes de alvenaria. Aplica-se a todo o tipo de materiais para alvenaria. Dimensionamento por estados limites. A resistência da alvenaria pode ser obtida a partir da resistência dos elementos e da argamassa, ou a partir de ensaios sobre provetes de parede. Existem normas de características e ensaio dos elementos</p>
	BS 5628: Part 2 1985 [110]	<p>2ª Parte - Dimensionamento e concepção de estruturas de alvenaria armada. Aplica-se a todo o tipo de materiais para alvenaria. Critérios de dimensionamento análogos aos da 1ª Parte.</p>
	BS 5628: Part 3 1985	<p>3ª Parte - Recomendações gerais para o projecto, disposições construtivas e execução dos trabalhos de todo o tipo de alvenarias.</p>
ITÁLIA	D.M 24/1/86 [111] D.M 9/1/87	<p>Concepção e dimensionamento de estruturas de edifícios em alvenaria. Aplica-se a alvenarias correntes, realizadas com qualquer tipo de elementos. Dimensionamento por estados limites. A resistência da alvenaria pode ser obtida a partir da resistência dos elementos e da argamassa, ou a partir de ensaios sobre provetes de parede. Existem normas de características e ensaio dos elementos. Dispõe ainda de um regulamento relativo às construções em zonas sísmicas, contendo disposições que devem ser respeitadas pelas alvenarias.</p>
SUIÇA	SIA V177/2 1989	<p>Dimensionamento e concepção de estruturas correntes de alvenaria. Aplica-se a elementos cerâmicos e em betão. Dimensionamento por estados limites. A resistência da alvenaria é obtida a partir das propriedades dos materiais, por definição dum critério de rotura, diagrama não linear momento-curvatura, e por um módulo de elasticidade e de distorção.</p>

Como se sabe estão em preparação no *CEN* normas europeias e Eurocódigos abrangendo, entre outras matérias e soluções construtivas, as alvenarias. Este corpo normativo irá vigorar em grande parte dos países da Europa Ocidental.

No âmbito do CEN/TC 125 - “*Masonry*”, estão em preparação normas relativas aos diferentes produtos para alvenarias - elementos, argamassas e componentes auxiliares - bem como normas de ensaio dos mesmos e das próprias alvenarias.

No âmbito do CEN/TC 250 - “*Structural Eurocodes*” e com repercussões no domínio das alvenarias, foram já aprovados, como normas provisórias, o Eurocódigo 6 - *EC6 - Estruturas de Alvenaria - Parte 1.1*, e o Eurocódigo 8 - *EC8 - Estruturas em Zonas Sísmicas* - que abrange também as estruturas de alvenarias.

O Eurocódigo 6 surge na linha de um documento anterior do *CIB* - W23, intitulado “*International Recommendations for Design and Erection of Unreinforced and Reinforced Masonry Structures with an Appendix on Recommendations for Seismic Design of Unreinforced, Confined and Reinforced Masonry Structures*”, de 1987.

O *EC6, Parte 1.1*, aplica-se a alvenarias correntes, armadas, pré-esforçadas e confinadas, estando organizado da seguinte forma:

- generalidades;
- concepção de alvenarias;
- materiais;
- dimensionamento das alvenarias;
- disposições relativas a elementos estruturais;
- execução dos trabalhos;
- diversos anexos de carácter normativo ou apenas informativo.

A metodologia de quantificação das acções e do estabelecimento das resistências de cálculo é comum a todos os Eurocódigos e baseia-se nos princípios de verificação de segurança aos estados limites.

Sintetizam-se no Quadro .2 as características dos materiais constituintes das alvenarias segundo o *EC6*.

Quadro 2 - Alvenaria estrutural. Características dos materiais constituintes das alvenarias segundo EC6

CLASSIFICAÇÃO		CARACTERÍSTICAS
ELEMENTOS		
• ORIGEM	TIPOS	<ul style="list-style-type: none"> - Cerâmicos - (pr EN 771-1 [116]) - Silício-Calcários- (pr EN 771-2 [117]) - Betão de inertes correntes ou leves * - (pr EN 771-3 [118]) - Betão celular autoclavado - (pr EN 771-4 [119]) - Pedra artificial - (pr EN 771-5 [120]) - Pedra natural - (pr EN 771-6 [121])
• CONTROLO DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO	CATEGORIA (reflecte-se nos coeficientes parciais de segurança relativos aos elementos)	<ul style="list-style-type: none"> - I - dispersão da resistência mecânica inferior a limite estabelecido. - II - não satisfaz condições categoria I.
• QUANTO À GEOMETRIA E FURAÇÃO	GRUPO	<ul style="list-style-type: none"> - 1 - Depressões ou furação vertical $\leq 25\%$. Dimensões dos septos limitadas inferiormente e dimensões dos alvéolos limitadas superiormente. - 2A - Furação vertical $> 25\%$ e $\leq 45\%$. Dimensões dos septos limitadas inferiormente - 2B - Furação vertical $> 45\%$ e $\leq 55\%$. Dimensões dos septos limitadas inferiormente - 3 - Furação horizontal $\leq 70\%$. Dimensões dos septos limitadas inferiormente e dimensões dos alvéolos limitadas superiormente.
• PROPRIEDADES **		<ul style="list-style-type: none"> - Resistência á compressão normalizada (f_b) ≥ 2 MPa (técnica pr EN 772-1 1993 [122], resistência convertida para as condições de seco ao ar e “factor de forma” normalizado). - Durabilidade - referência qualitativa

* - Exigências abordadas de forma detalhada no **Capítulo 5**

** - Exigências complementares no EC8

ARGAMASSA

- | | | |
|---|-------|--|
| <ul style="list-style-type: none">• APLICAÇÃO | TIPOS | pr EN 998-2 [123]: <ul style="list-style-type: none">- Argamassa convencional - inertes correntes, juntas correntes com espessura > 3 mm- Argamassa-cola - juntas delgadas ≤ 3mm- Argamassa leve - inertes leves, massa volúmica da argamassa < 1500 kg/m³ |
| <hr/> | | |
| <ul style="list-style-type: none">• PROPRIEDADES ** | | <ul style="list-style-type: none">- Resistência à compressão média (f_m) (técnica EN 1015-11 [124]) :<ul style="list-style-type: none">- Alvenaria corrente, argamassa convencional ≥ 1 MPa (classe M1);- Alvenaria armada e pré-esforçada, argamassa convencional ≥ 5 MPa (classe M5);- Alvenaria com juntas delgadas, argamassa-cola ≥ 5 MPa (classe M5);- Alvenaria assente com argamassa leve ≥ 5 MPa (classe M5);- Durabilidade - referência qualitativa- Aderência - Em argamassas convencionais sem adjuvantes está assegurada. Noutras condições avaliação através de ensaios. |

BETÃO COMPLEMENTAR

Sem interesse para o objectivo deste trabalho

ARMADURAS

Sem interesse para o objectivo deste trabalho

** - Exigências complementares no EC 8

Sintetizam-se no Quadro 4.3 as formas de determinação da resistência característica à compressão da alvenaria estrutural corrente segundo o EC6.

Quadro 4.3 - Resistência característica à compressão - f_k - da alvenaria estrutural corrente segundo EC 6

SITUAÇÃO	QUANTIFICAÇÃO
• DETERMINAÇÃO ATRAVÉS DE ENSAIOS ***	Segundo pr EN 1052-1 [125]
• DETERMINAÇÃO ATRAVÉS DE RELAÇÕES EMPÍRICAS ENTRE RESISTÊNCIA DOS ELEMENTOS E ARGAMASSA****	
- Alvenaria corrente realizada com argamassa convencional	$- f_k = K f_b^{0.65} f_m^{0.25} \text{ (MPa)} \quad (4.5)$ $- f_m \leq \min(20 \text{ MPa}, f_b)$ <p>K - coeficiente que depende do grupo do elemento e da existência ou não de uma junta longitudinal de argamassa ao longo da parede (valores preconizados entre 0.40 a 0.60)</p> $E = 1000 f_k \quad (4.6)$
- Alvenaria corrente realizada com argamassa-cola	$- f_k = K f_b^{0.65} f_m^{0.25} \text{ (MPa)} \quad (4.5)$ $- f_b \leq 50 \text{ MPa}$ $- f_m \leq \min(20 \text{ MPa}, f_b)$ <p>K - coeficiente que depende do grupo do elemento (valores preconizados entre 0.50 a 0.70)</p> <p>Interdito em elementos do Grupo 3</p> <p>Tolerâncias dimensionais dos elementos compatíveis com juntas delgadas</p> $E = 1000 f_k \quad (4.6)$
- Alvenaria corrente realizada com argamassa leve	$- f_k = K f_b^{0.65} \text{ (MPa)} \quad (4.7)$ $- f_b \leq 15 \text{ MPa}$ <p>K - coeficiente variável com a massa volúmica da argamassa e com o material constituinte do elemento (valores preconizados entre 0.55 e 0.80)</p> <p>Só possível com elementos do Grupo 1</p> $E = 1000 f_k \quad (4.6)$
- Alvenaria corrente realizada com juntas verticais não preenchidas	<p>Utilizadas as expressões (4.5 a 4.7) já referidas.</p> <p>A influência deste tipo de assentamento repercute-se na resistência ao corte que deve ser determinada de forma diferente das alvenarias com juntas verticais preenchidas.</p>
- Alvenaria corrente realizada com juntas horizontais descontínuas	<p>- Só possível nos Grupos de elementos 1,2A e 2B.</p> <p>- A resistência é em geral determinada da mesma forma, mas a resistência do elemento - f_b - deve ser obtida por aplicação da força apenas através das áreas destinadas a serem argamassadas.</p>

**** - f_b - resistência média normalizada à compressão dos elementos;

- f_m - resistência média à compressão da argamassa;

- E - módulo de elasticidade secante

A determinação da referida resistência através de ensaios será apresentada de forma mais desenvolvida no Capítulo 7.

Quanto à determinação da resistência à compressão através de relações empíricas entre resistências dos elementos e da argamassa convém referir que tais relações resultam do tratamento estatístico duma compilação de trabalhos experimentais desenvolvidos sobretudo na Europa do Norte, particularmente na Alemanha. As expressões propostas têm merecido alguma contestação pelas seguintes razões :

- resultam de ensaios realizados sobretudo com elementos cerâmicos, cujas geometrias apresentam reduzida percentagem de furação;
- os referidos elementos apresentam resistências mecânicas relativamente elevadas;
- as argamassas utilizadas apresentam resistências moderadas;
- as condições referidas são diferentes das correntemente usadas na Europa do Sul.

Com carácter ilustrativo apresenta-se na fig. 3 o conjunto de resultados relativos a uma argamassa de assentamento com resistência à compressão de 5 MPa , usados para estabelecer a correlação do EC6.

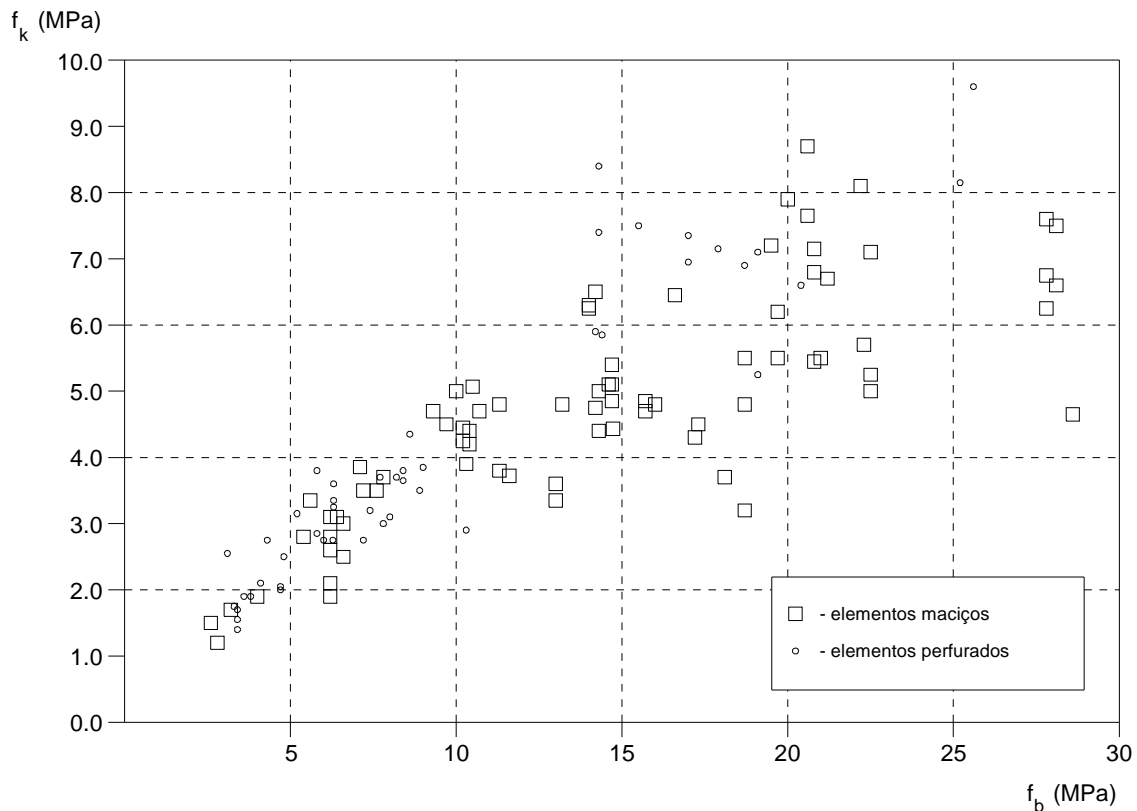


Fig. 3 - Resistência característica à compressão das alvenarias (f_k), versus resistência normalizada dos elementos (f_b), para uma argamassa com resistência à compressão de 5 MPa

3.5 - Modelos numéricos

Conforme tem vindo a ser referido, não se dispõe ainda de um modelo analítico que consiga traduzir com toda a generalidade a influência dos múltiplos factores que condicionam a resistência à compressão das alvenarias. A generalidade dos regulamentos adopta correlações empíricas entre a resistência da alvenaria à compressão e a resistência à compressão dos elementos e da argamassa.

Uma via alternativa bastante usada tem sido a determinação da resistência à compressão através do ensaio de provetes de alvenaria de 3 ou 4 fiadas “*muretes*”, dado que estes provetes incluem o efeito do elemento, da argamassa de assentamento e das condições de execução. Esta via coloca no entanto alguns problemas associados sobretudo aos requisitos das máquinas de ensaio, manuseio dos provetes e custo.

Como irá ser discutido de forma mais detalhada no Capítulo 6, a proliferação, nos últimos anos, dos computadores pessoais e estações de trabalho, tem conduzido ao desenvolvimento de técnicas avançadas de análise numérica. Actualmente o método dos elementos finitos atingiu um elevado grau de sofisticação, permitindo a análise de qualquer geometria arbitrária sob as mais diversas condições de carga.

Bastantes investigadores têm vindo a utilizar a modelação teórica por recurso à técnica dos elementos finitos para estudar o comportamento das alvenarias. Este método permite avaliar a influência dos diversos parâmetros que condicionam o comportamento mecânico das alvenarias.

Os primeiros estudos do comportamento das alvenarias, através do recurso a modelação pelo método dos elementos finitos, foram desenvolvidos para tijolos maciços, admitindo em geral comportamento linear, elástico e isotrópico e aderência perfeita entre os elementos e a argamassa. No caso do estudo de problemas de compressão simples ou biaxial foram adoptados modelos bidimensionais. As hipóteses adoptadas nos primeiros trabalhos são pouco realistas. O 1º estudo que se conhece com uma abordagem mais cuidada foi conduzido por PAGE e remonta aos anos 70 [131], respeitando a alvenarias de tijolos maciços carregados no seu plano. Os tijolos são assimilados a elementos rectangulares com propriedades isotrópicas e elásticas. As juntas são assimiladas a elementos de junta com comportamento não linear, integrando os fenómenos de descolamento, escorregamento e atrito.

Conhecem-se trabalhos desenvolvidos com dois níveis de discretização - micromodelação e macromodelação.

A 1ª hipótese - micromodelação - corresponde à tradução em termos de modelo, da estrutura real da alvenaria, assumindo uma discretização coincidente com a subdivisão em elementos e juntas de argamassa. Relativamente ao elemento, a não-linearidade e a consideração da fissuração podem ser tidos em conta, modificando as relações constitutivas através dum processo incremental. Relativamente às juntas de argamassa, a discretização deve ser cuidada dado ser nestas que se inicia a propagação das fissuras. Há autores que adoptam elementos de junta ou, outros modelos,, procurando traduzir todos os fenómenos que aí ocorrem. A discretização através de micromodelação obriga a uma discretização fina, com uma malha tanto mais apertada quanto mais complexa for a geometria dos elementos, não sendo em geral possível discretizar situações reais de paredes, sem o recurso a meios muito potentes de cálculo. Esta via é assim adoptada sobretudo na investigação mais pormenorizada do comportamento das alvenarias. Sempre que os elementos apresentam geometrias complexas, a simulação deve ser efectuada a 3D.

A 2ª hipótese - macromodelação - corresponde à assimilação da alvenaria a um meio contínuo homogéneo, discretizado através de elementos finitos, cuja malha não respeita a divisão entre elementos e juntas. A lei constitutiva adoptada deve representar o comportamento conjunto da alvenaria, implicando em geral algumas simplificações. Esta técnica revela-se mais adequada para o estudo de paredes reais sob diversas condições de carga.

4 - PRINCIPAIS FACTORES CONDICIONANTES DO COMPORTAMENTO DAS ALVENARIAS SUJEITAS A ACÇÕES VERTICAIS

4.1- Generalidades

Pretende-se discutir a influência dos principais factores condicionantes do comportamento mecânico das alvenarias sujeitas a acções verticais, com destaque para as alvenarias à base de blocos de betão, preferencialmente de inertes leves. Para o efeito recorre-se a resultados de ensaios e de simulações numéricas a que se teve acesso.

A informação disponível foi obtida em condições muito diferentes. Os provetes de parede foram realizados de forma diversa e as técnicas de ensaio, que condicionam bastante os resultados, não são coincidentes. Os resultados sendo provenientes de diferentes países, resultam do recurso a elementos e argamassas muito variadas. Assim, embora se possam formular conclusões relativamente gerais, as comparações, particularmente quantitativas, deverão ser cautelosas.

Os principais factores que parece condicionarem o comportamento mecânico das alvenarias e que irão ser discutidas com mais detalhe são:

- resistência à compressão dos elementos;
- geometria interna e dimensões do elemento;
- resistência e características da argamassa;
- juntas de assentamento;
- aparelho de assentamento;
- qualidade de execução.

4.2 - Resistência à compressão dos elementos

A resistência à compressão dos elementos que constituem a alvenaria é provavelmente o factor que mais condiciona o comportamento mecânico das alvenarias.

a) Obtenção da resistência à compressão dos elementos

Como se sabe, e ao contrário de outros materiais estruturais, como o aço e o betão por exemplo, em que a obtenção das suas características mecânicas é efectuada segundo técnicas de ensaio praticamente universais, no domínio dos elementos para alvenaria é habitual adoptar procedimentos convencionais de ensaio bastante diversificados.

Assim, as técnicas de ensaio para determinação da resistência à compressão dos elementos para alvenaria apresentam diferenças sensíveis nas diferentes normalizações, variando mesmo frequentemente no mesmo país com a constituição dos elementos (cerâmica, betão, etc.). Mesmo a normalização em preparação no *CEN* relativa a técnicas de ensaio visando a uniformização a nível europeu, embora adopte a mesma metodologia para diferentes tipos de elementos, permite dois tipos diferentes de regularização dos elementos: desgaste por via húmida ou regularização com argamassa de cimento e areia ao traço 1:1 (em volume).

Como não há a garantia de que estes procedimentos convencionais não influenciam as características mecânicas, diversos investigadores têm-se debruçado sobre este assunto, procurando esclarecer a influência dos diversos factores no comportamento dos elementos quando ensaiados à compressão.

Os aspectos mais convencionais nas técnicas de ensaio são a forma de rectificação das faces dos blocos em contacto com os pratos da máquina, e as condições de humidade dos provetes na altura de ensaio.

Quanto à rectificação das faces dos provetes, podem ser adoptados diferentes procedimentos:

- regularização com pasta de cimento;
- regularização com argamassa de cimento e areia;
- regularização com pasta de enxofre;
- desgaste mecânico;
- interposição de placas de diferentes tipos de materiais compressíveis (cartão, aglomerados de madeira e materiais elastómeros).

Um estudo levado a cabo no CSTB, visando a caracterização da resistência à compressão de alvenarias realizadas com blocos de betão de diversas proveniências, rectificadas com pasta de cimento, pasta de enxofre e argamassa de cimento e areia, permitiu concluir que :

- a regularização com pasta de enxofre conduz a tensões médias de rotura mais elevadas, enquanto a regularização com argamassa de cimento e areia conduz a tensões médias de rotura mais baixas;
- se bem que variando com o tipo de bloco, as diferenças obtidas com diferentes técnicas de regularização são da ordem dos 25%.

Esta variação dos valores da resistência mecânica com o tipo de material usado na rectificação, deve-se, fundamentalmente, às diferentes características de deformação lateral destes materiais, conduzindo normalmente os materiais menos deformáveis transversalmente a roturas para tensões de compressão mais elevadas. Este efeito está também associado à rigidez dos pratos da máquina, situação aliás que não é exclusiva das alvenarias.

Relativamente às condições de conservação, os elementos são normalmente ensaiados secos ao ar ou saturados.

A normalização em preparação no CEN preconiza que a tensão de rotura dos blocos de betão secos, para efeitos de cálculo, seja obtida multiplicando por 1.2 os valores correspondentes a ensaios realizados com blocos saturados. Coeficientes de correlação entre a resistência de blocos de betão secos e saturados próximos de 1.2 são referidos noutros trabalhos.

Um outro parâmetro, cuja influência nos resultados dos ensaios de compressão dos blocos não pode ser negligenciada, é a relação altura / espessura dos provetes, designada “*factor de forma*”.

Com efeito, e em analogia com o que se passa por exemplo nos betões, os pratos da prensa exercem sobre os provetes um constrangimento que produz tensões adicionais na vizinhança dos pratos - efeito de cintagem. Existem dispositivos de ensaio que permitem atenuar este efeito, mas a sua aplicação não é prática em ensaios correntes. De forma a ter em conta este efeito e permitir uniformizar resistências à compressão de elementos com diferentes relações altura / espessura, diversa normalização relativa a estruturas de alvenarias preconiza a adopção de coeficientes de correcção que corrigem as tensões de rotura resultantes do ensaio, transformando-as em tensões de rotura para cálculo.

Essas correcções apresentam valores superiores à unidade para elementos “esbeltos” e valores inferiores à unidade para elementos com baixa relação altura / espessura. No caso da normalização CEN as dimensões do elemento de referência são 100 mm para a altura e espessura, ou 150 mm para a altura e 200 mm para a espessura, transcrevendo-se no Quadro 4 as correcções a adoptar segundo o mesmo documento.

Quadro 4 - Factor corrector multiplicativo - δ -, a aplicar à resistência à compressão dos elementos, para obtenção da resistência normalizada

ALTURA (mm)	Factor de forma δ				
	Espessura mínima do elemento (mm)				
	50	100	150	200	≥ 250
50	0.85	0.75	0.70	-	-
65	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65
100	1.15	1.00	0.90	0.80	0.75
150	1.30	1.20	1.10	1.00	0.95
200	1.45	1.35	1.25	1.15	1.10
≥250	1.55	1.45	1.35	1.25	1.15

Chama-se a atenção para o facto da própria forma de calcular a tensão de rotura à compressão não ser também uniforme na diferente normalização. Existem diferenças na secção do bloco a considerar e no carácter da tensão, média ou característica. Sintetiza-se no Quadro 5 um resumo da secção de cálculo e forma de expressão da tensão, constante de alguma normalização de referência.

Quadro 5 - Aspectos relativos à determinação da resistência à compressão de blocos de betão - f_b'

NORMA	Nº DE ELEMENTOS (1)	SECÇÃO DE CÁLCULO DA TENSÃO DE ROTURA	FORMA DE EXPRESSÃO DA TENSÃO DE ROTURA - f_b' (2)
FRANÇA NF P 14-304	8	- Juntas Contínuas - Secção aparente - Juntas Descontínuas - Secção comum ao bloco e à argamassa das juntas	Valor característico.
GRÃ-BRETANHA BS 6073	10	Secção aparente	
EUA ASTM C140	_____	Secção aparente ou secção média efectiva de betão	Valor médio
CEN pr EN 772-1	≥10 ou 6 (se coef. var. ≤15%)	Secção aparente	Valor médio

(1) - Para efeitos de ensaios de recepção

(2) - A resistência à compressão dos elementos para alvenaria f_b' , não é afectada de coeficientes correctores associados à forma dos elementos, ao contrário da resistência normalizada - f_b

b) Influência da resistência à compressão dos elementos na resistência à compressão da alvenaria

A resistência à compressão das alvenarias é muito condicionada pela resistência à compressão dos elementos que a constituem. Essa importância está patente no facto da generalidade dos modelos de comportamento das alvenarias fazerem depender a resistência à compressão da alvenaria da resistência dos elementos. No entanto a relação entre as duas grandezas varia sensivelmente com a geometria do elemento, orientação e percentagem de furação.

Relativamente a alvenarias realizadas com blocos de betão de inertes leves de argila expandida, não se conhecem resultados de ensaios. Dispõe-se no entanto de resultados estrangeiros relativos a blocos de betão de inertes normais, com geometrias próximas das correntes em Portugal e de resultados dum trabalho de Tese efectuado no LNEC com blocos correntes em Portugal .

Uma primeira constatação, corroborada aliás pelas expressões do modelo simplificado de Delmotte et al e mesmo pelas expressões do Eurocódigo 6 [96], é o facto da resistência da alvenaria à compressão ser sempre inferior à resistência dos blocos que a constituem. Essa resistência cresce à medida que melhora a resistência da argamassa de assentamento, embora tendendo assintoticamente para um valor inferior a f_b (situado aproximadamente entre 0.7 e $0.9 f_b$ para os blocos de betão). Salienta-se no entanto que essa tendência pode não ser tão nítida no caso de alvenarias realizadas com blocos de reduzida resistência. A fig. 4 adaptada de Hurez , procura explicitar a influência mútua entre as resistências à compressão da alvenaria do bloco e da argamassa.

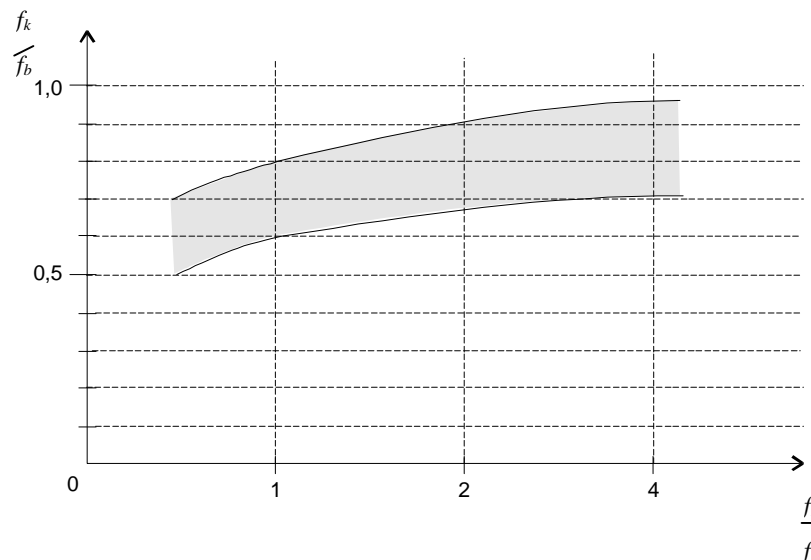


Fig. 4 - Relação entre as resistências à compressão da alvenaria (f_k) e da argamassa (f_m), expressas relativamente à resistência do bloco (f_b)

Uma segunda constatação tem a ver com o mecanismo de rotura da alvenaria de blocos de betão que está muito dependente da resistência e deformabilidade dos elementos e da argamassa.

Para resistências da argamassa de assentamento claramente inferiores à resistência do elemento, a rotura ocorre por punçoamento da argamassa de assentamento. À medida que a resistência da argamassa de assentamento vai aumentando, a rotura passa a ser comandada pelas tensões de tracção perpendiculares à força de compressão, suscitadas pelo impedimento à livre deformação da argamassa das juntas (vd. fig. 1). Para argamassas de assentamento muito resistentes, a rotura passa a ocorrer por esmagamento do material constituinte dos blocos.

Convém ter presente que para resistências moderadas da argamassa, o mecanismo de rotura da alvenaria é diferente do mecanismo de rotura do bloco quando ensaiado isolado.

4.3 - Geometria interna e dimensões dos elementos

Não se conhecem muitos estudos relativos à influência da geometria interna e dimensões dos elementos e os que se conhecem não são facilmente extrapoláveis para as geometrias correntes em Portugal, já que são provenientes dos Estados Unidos e Canadá. Como se sabe nesses países e também na Grã-Bretanha, a geometria dos blocos de betão é mais simples, caracterizada em geral pela existência de 2 septos longitudinais exteriores, travados por septos transversais que definem um número limitado de furos. Normalmente os furos atravessam todo o bloco e as larguras máximas não ultrapassam os 200 mm.

Noutros países da Europa, com os quais Portugal tem mais afinidades, a geometria comporta um maior número de furos, dispostos em várias fiadas, limitadas por septos longitudinais interiores e exteriores. Por outro lado, normalmente, os blocos dispõem total ou parcialmente dum fundo cego para colocação da argamassa. Dado que estes elementos são em alguns casos usados em parede simples, a sua espessura pode ultrapassar os 200 mm e os betões usados na sua composição são normalmente menos resistentes, mas mais isolantes, que os seus homólogos da América do Norte.

a) Percentagem de furação

Um primeiro indicador que reflecte parcialmente a influência da geometria interna do elemento é a percentagem de furação. Este indicador é usado na normalização como base para a classificação dos elementos para alvenaria, sendo em geral a resistência à compressão da alvenaria maior, para a mesma composição do elemento, à medida que a percentagem de furação dos elementos que a constituem for menor. Directa ou indirectamente as diferentes normalizações limitam a percentagem de furação, sendo em geral esses limites inferiores, quando a alvenaria têm funções estruturais. No entanto a percentagem de furação por si só poderá não ser suficiente para explicitar toda a influência da geometria. Com efeito, é facilmente perceptível que alvenarias realizadas com blocos com a mesma constituição e percentagem de furação poderão ter desempenhos mecânicos diferentes, em função dos seguintes aspectos:

- espessura mínima dos septos, por forma a que os mesmos não rompam por encurvadura;
- desenvolvimento mínimo de septos nas duas direcções, por forma a travar convenientemente os septos dispostos ortogonalmente e a absorver os esforços de tracção provocados pela argamassa das juntas;
- forma como se sobrepõem os septos dos blocos das diferentes fiadas, se é evidente que os septos longitudinais se sobrepõem sempre, a não sobreposição dos septos transversais pode provocar esforços tangenciais importantes ;
- no caso de blocos assentes com juntas descontínuas, rentabilização da secção segundo a qual se faz a transmissão das cargas, de forma a maximizar a relação dessa secção comparativamente à secção total do bloco.

b) Dimensões dos elementos

Quanto às dimensões do elemento, o comprimento e a largura parecem não ser relevantes para a mesma percentagem de furação. Relativamente à altura, a “esbelteza” do elemento condiciona a sua resistência, devendo efectuar-se as correcções par as dimensões normalizadas, de acordo com o Quadro 4 . O aumento da altura do elemento, traduzido por uma redução da densidade de juntas, será em geral favorável do ponto de vista mecânico.

4.4 - Resistência e características da argamassa

O tipo de argamassa usada na realização das juntas de assentamento condiciona diversos aspectos do desempenho das paredes, conforme já foi discutido. A importância desta influência acentua-se actualmente, na medida em que as acções de optimização das alvenarias passam normalmente pelos métodos de assentamento e configuração das juntas.

Sob um ponto de vista exclusivamente mecânico, as juntas de argamassa desempenham as seguintes funções:

- atenuam os pontos duros de contacto entre as superfícies, reduzindo a concentração de tensões e permitindo à parede adaptar-se às deformações;
- permitem corrigir, fiada a fiada, a horizontalidade e verticalidade da parede;
- contribuem durante a construção para a auto-estabilidade da parede.

Em Portugal predominam ainda as argamassas feitas em obra e com composições pouco variadas. Noutros países é vulgar a utilização de argamassas prontas ou pré-doseadas. Nestes casos existe um leque mais alargado de escolha, compreendendo argamassas para juntas correntes (10 a 12 mm), com inertes normais ou leves e argamassas para juntas delgadas (1.5 a 3 mm). A composição destas argamassas, que inclui normalmente adjuvantes, é habitualmente estabelecida de acordo com a resistência e deformabilidade pretendida.

Na avaliação dos condicionalismos ao comportamento mecânico da alvenaria associados às características mecânicas das argamassas, sobressai como dificuldade a constatação de que tais características, determinadas a partir dos ensaios correntemente usados (meios prismas obtidos do ensaio de flexão), têm fraca correlação com a resistência efectiva da junta de argamassa na alvenaria.

Diferentes autores referem esta limitação chegando mesmo a sugerir técnicas de ensaio alternativas, em que se extraem provetes de argamassa de juntas de assentamento ou se deduz indirectamente o comportamento da junta a partir de ensaios de provetes realizados com tijolos maciços e juntas de argamassa .

Embora se reconheça esta realidade, por facilidade continua-se a adoptar estes provetes porque se reconhece a diminuta influência da resistência à compressão da argamassa no comportamento da alvenaria. Esta conclusão pode ser inferida pelas expressões já referidas do modelo simplificado e do *EC6*, bem como por inúmeros trabalhos de carácter experimental e de simulação numérica que se conhecem.

A resistência da argamassa na alvenaria é condicionada por um conjunto de parâmetros que se procuram sintetizar na fig. 5.

A influência desses parâmetros é a seguinte:

- *Quantidade de água* - relacionando-se com a consistência e a trabalhabilidade da argamassa, o seu correcto estabelecimento passa pelo conhecimento da capacidade de retenção de água que se consegue obter (dependente das características dos inertes disponíveis e adjuvantes eventualmente utilizados), e pela capacidade de absorção de água dos elementos e o seu estado de humedecimento.
- *Capacidade de absorção de água dos elementos* - ligada à porosidade e dimensão dos poros, determina a capacidade de absorção de água pelos elementos a partir da argamassa e o tempo que a mesma irá durar.

Elementos com elevada capacidade de absorção deverão ser molhados, a menos que a argamassa tenha uma boa capacidade de retenção de água.

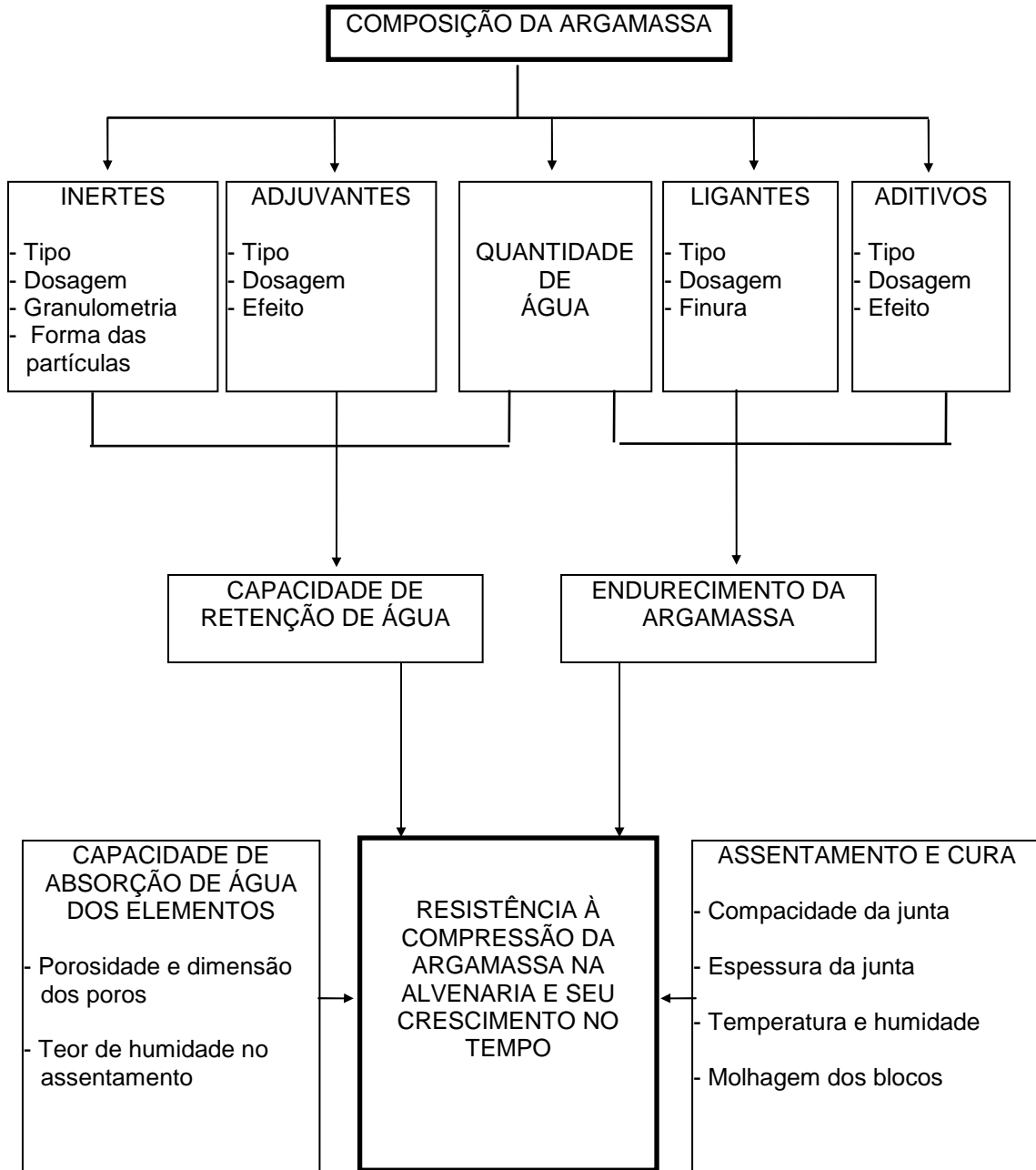


Fig 4.5 - Condicionantes da resistência à compressão da argamassa na alvenaria [143]

- *Capacidade de retenção de água pela argamassa* - é muito importante sobretudo quando os elementos são muito absorventes (pode ser melhorada aumentando a dosagem de partículas finas e / ou através de adjuvantes).
- *Condições ambientais* - a argamassa nos primeiros dias deverá ser protegida dado que, sobretudo no exterior, pode sofrer por condições atmosféricas perda de água necessária à sua cura.

Entre nós, e no trabalho de Tese já referido realizado no LNEC [136], o emprego de uma argamassa com resistência dupla de outra conduziu a um aumento da resistência da alvenaria que não ultrapassou 10%. Esta ordem de grandeza concorda com os valores constantes das referências já citadas.

Quanto à possibilidade de utilizar argamassa de inertes leves na realização das alvenarias, a sua influência na resistência final da alvenaria é semelhante à da argamassa realizada com inertes correntes. No entanto, e dada a maior deformabilidade deste tipo de argamassas, alvenarias realizadas com argamassa de inertes leves apresentam menores resistências que alvenarias realizadas com os mesmos elementos (tijolos maciços) e com argamassas de inertes correntes de igual resistência [147]. Esta diferença acentua-se à medida que cresce a resistência dos elementos.

4.5 - Juntas de assentamento

A influência dos aspectos intrínsecos, associados à composição e tipo de argamassa, foram discutidos em 4.4.

Pretende-se agora discutir a influência dos seguintes aspectos, na resistência mecânica das alvenarias:

- espessura das juntas;
- juntas horizontais contínuas / descontínuas;
- juntas verticais preenchidas / secas.

a) Espessura das juntas

As juntas constituem, sob o ponto de vista mecânico, um ponto fraco das alvenarias. O aumento da espessura das juntas prejudica a resistência da parede conforme tem sido verificado em inúmeros estudos experimentais realizados. A título de exemplo refere-se uma caracterização experimental efectuada por DRYSDALE, em que a duplicação da espessura das juntas, de 9.5 mm para 19 mm, implicou uma redução da resistência à compressão da alvenaria da ordem de 16% (ensaio de prismas de blocos de betão correntes na América do Norte).

Diversos estudos numéricos apontam também no mesmo sentido . A análise das expressões simplificadas de DELMOTTE et al. , evidencia que a resistência da alvenaria tende para a resistência do bloco quando a espessura da junta tende para zero.

Esta constatação é também traduzida pelas expressões preconizadas pelo EC6, que favorecem as juntas delgadas realizadas com argamassa - cola relativamente às juntas de espessura corrente.

b) Juntas horizontais contínuas / descontínuas

A adopção de juntas horizontais de assentamento descontínuas prejudica a resistência a acções verticais das alvenarias, comparativamente à adopção de juntas de assentamento contínuas.

A existência da referida descontinuidade vai solicitar os septos transversais em flexão, originando tensões de tracção máximas na face inferior dos mesmos septos, conforme se ilustra na fig. 4.6. Este efeito é agravado pelo facto dos septos disporem, por razões associadas à produção, de uma ligeira inclinação.

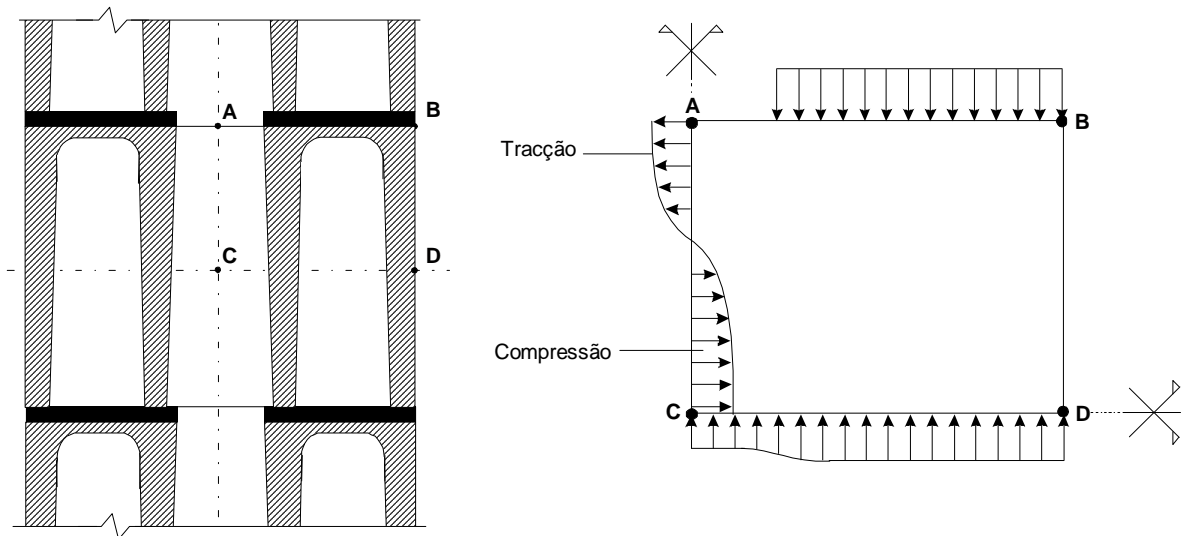


Fig 6 - Mecanismo de equilíbrio e tensões nos septos transversais

Este assunto tem sido estudado por diversos autores, através de modelos numéricos e modelos experimentais, mas em geral com geometrias de blocos correntes na América do Norte e no Grã-Bretanha.

A quantificação da importância desta disposição, está dependente da dimensão da descontinuidade e da resistência dos blocos. No entanto constata-se na generalidade dos estudos, um agravamento significativo das tensões de tracção desenvolvidas na vizinhança das juntas, muito superior à relação entre a secção argamassada e a secção aparente .

No caso da determinação da resistência das alvenarias por recurso a ensaio de “muretes”, tratando-se de blocos com juntas de assentamento descontínuas, a regularização das faces em contacto com os pratos da máquina deverá ser também descontinua. A regularização em contínuo conduz nestes casos a resistências inferiores às obtidas com regularização descontinua, pois as condições de equilíbrio impõem uma maior sollicitação dos septos transversais.

A regulamentação de referência, *EC6*, relativamente a alvenarias realizadas com juntas descontínuas, preconiza a utilização das expressões adoptadas para as juntas contínuas, com a condição da resistência do elemento ser determinada solicitando-o de forma descontinua.

c) Juntas verticais preenchidas / secas

Conforme já foi referido, por questões de economia e produtividade há um interesse crescente na supressão total ou parcial da argamassa das juntas verticais, sobretudo na Europa, onde os materiais para alvenarias têm larguras maiores e são concebidos para outras funções que não exclusivamente resistentes. Os elementos concebidos para a realização de alvenarias com juntas total ou parcialmente secas, dispõem correntemente de topos com geometria em perfis macho - fêmea.

A generalidade da informação disponível relativa a alvenarias com juntas verticais secas, aponta para uma redução pouco significativa da resistência a acções verticais, embora a resistência ao corte seja mais penalizada.

Um trabalho de Tese realizado em França [45], aponta para uma redução da resistência à compressão entre 10 a 12% por supressão total das juntas verticais. O mesmo estudo refere que a existência de dispositivos de encaixe pode melhorar a transmissão dos esforços de corte, em alvenarias com juntas verticais não argamassadas.

Esta orientação é também seguida pelo EC6 que não penaliza a resistência vertical das alvenarias por supressão da argamassa das juntas verticais de assentamento, mas em termos de resistência ao corte a penalização é da ordem dos 40%.

4.6 - Aparelho de assentamento e qualidade de execução

O aparelho de assentamento tem importância no comportamento mecânico das alvenarias. Na bibliografia de referência americana não há muitos estudos sobre este assunto, já que a alvenaria é normalmente assente com argamassagem das juntas longitudinais e os ensaios são realizados sobre prismas sem juntas verticais, obtidos pela simples justaposição de vários elementos, de acordo com o preconizado na especificação americana ASTM E 447-84 fig. 7.

Este tipo de provete, designado na terminologia norte americana por “*stack bond*”, não traduz a influência do aparelho de assentamento e das juntas verticais, sendo os resultados em geral superiores aos obtidos com “*muretes*” que traduzem as condições reais de assentamento, designados na terminologia norte americana por “*run bond*”.

Esta conclusão foi obtida na caracterização experimental efectuada no LNEC e já referida, bem como em trabalhos de simulação numérica . Neste último trabalho mostra-se que a forma como os septos transversais se dispõem influencia as tensões axiais e tangenciais ao longo do provete, reduzindo-se ambas, especialmente as tensões tangenciais, caso a geometria dos blocos possibilite uma sobreposição total dos septos entre fiadas sucessivas.

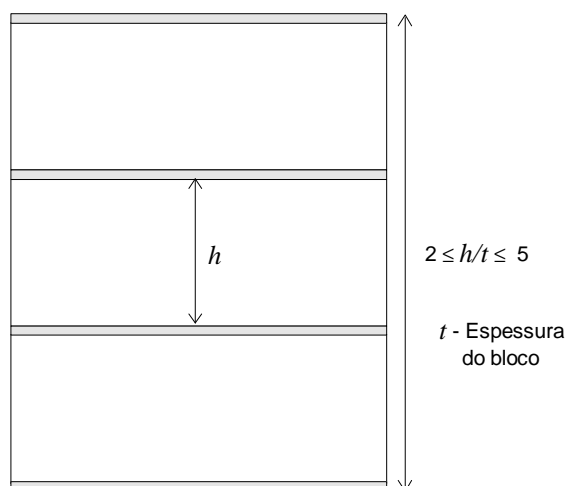


Fig 7 - Provede para ensaio de alvenaria à compressão segundo ASTM E 447-84 “*stack bond*”

A qualidade de execução tem um efeito relevante sobre o comportamento mecânico das alvenarias, mas muito difícil de parametrizar. Os aspectos associados à qualidade de execução das juntas, traduzidos no seu correcto preenchimento,

numa boa compacidade e aderência da argamassa aos blocos são determinantes. A correcta execução da parede, com um aparelho regular e sem desvios de verticalidade é também importante.

Não se conhecem muitas referências que quantifiquem a importância deste parâmetro. Numa campanha de caracterização mecânica, sob acções verticais, de alvenarias de blocos realizada no *CSTB* na década de 70, a acumulação de diferentes tipos de defeitos construtivos (desaprumo, elementos mal assentes, etc.), conduziu a uma redução de capacidade resistente da parede de cerca de 50%.

Os documentos de carácter regulamentar contemplam também a influência deste parâmetro. No caso do *EC6* a qualidade de execução influencia os coeficientes parciais de segurança relativos aos materiais, conforme se explicita no Quadro 4.6. Os requisitos relativos à definição da categoria associada ao controlo de qualidade na produção dos elementos, foram sintetizados no Quadro 2.

Quadro 6 - Coeficientes parciais de segurança relativos às propriedades dos materiais, segundo *EC6*

Controlo de qualidade na produção dos elementos	Controlo da qualidade de construção		
	CATEGORIA		
CATEGORIA	A	B	C
I	1.7 *	2.2 *	2.7 *
II	2.0 *	2.5 *	3.0*

* - valores indicativos, podendo os estados membros especificar outros valores

As condições requeridas pelo *EC 6* para inclusão nas diferentes categorias de controlo de qualidade na construção, são:

- Categoria A
 - realização por pessoal qualificado e experiente;
 - inspecção regular dos trabalhos por entidade independente;
 - estudo de composição da argamassa de assentamento ou conhecimento prévio da mesma, por forma a garantir-se que a resistência pretendida é alcançada;
 - ensaios regulares da argamassa;
 - produção da argamassa através de meios mecânicos, com doseamento ponderal dos constituintes, sendo o doseamento volumétrico permitido apenas se existirem recipientes que permitam uma medição precisa.

- Categoria B
 - realização por pessoal qualificado e experiente;
 - estudo de composição da argamassa de assentamento ou conhecimento prévio da mesma, por forma a garantir-se que a resistência pretendida é alcançada;
 - ensaios com periodicidade não estabelecida da argamassa de assentamento;

- produção da argamassa através de meios mecânicos, com doseamento ponderal dos constituintes, sendo o doseamento volumétrico permitido apenas se existirem recipientes que permitam uma medição precisa.
- Categoria C
 - realização por pessoal qualificado e experiente.