

PROCEDIMENTOS DE ENSAIO PARA SELECÇÃO DE TERRA CRUA COMO MATERIAL ESTRUTURAL

Lourenço^{*}, P.; Brito^{**}, J. de; Branco^{***}, F. A.

^{*}Arquitecta, Mestre em Construção (IST)

^{**}Professor Associado. DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal

^{***} Professor Catedrático. DECivil, Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal



RESUMO

A terra crua é um material estrutural com uma tradição de milénios e forte implantação no nosso país, sobretudo a Sul do Tejo. Por razões diversas, perdeu a importância que teve estando-lhe associada uma imagem negativa que, por questões relacionadas com o ambiente e a conservação das tradições, começa agora a ser invertida. No presente artigo e com base na experiência adquirida no maior centro mundial de investigação neste domínio, a Escola de arquitectura de Grenoble associada ao grupo CRAterre, e na elaboração de uma dissertação de Mestrado em Construção no IST^[1], descrevem-se os procedimentos de ensaio a que a terra crua deve ser sujeita, tanto in situ como em laboratório, para se aferir as suas características mais importantes como material estrutural.

1. INTRODUÇÃO

A escolha correcta da matéria-prima para a construção em terra crua é uma etapa fundamental. Neste artigo, são descritos alguns ensaios simples e económicos, que permitem sustentar a escolha da terra em critérios técnicos. Os ensaios descritos estão compilados no guia de procedimentos de ensaios para blocos de terra comprimidos, elaborado por três instituições de pesquisa técnica¹, e que constitui um documento normativo² para vários países Africanos.

Este documento está dividido em três partes:

1. Ensaio para a identificação da matéria-prima:
 - teor em água;
 - granulometria - peneiração húmida;
 - granulometria - sedimentação;
 - limites de consistência;
 - ensaio ao metileno;
 - matérias orgânicas;
2. Ensaio de fabricação
 - teor em água óptimo;
3. Ensaio sobre os produtos finais
 - resistência à compressão seca;

¹ CDE - Centre pour le Développement de l'Entreprise, CRAterre-EAG e ENTPE - École Nationale des Travaux Publics de l'Etat de Lyon.

² ORAN - Organisation Régionale Africaine de Normalisation.

- resistência à compressão húmida;
- resistência à tracção seca;
- resistência à abrasão;
- absorção por capilaridade;
- dimensões, massa e massa volúmica aparente.

2. RECOLHA DE AMOSTRAS

A recolha de amostras de solo deve fazer parte de qualquer estudo de viabilidade de construção. Cada amostra de terreno deve ser guardada num saco selado, devendo ser etiquetada com o local e profundidade de recolha. Em zonas bastante próximas, os solos podem variar significativamente pelo que, na inspecção de determinado terreno, se devem retirar várias amostras a distâncias relativamente curtas.

A verificação da composição e granulometria dos solos (Fig. 1) implica um trabalho relativamente simples, pelo que não deve ser dispensado previamente à utilização de uma terra para a construção.

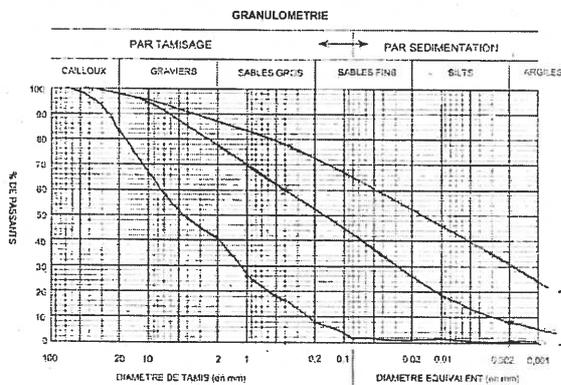


Fig 1 - Estudo granulométrico de diversas terras

3. TESTES PRELIMINARES DE CAMPO

Em campo, como forma expedita de verificar a susceptibilidade de determinado terreno para a utilização como material para a construção, podem ser feitos alguns ensaios simples, que permitem, sem consumir muito tempo e recursos, verificar certas características do material e confirmar a sua aptidão, ou não, para a construção. Estes

ensaios indicam ainda a necessidade de elaboração de análises complementares de laboratório.

Um simples exame visual permite apreciar, ainda que de forma grosseira, a percentagem de fracção arenosa e de finos do terreno. Uma terra orgânica é identificável pelo seu odor forte a húmus e humidade. Estes odores são aumentados se se aquece ou molha a terra.

Esmagando um pedaço de terra entre os dedos e a palma da mão, pode-se identificar uma terra arenosa, dando uma sensação de rugosidade e aspereza e não apresentando coesão, uma siltosa, apresentando alguma rugosidade e tornando-se plástica quando humedecida, ou uma argilosa, quando no estado seco se apresenta em grumos que resistem quando esmagados e se torna plástica e colante assim que é humedecida.

Este teste pode ser complementado com a lavagem das mãos com terra. A terra é arenosa se as mãos se lavam facilmente, siltosa se parece pulverulenta e argilosa se se cola às mãos, dificultando a lavagem, dando a sensação ao toque de que se está a usar um sabonete.

Pode-se ainda fazer uma pequena bola de terra ligeiramente humedecida e cortá-la com uma faca. Um aspecto baço indica uma terra predominantemente arenosa, enquanto que um aspecto brilhante indica a presença de uma terra argilosa.

Na mesma bola, pode-se cravar uma faca e verificar se a penetração é difícil e a terra adere à espátula quando é retirada, indicando uma terra essencialmente argilosa, ou se a espátula entra com facilidade e sai quase sem vestígios de terra, indicando uma terra essencialmente arenosa.

Também é possível executar testes de sedimentação muito simples, para verificar as quantidades das fracções das diferentes texturas. Basta utilizar um frasco redondo e de fundo plano, que se enche até $\frac{1}{4}$ com terra, completando-se os restantes $\frac{3}{4}$ com água. Deixa-se repousar para permitir uma impregnação, e de seguida agita-se o frasco.

Deixa-se então decantar a mistura numa superfície horizontal. Volta-se a agitar após uma hora e deixa-se decantar. Após pouco tempo (cerca de 45 minutos), pode-se começar a observar que as areias se depositam no fundo, seguidos de uma camada de silte e de outra de argilas. Ao cimo da água surgem as partículas orgânicas. Eventualmente em suspensão na água, subsistem as partículas coloidais extremamente finas. Após cerca de 8 h, pode-se medir a altura das diferentes camadas e do total, o que dará uma ideia da constituição da terra em termos percentuais. Um ligeiro erro deve ser tido em conta, já que as partículas argilosas aumentaram o seu volume com a presença da água.

Um teste de retracção simples também pode ser efectuado com escassos recursos, bastando a utilização de um molde sem fundo. Este molde deve ser cheio de terra humedecida. O molde é retirado e a terra seca ao sol durante 3 dias ou à sombra durante sete dias. Após este tempo, volta a colocar-se a amostra de terra dentro do molde. Este teste serve para verificar se se está na presença de uma terra muito argilosa, o que terá provocado uma diminuição de volume da terra seca em relação ao molde utilizado.

Pode-se, ainda que de forma preliminar e primária, verificar a resistência a seco de determinada amostra. No estado plástico, são moldadas pastilhas de determinadas dimensões as quais, após a secagem, se tenta partir manualmente. Se a pastilha de terra é difícil de quebrar (parte-se como um biscoito seco) e quando se raspa numa superfície dura se desfaz em pó, está-se na presença de uma terra bastante argilosa. Se apresentar uma resistência média no estado seco (é possível reduzi-la a pó com alguma pressão e esforço), está-se na presença de uma terra de argila siltosa ou arenosa. Se apresenta uma fraca resistência no estado seco (reduz-se a pó com extrema facilidade), está-se na presença de siltes e areias.

Estes ensaios são úteis para evitar a execução de ensaios complementares em

terras que à partida já demonstraram não ser apropriadas, ou poderão também indicar a necessidade de estabilização da terra para a sua possível utilização na construção. Em zonas em que o recurso a laboratórios é difícil e em que as condições de trabalho não são as desejáveis, estes testes, ainda que grosseiros, têm grande utilidade.

4. TESTES EM LABORATÓRIO

Os ensaios e testes preliminares podem ser complementados com ensaios que se baseiam na observação da textura, granulometria, plasticidade e coesão da terra.

Ainda que também bastante simples, estes ensaios podem fornecer dados para uma classificação geotécnica do terreno. Assim, complementarmente aos testes de campo, podem ser feitos ensaios de decantação, testes simples de resistência no estado seco, testes de consistência e de coesão.

4.1 Verificação do teor em água

O teor em água (W) é definido como a relação entre o peso da água e o das partículas sólidas e vai expressar os diferentes estados hídricos do solo. O objectivo é verificar que percentagem de determinada amostra é água livre, em comparação com a sua massa seca.

$$W = W_{\text{água}} / W_{\text{sólidos}}$$

Trata-se de um procedimento muito simples em que a amostra é pesada inicialmente e após a sua secagem. A amostra é seca em estufa, à temperatura de 105 °C (Fig. 2). A amostra deve ser representativa em termos granulométricos do solo que se quer estudar. A quantidade de material que deve ser utilizada como amostra relaciona-se com a dimensão das partículas.

4.2 Granulometria

O objectivo deste ensaio é identificar por percentagem os diferentes constituintes do solo, para elementos de dimensão superior a

0.08 mm. Este ensaio não permite uma identificação mineralógica.

O ensaio (Fig. 3) consiste na filtragem do solo através de uma série de peneiros de dimensão decrescente e normalizada. As partículas retidas em cada passagem são secas e pesadas, comparando-se a massa de cada fracção com a massa total.

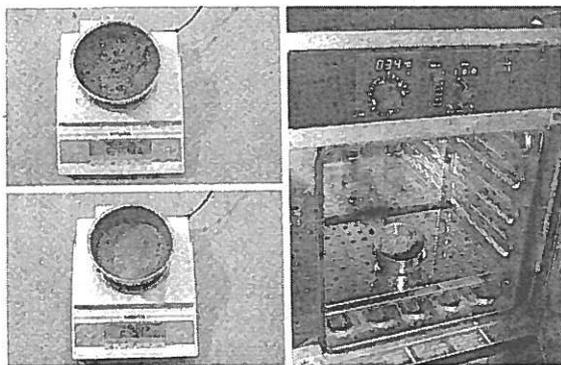


Fig. 2 - Teste de verificação de teor em água

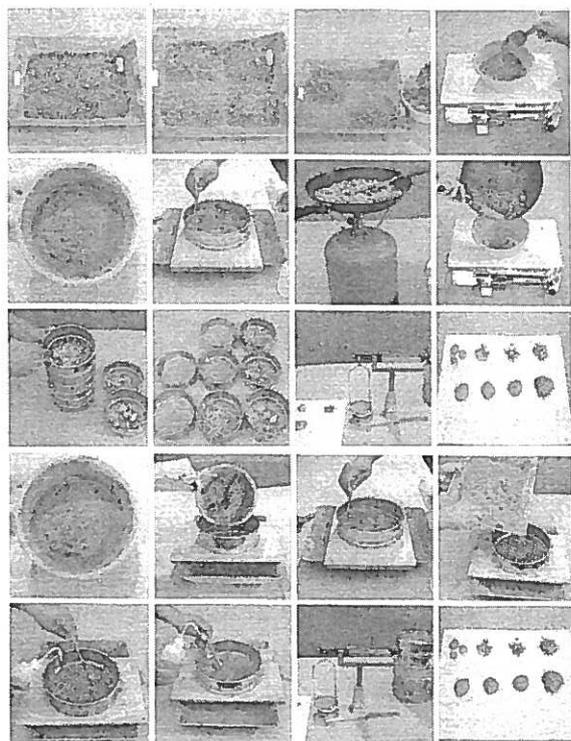


Fig. 3 - Teste de caracterização da granulometria

A apresentação dos resultados faz-se sob a forma de um gráfico (curva granulométrica), através de uma curva de distribuição da dimensão das partículas³. A

³ Nas abcissas, regista-se normalmente a dimensão das partículas e, nas ordenadas, a percentagem cumulativa de material peneirado (Fig. 1).

peneiração tem sempre que ser efectuada a húmido, para que os elementos argilosos se desagreguem e não sejam interpretados como agregados de maior dimensão.

4.3 Sedimentação

Este ensaio permite completar a análise granulométrica e aplica-se aos elementos de dimensão inferior 0.08 mm (Fig. 4).

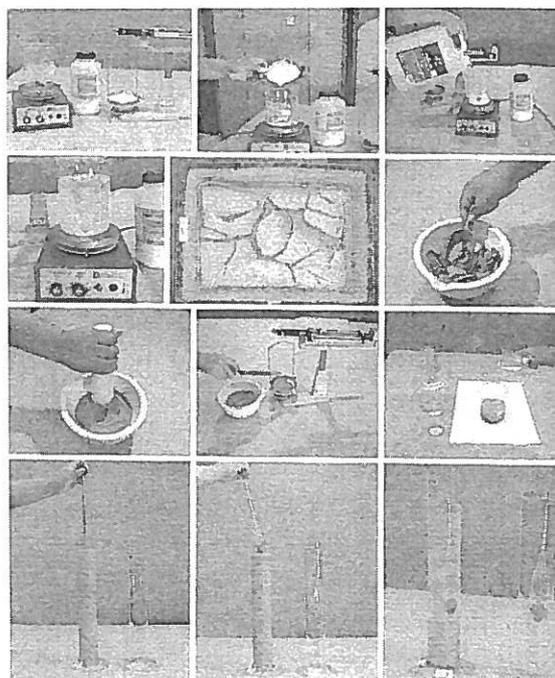


Fig. 4 - Sedimentação - Caracterização da granulometria (finos)

As partículas de solo são colocadas em suspensão homogénea num líquido. Compara-se a diferença de velocidade a que diferentes partículas em suspensão sedimentam, em função do diâmetro das mesmas. A medida dos tempos e das densidades faz-se com recurso à lei de Stokes.

4.4 Granulometria óptima

Sabendo o papel que cada elemento constituinte do solo tem na construção em terra, é possível definir percentagens óptimas de cada um deles, criando-se uma curva "ideal" e duas curvas correspondendo aos limites de tolerância inferior e superior. Deste modo, é possível rapidamente comparar a curva granulométrica de qualquer solo com este intervalo. Um

terreno para construção em terra deve assim aproximar-se o mais possível da curva "ideal". A curva do terreno deve ainda ser relativamente paralela às curvas de tolerância e à curva ideal. Através de estudos e pesquisas, o grupo CRATerre definiu limites diferentes para construções em taipa e para BTC (blocos de terra comprimida).

4.5 Ensaio aos limites de consistência

A consistência de um solo pode variar dentro de um grande intervalo, consoante a quantidade de água intersticial que contém nos seus poros e a espessura da camada de água absorvida.

O investigador sueco Atterberg definiu estes diferentes estados hídricos e as fronteiras que os separam através de limites e índices, expressos em percentagem ponderada do teor em água.

Os limites de Atterberg são constantes físicas, sendo os mais relevantes:

- a passagem do estado líquido ao estado plástico (limite de liquidez);
- a passagem do estado plástico ao estado sólido (limite de plasticidade).

Estes limites têm por valores o teor em água do solo no estado de transição em causa, expresso pela percentagem da massa do material seco.

A diferença entre estes valores fornece o índice de plasticidade, particularmente importante.

É sobre as partículas da terra de diâmetro inferior a 0.4 mm que se determinam os limites de Atterberg, pois é sobre estes elementos que a água actua, modificando a sua consistência.

O limite de liquidez é o teor em água a partir do qual duas metades de uma "bolacha" de terra colocadas num prato e separadas por uma lâmina axial normalizada se voltam a unir numa distância de 1 cm após 25 "golpes" de lâmina. Para a sua determinação, utiliza-se um aparelho denominado concha de Casagrande. O ensaio é repetido para diferentes teores em água, permitindo desenhar uma curva de forma

a determinar o teor em água correspondente a 25 pancadas.

O limite de plasticidade é definido pelo teor em água de um pequeno rolo de terra, que se separa quando atinge os 3 mm de diâmetro. É medido moldando-se uma bola de terra, que vai sendo rodada numa superfície plana de vidro ou mármore com a palma da mão. A terra atingiu o seu limite plástico quando o rolo obtido de 3 mm de espessura se separa em pequenas porções de cerca de 1 a 2 cm de comprimento. Se o rolo se desintegrar enquanto o seu diâmetro é ainda superior a 3 mm, deve ser adicionada água. Se atinge os 3 mm sem se separar, deve ser ligeiramente seco antes de se iniciar novamente o processo. O rolo deve ter um comprimento de cerca de 5 a 6 cm.

Este ensaio (Fig. 5), apesar de apresentar resultados válidos e indicativos, é um método empírico e os resultados dependem muito do operador.

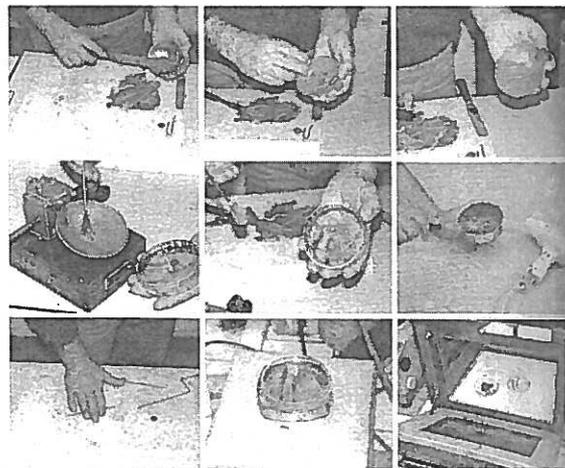


Fig. 5 - Verificação dos limites de consistência

4.6 Ensaio de azul de metileno

Este ensaio (Fig. 6) mede a capacidade dos finos do solo de absorver o azul do metileno na parte externa e interna das partículas. A partir da medida da quantidade de metileno necessária para cobrir, numa camada mono-molecular, a superfície externa e interna dos elementos constituintes da amostra e da medida da massa da amostra, determina-se o valor referente à fracção estudada.

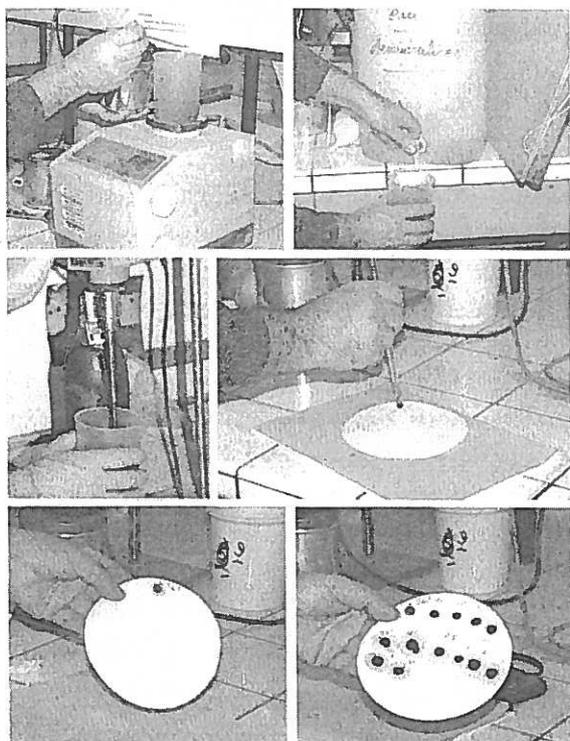


Fig. 6 - Verificação do grau de actividade da fracção argilosa

É um ensaio adaptado ao estudo das fracções argilosas, que permite verificar a sua maior ou menor actividade.

O ensaio consiste em injectar sucessivas doses de metileno numa solução aquosa contendo a amostra a estudar. Controla-se a absorção um minuto após cada injeção, com a ajuda de um papel de filtro. Uma auréola incolor indica que todo o metileno azul foi absorvido, enquanto que uma azul indica a saturação da amostra.

4.7 Verificação da quantidade de matéria orgânica

Os solos podem conter matérias orgânicas e ácidos que são nefastos em caso de estabilização, pois retardam ou impedem o efeito de presa dos ligantes hidráulicos. O ensaio permite identificar o teor em matéria orgânica de uma amostra, e consiste em aquecer a amostra a uma temperatura elevada (400 °C), a fim de calcinar as matérias orgânicas e conhecer a sua massa e, consequentemente, a percentagem em massa seca.

4.8 Teste Proctor ou ensaio de compactação

Este teste é realizado sobre a fracção de terra constituída por partículas com menos de 5 mm de diâmetro. O seu objectivo é determinar o teor em água que permite, com a compactação, que as partículas se organizem internamente de forma a ocupar o menor espaço possível, aumentando a sua densidade. Este valor é conhecido como "teor em água óptimo". Para a execução do teste, é colocada num molde uma amostra de solo cujo teor em água é conhecido, sendo submetida a um processo de compactação. A amostra compactada é pesada e o seu teor em água verificado. A baridade seca máxima é calculada e registada no diagrama de Proctor, com o respectivo teor em água.

Apresentam-se de seguida alguns valores de referência [2]:

- baridade seca máxima entre 1650 e 1760 kg/m³ - resultado fraco;
- baridade seca máxima entre 1760 e 2100 kg/m³ - resultado satisfatório, a terra contém uma quantidade de argila suficiente;
- baridade seca máxima entre 2100 e 2200 kg/m³ - resultado excelente.

4.9 Ensaio de coesão

A coesão de um terreno depende do teor em água e é tanto maior quanto maior for a percentagem de finos. A coesão é elevada para um teor em água menor que o limite de plasticidade. No limite de plasticidade, a quantidade de água é tal que já existe água livre. Com o aumento do teor em água, a coesão aparente diminui, até que se anula.

Este ensaio é também denominado de ensaio à tracção húmido, e é feito sobre as partículas de diâmetro inferior a 2 mm. Foi integrado nas normas DIN em 1956. A amostra de terra a utilizar, mesmo após a remoção das partículas de diâmetro superior a 2 mm, é triturada com adição de água até se obter uma forma compacta e plástica. A terra deve repousar entre 12 e 24 h antes da sua preparação, para garantir a dispersão da água e favorecer a obtenção de uma coesão

máxima dos grãos de terra. Para verificação da correcta preparação da amostra, é retirada uma parte (200 g), formando-se uma bola de 50 mm de diâmetro, a qual se deixa cair de uma altura de 2 m sobre uma superfície lisa e dura. Uma consistência correcta da amostra é indicada por uma superfície achatada de 50 mm. Para diâmetros diferentes, é necessário recomeçar a preparação da terra para o ensaio.

Para a execução do ensaio, devem ser preparadas três amostras, que são suspensas de um aparelho de medição, que tem também suspenso o recipiente que vai receber a carga de rotura.

A medida de coesão é a média de três testes efectuados e exprime-se em mbar (g/cm^2).

4.10 Resistência à compressão seca

Este teste (Fig. 7) tem como objectivo avaliar a resistência de blocos de terra comprimidos, tendo partido do teste com provetes cilíndricos, adaptados agora a blocos paralelepipedicos. O princípio do ensaio é o de submeter até à rotura um provete constituído por duas metades de blocos sobrepostas e coladas por uma junta de argamassa de terra, eventualmente adicionada com cimento, no caso de blocos estabilizados. Os blocos são carregados por uma força crescente, de forma constante, imposta por uma prensa. Considera-se a rotura no momento de rotura completa, calculando-se a resistência à compressão do bloco.

4.11 Resistência à compressão húmida

Este teste tem como objectivo verificar a resistência dos blocos em condições extremas, fazendo-se a humedificação dos mesmos por imersão ou por absorção por capilaridade. Embora o segundo método seja o mais realista, muitas vezes recorre-se ao primeiro, por facilidade e rapidez. O ensaio é semelhante ao efectuado para a verificação da resistência à compressão seca, com a diferença de que a amostra se encontra humedecida.

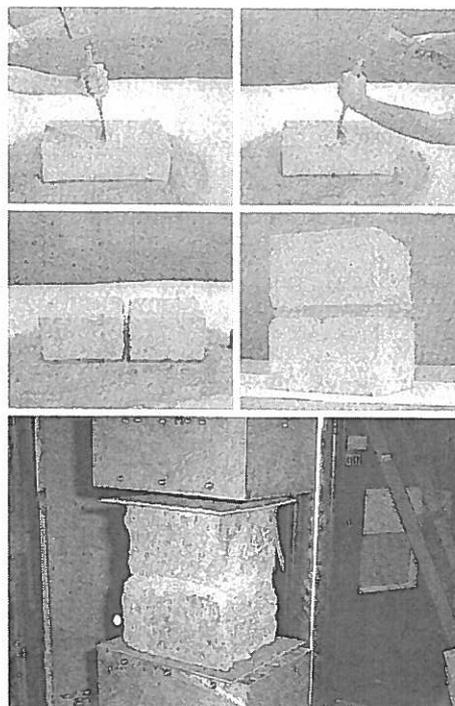


Fig. 7 - Teste de resistência à compressão [3]

4.12 Resistência à tracção

Este ensaio (Fig. 8) deriva do ensaio de tracção por compressão diametral (ensaio Brasileiro). Submete-se os blocos a uma compressão aplicada a duas barras situadas nas partes superior e inferior do bloco.

À semelhança do que se passa no ensaio Brasileiro, esta força é convertida numa tensão de tracção na rotura.

4.13 Resistência à abrasão

O objectivo é verificar a resistência à abrasão com vista à utilização dos blocos em paramentos exteriores, sem revestimento. Consiste em submeter um bloco a uma erosão mecânica aplicada por uma escova metálica, a uma pressão constante, num determinado número de passagens (Fig. 9). É calculada a quantidade de material retirado durante o processo.

4.14 Absorção por capilaridade

O bloco, após ser seco em estufa e posteriormente pesado, é posicionado numa lâmina de água de 5 mm. A absorção de água é medida após diferentes períodos de tempo, dividindo o aumento de peso pela área da face inferior do bloco.

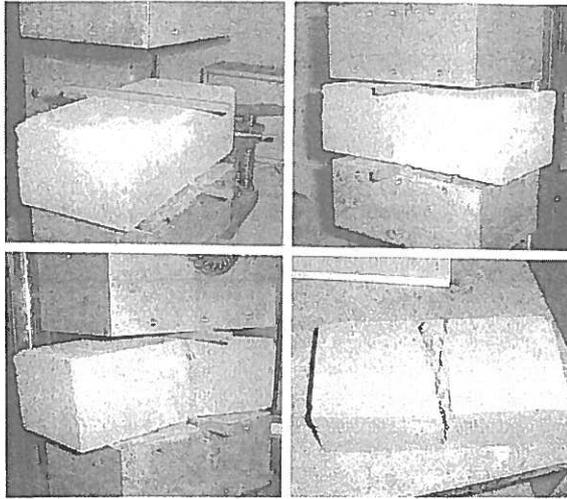


Fig. 8 - Teste de resistência à tracção (ensaio Brasileiro) ^[3]



Fig. 9 - Teste de resistência à abrasão ^[3]

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Se bem que no presente artigo apenas se tenha abordado a problemática dos procedimentos de ensaio para selecção da terra crua como material estrutural, esta passa pelo conhecimento das propriedades fundamentais do material (incluindo algumas, como a cor, não referidas no artigo) e pela sua classificação como solo.

Adicionalmente, a terra é um material susceptível de ver as suas características substancialmente melhoradas através das diversas formas de estabilização e de procedimentos construtivos adequados aquando da erecção das construções, temáticas estas não focadas no presente artigo.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Lourenço, P. - "Construções em Terra. Os Materiais Naturais como Contributo à Sustentabilidade na Construção", Dissertação de Mestrado em Construção, IST, 2002.
- [2] Brito, J. de - "Paredes de Taipa e Adobe", Folhas da disciplina de Tecnologia da Construção de Edifícios do Mestrado em Construção, IST, Lisboa, 1999.
- [3] GUIDE - "Blocs de Terre Comprimée - Procédures d'Essais", CDE (Centre pour le Développement de l'Entreprise, Bruxelles).