

Capítulo 5

Caracterização experimental e classificação da terra utilizada na construção

5.1 Objetivos

Os objetivos deste capítulo são:

- Apresentar uma súmula dos principais procedimentos experimentais de identificação e caracterização do material terra utilizado na construção;
- Identificar e descrever um conjunto de ensaios experimentais que possam ser utilizados na caracterização e na identificação do material terra utilizado nas construções de tabique;
- Proceder à realização de um conjunto de ensaios de caracterização e classificação da terra utilizada nessas construções;
- Refletir sobre a aplicabilidade generalizada desses ensaios no contexto de novas construções de tabique.

5.2 Introdução

De forma a ser possível propor um conjunto de ensaios que possibilitem a caracterização da terra aplicada nas construções de tabique efetuou-se uma revisão bibliográfica sobre esta

temática. Em virtude de se ter verificado que ainda existem muito poucas referências a documentos relativos ao tabique, procurou-se focar esta revisão essencialmente em documentos desenvolvidos no âmbito das técnicas construtivas do adobe, da taipa e do bloco de terra compactada (BTC). Deste modo, identificaram-se as principais propriedades, geralmente, analisadas no estudo da terra aplicada nestas técnicas construtivas, bem como os ensaios geralmente realizados.

A granulometria, a plasticidade e a composição química e mineralógica da terra são características deste material evidenciadas nos documentos consultados e consideradas relevantes para o estudo do seu desempenho em termos construtivos. Para o efeito, estas propriedades são apresentadas neste capítulo assim como os ensaios que as permitem determinar experimentalmente.

Com vista a ser possível caracterizar experimentalmente a terra utilizada nas construções antigas de tabique existentes em Lamego, recolheram-se várias amostras do material de enchimento de paredes exteriores e interiores deste tipo. Também se recolheram amostras de terra local e realizou-se uma caracterização análoga. Deste modo, foi possível caracterizar a terra aplicada nas construções, identificar a sua origem e propor um fuso granulométrico para a terra a utilizar nas construções de tabique.

A análise da objetividade e da precisão dos resultados obtidos durante o trabalho experimental realizado neste capítulo permitiram também averiguar a aplicabilidade dos ensaios geralmente propostos no âmbito da construção de terra, no contexto do tabique. Permitiram igualmente propor um conjunto de ensaios que possam ser realizados em trabalhos futuros de caracterização e de identificação da terra no âmbito da conservação, da reabilitação e da construção de edifícios de tabique.

5.3 Contexto

A revisão bibliográfica desenvolvida sobre a temática da caracterização do material terra utilizado na construção permitiu verificar que esta assenta principalmente na identificação da granulometria, na determinação da plasticidade e na identificação da composição química e mineralógica elementares [Pinto *et al.*, 2010-a, Minke, 2006, Doat *et al.*, 1979, Neves *et al.*, 2009 e Hossain *et al.*, 2007].

A granulometria das partículas da terra utilizada na construção é a propriedade mais frequentemente citada na literatura sobre esta temática e a argila é a fração da terra à qual é dada mais relevância [Delgado & Guerrero, 2007].

Em simultâneo, a revisão bibliográfica efetuada também permitiu observar que existem muitas referências relativamente aos ensaios tradicionalmente utilizados na caracterização da terra e nas características que esta deve apresentar para ser adequada no fabrico de blocos de terra compactada [CRATerre-EAG & Rigassi, 1995], na taipa [Hall *et al.*, 2004-b, Rezende & Rodrigues, 2006, Jayasinghe & Kamaladasa, 2007 e Bui *et al.*, 2009] e no adobe [Quagliarini & Lenci, 2010]. Em relação à construção de tabique verificou-se que ainda existe uma escassez de trabalhos científicos publicados [Aedo & Olmos, 2003 e Cyted, 2003]. Embora tenham recentemente surgido alguns trabalhos desenvolvidos neste domínio por Pinto *et al.* [2011 e 2009].

A avaliação das propriedades da terra aplicada nas construções de tabique é importante e necessária, porque permitirá classificar e identificar esse material e ainda definir um conjunto de propriedades específicas que podem ser úteis em trabalhos de manutenção, de conservação e de reabilitação, assim como em processos de construção nova. É importante referir que a terra surge na construção de tabique como material de enchimento e de revestimento de elementos construtivos tais como paredes e chaminés. A terra também pode ser aplicada numa mistura com cal apagada, constituindo neste caso uma argamassa terrosa bastarda [Carvalho *et al.*, 2008-a e Cardoso *et al.*, 2011].

5.3.1 Os ensaios

Com base numa revisão bibliográfica, identificou-se um conjunto de ensaios geralmente utilizados na avaliação das propriedades da terra utilizada na construção. Uma parte desses ensaios segue procedimentos padronizados e descritos em normas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) ou de laboratórios congéneres estrangeiros, no entanto existe um outro conjunto de ensaios que ainda não estão aparentemente normalizados. Também se verificou que existe um amplo consenso na literatura sobre a metodologia a seguir na realização desses ensaios. Os ensaios aparentemente não regulamentados destinam-se essencialmente a uma avaliação qualitativa das propriedades da terra. De acordo com Minke [2006] e com Neves *et al.* [2009] esses ensaios permitem extrair algumas conclusões sobre a aptidão da terra para ser utilizada como material de construção e são pouco dispendiosos, dado que são essencialmente manuais, de rápida execução e realizados no local de extração das amostras, permitindo deste modo classificar a terra *in situ*.

De seguida, identifica-se e descreve-se o conjunto desses ensaios, associando sempre que possível a propriedade da terra avaliada.

5.3.1.1 Granulometria

A terra é constituída por partículas minerais que podem ser agrupadas de acordo com as respetivas dimensões definindo-se desta maneira a sua composição granulométrica. A

composição granulométrica da terra é importante porque a ela está associado o seu comportamento plástico e a sua classificação [Faria, 2006 e Lança & Soares, 2007]. Alguns ensaios tradicionalmente utilizados na identificação da composição granulométrica da terra encontram-se identificados e descritos nas duas secções seguintes.

5.3.1.1.1 Ensaio de peneiração e de sedimentação

Os ensaios de peneiração e de sedimentação permitem determinar a composição granulométrica da terra. Estes ensaios foram já utilizados por Pinto *et al.* [2010-a, 2010-b] em trabalhos anteriores realizados no contexto da terra utilizada nas construções de tabique existentes na região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

O ensaio de peneiração é utilizado para caracterizar as frações de seixo e de areia da terra, cujas partículas têm diâmetro superior a 0.074 mm (Figura 5.1). Para realizar este ensaio recorre-se à utilização da série de peneiros da ASTM (American Society for Testing Materials). Este ensaio encontra-se também descrito e regulamentado na norma do LNEC E 239 [1970].

Para as partículas mais finas da terra, o silte e a argila, recorre-se ao ensaio de sedimentação (Figura 5.1). Este ensaio está descrito na norma E 196 [1966] e consiste no cálculo indireto da velocidade de sedimentação das partículas na água. Baseia-se na lei de *Stokes*, segundo a qual, a velocidade de queda de uma partícula de peso específico conhecido num fluido, de peso específico e de viscosidade também conhecidas, é proporcional ao quadrado do seu diâmetro, tal como se pode verificar através da expressão (5.1) [Martínez, 2008],

$$v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1800\mu} D_i^2. \quad (5.1)$$

Em que v é a velocidade de queda, γ_s é o peso específico real dos grãos (g/cm^3), γ_w é o peso específico do fluido (g/cm^3), μ é a viscosidade da água ($\text{g.s}/\text{cm}^2$) e D_i é o diâmetro equivalente (mm).

A velocidade de queda das partículas é calculada pela razão entre a profundidade de queda z e o tempo t necessário para que esta ocorra. O diâmetro equivalente D_i das partículas pode ser quantificado através da aplicação da expressão (5.2).

$$D_i = 0.005530 \left[\frac{\mu}{(\gamma_s - \gamma_w)} \cdot \frac{z}{t} \right]^{0.5}. \quad (5.2)$$

Conhecida a composição granulométrica da terra é habitual representá-la num diagrama análogo ao da Figura 5.1, que permite obter a curva granulométrica da terra. Esta curva relaciona a quantidade e o diâmetro das partículas da terra.

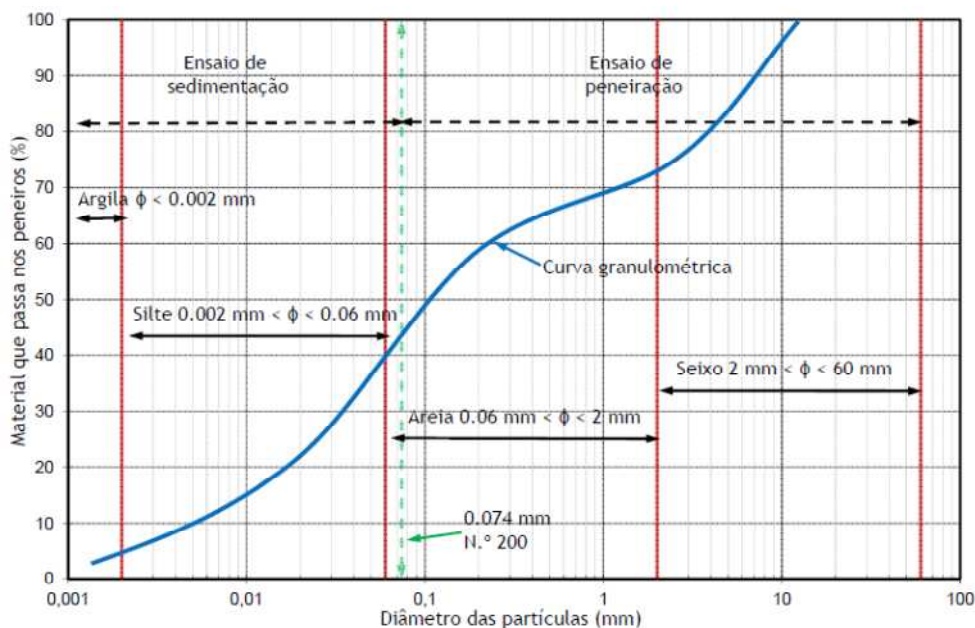


Figura 5.1 - Curva granulométrica

Em Portugal, e também neste trabalho, a nomenclatura utilizada para classificar os constituintes da terra do ponto de vista das suas dimensões é aquela que está definida na norma de ensaio LNEC E-219 [1968] e que se apresenta na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Nomenclatura dos constituintes da terra [E-219, 1968]

Nomenclatura	Calhau	Seixo	Areia	Silte/Limo	Argila
Dimensão (mm)	> 60	[60 a 2[[2 a 0,06[[0,06 a 0,002[<0,002

5.3.1.1.2 Ensaios de avaliação qualitativa da granulometria

Os ensaios de avaliação qualitativa da granulometria aparentemente não estão normalizados. Estes ensaios pretendem avaliar qualitativamente a granulometria da terra. Os ensaios mais referenciados na literatura são o ensaio de identificação tátil e visual [Neves *et al.*, 2009, Faria, 2006, Varum *et al.*, 2007 e Doat *et al.*, 1979], o ensaio de caracterização por tamanho das partículas [Neves *et al.*, 2009 e Doat *et al.*, 1979], o ensaio visual por peneiração expedita [Torgal *et al.*, 2009], o ensaio da mordidela [Minke, 2006 e Doat *et al.*, 1979] e o ensaio da lavagem das mãos [Minke, 2006, Doat *et al.*, 1979 e Cytel, 2003].

5.3.1.2 Plasticidade

A plasticidade é uma propriedade fundamental da terra, porque traduz a sua capacidade de experimentar deformações mantendo-se coesa ou seja de ser trabalhada. A avaliação desta propriedade também tem sido utilizada no contexto do tabique [Cardoso *et al.*, 2010]. A fração argilosa, a fração siltosa e o teor de água são os principais fatores responsáveis pelo comportamento plástico da terra [Minke, 2006 e Martínez, 2008]. De facto, a terra apenas

manifesta um comportamento plástico quando apresenta um teor de água capaz de induzir o estado de consistência plástico, tal como é apresentado no esquema da Figura 5.2. Nesta figura também se pode observar que a quantidade de água necessária para que a terra esteja no estado de consistência plástico deve estar compreendida entre dois limites do teor de água, designados por limite de plasticidade (LP) e por limite de liquidez (LL). A terra poderá ser muito plástica quando exista um intervalo expressivo entre estes dois limites do teor de água.

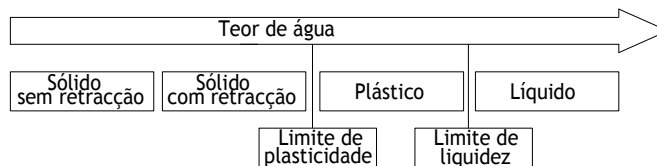


Figura 5.2 - Estados de consistência da terra [Neves *et al.*, 2009]

O grau de plasticidade da terra pode ser avaliado através da realização de diversos ensaios alternativos ou complementares entre si. Seguidamente, são identificados e brevemente descritos alguns desses ensaios que avaliam a plasticidade da terra de forma qualitativa e que ainda não estão normalizados, à exceção do ensaio de determinação dos limites de Atterberg [NP 143-1969].

5.3.1.2.1 Determinação dos Limites de Atterberg

Os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) descritos na secção anterior, também designados por limites de Atterberg [Sanglerat *et al.*, 1983], permitem quantificar a plasticidade da terra. Estes limites podem ser determinados através da realização do ensaio de Casagrande, que está descrito na norma portuguesa NP 143 [1969] e que consiste na determinação do teor de humidade da terra em dois estados de consistência, o estado líquido e o estado plástico. O LL é o teor de água acima do qual a terra deixa de ter coesão. Por sua vez, o LP é o teor de água abaixo do qual a terra se apresenta no estado sólido com retração (Figura 5.2). Estes dois limites dependem essencialmente da quantidade e do tipo de argila presente na terra. O índice de plasticidade (IP) pode ser quantificado através da subtração do LP ao LL, de acordo com a expressão (5.3) [Fonseca, 2007-c e Neves *et al.*, 2009]. O IP é um parâmetro importante porque permite avaliar a extensão do comportamento plástico e porque é o teor de água que é necessário adicionar à terra para que esta transite do estado sólido com retração para o estado líquido. Portanto, quanto maior for o valor deste parâmetro maior será a extensão do comportamento plástico da terra [Lança & Soares, 2007].

$$IP = LL - LP. \quad (5.3)$$

5.3.1.2.2 Ensaio de avaliação qualitativa da plasticidade

A literatura da especialidade sugere frequentemente a aplicação de diversos tipos de ensaios que permitam avaliar de forma qualitativa a plasticidade da terra. Alguns desses ensaios são o ensaio do brilho, o ensaio da queda da bola, o ensaio da aderência, o ensaio da exsudação, o ensaio da resistência seca, o ensaio do cordão e o ensaio da fita. Na Tabela 5.2 são indicados estes ensaios e as respectivas referências bibliográficas onde é possível encontrar uma descrição detalhada das metodologias experimentais a utilizar na sua realização.

Tabela 5.2 - Ensaio de avaliação da plasticidade da terra

Ensaio do brilho	[Neves <i>et al.</i> , 2009, Torgal <i>et al.</i> , 2009, Minke, 2006 e Doat <i>et al.</i> , 1979]
Ensaio da queda da bola	[Neves <i>et al.</i> , 2009, Torgal <i>et al.</i> , 2009 e Minke, 2006]
Ensaio da aderência	[Torgal & Jalali, 2009]
Ensaio da exsudação	[Torgal <i>et al.</i> , 2009, [Neves <i>et al.</i> , 2009 e Doat <i>et al.</i> , 1979]
Ensaio da resistência seca	[Neves <i>et al.</i> , 2009, Rezende & Rodrigues, 2006, Torgal <i>et al.</i> , 2009, Doat <i>et al.</i> , 1979 e Aedo & Olmos, 2003]
Ensaio do cordão	[Neves <i>et al.</i> , 2009, Varum <i>et al.</i> , 2007, Minke, 2006 e Doat <i>et al.</i> , 1979]
Ensaio da fita	[Neves <i>et al.</i> , 2009, Minke, 2006, Rezende e Rodrigues, 2006 e Doat <i>et al.</i> , 1979]

5.3.1.3 Composição química e mineralógica elementares

O conhecimento da composição química elementar da terra permite determinar os elementos químicos presentes e as suas quantidades relativas. Por outro lado, a determinação da composição mineralógica elementar da terra permite identificar os seus compostos mineralógicos. Os ensaios para determinar estas composições permitem também verificar a presença de matéria orgânica ou de um ligante hidráulico, como por exemplo a cal aérea. Esta informação tem-se mostrado relevante porque tem sido utilizada em diversos trabalhos de investigação, como por exemplo, na caracterização da camada de enchimento de paredes de tabique [Pinto *et al.*, 2010-a, Murta *et al.*, 2010 e Gonçalves *et al.*, 2010-a], no estudo de blocos de terra compactada [Guettala *et al.*, 2002] e no estudo do adobe e da taipa [Galán-Marín *et al.*, 2010]. O facto da plasticidade da terra também depender da composição mineralógica da argila [Skempton, 1953 e Lança & Soares, 2007], justifica que esta composição seja identificada.

São identificados de seguida alguns ensaios que permitem determinar a composição química e mineralógica elementares da terra e que são correntemente utilizados no contexto da construção de terra.

5.3.1.3.1 Ensaio de microscopia eletrónica de varrimento e de difração de raios X

O ensaio de microscopia eletrónica de varrimento SEM/EDS (Scanning Electron Microscope e Energy Dispersive Spectroscopy) encontra-se descrito por exemplo em Reed [2005]. Este tipo de ensaio permite obter imagens da microestrutura da terra e identificar os constituintes químicos elementares, assim como as suas proporções. A identificação da composição mineralógica elementar da terra pode ser processada através da realização do ensaio de difração de raios X, cuja descrição pode ser obtida em Cullity & Stock [2001].

5.3.1.3.2 Ensaios de avaliação qualitativa da composição química e mineralógica

A identificação da composição química e mineralógica elementares permite verificar a existência de matéria orgânica ou de cal, tal como foi referido anteriormente. A presença destes dois constituintes é correntemente identificada através da realização de ensaios de avaliação qualitativa.

A existência de matéria orgânica na terra pode ser processada através da realização do ensaio do cheiro [Torgal *et al.*, 2009, Minke, 2006, Doat *et al.*, 1979 e Aedo & Olmos, 2003], ou através da realização do ensaio da observação da cor [Neves *et al.*, 2009, Torgal *et al.*, 2009 e Varum *et al.*, 2007]. Por sua vez, a aferição da existência de cal também pode ser processada através da realização do ensaio do ácido [Minke, 2006 e Doat *et al.*, 1979].

5.3.2 Classificação da terra

É importante classificar a terra em estudo de forma a ser possível identificá-la e compará-la com outros tipos de terra. A literatura específica da construção de terra sugere diversos procedimentos experimentais para este efeito, que são essencialmente baseados na identificação da granulometria e da plasticidade da terra. Estes ensaios são identificados seguidamente.

5.3.2.1 Sistema unificado de classificação da terra

O sistema unificado de classificação da terra, doravante designado por USCS (Unified Soil Classification System) da ASTM, [ASTM D 2487-85, 1985 e Martínez, 2008], foi desenvolvido por Arthur Casagrande. Este sistema de classificação requer o conhecimento dos resultados da análise granulométrica e dos limites de Atterberg.

5.3.2.2 Classificação alternativa da terra

O grupo CRATerre referido na Secção 2.6, classifica a terra utilizada nas construções em arenosa, siltosa ou argilosa, em função do índice de plasticidade e do limite de liquidez, e de acordo com os intervalos apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Classificação da terra segundo o CRATerre [Neves *et al.*, 2009]

Tipo de terra	Índice de plasticidade (%)	Limite de liquidez (%)
Arenosa	0-10	0-30
Siltosa	5-25	20-50
Argilosa	>20	>40

Paralelamente, de acordo com Minke [2006], a relação entre os valores obtidos no ensaio de plasticidade permitem classificar a terra das construções de adobe, taipa e bloco de terra compactada em arenosa, siltosa ou argilosa, de acordo com os limites definidos na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Limites de Atterberg da terra [Minke, 2006]

Terra	LL(%)	LP(%)	IP(%)
Areia	10-23	5-23	<5
Silte	15-35	10-25	5-15
Argila	28-150	20-50	15-95

5.3.3 Aptidão da terra a ser utilizada na construção

Diversos trabalhos de investigação realizados no âmbito da construção de terra recomendam que a terra deve apresentar características específicas adequadas e diferenciadas em função da técnica construtiva que use terra (e.g. adobe, taipa ou BTC). Esta informação é relevante para trabalhos de manutenção, conservação, reabilitação ou, até, para trabalhos de construção nova. Apresentam-se seguidamente algumas recomendações difundidas por alguns autores sobre os valores mais adequados dessas características.

Na Tabela 5.5 apresentam-se as recomendações relativas a tipos específicos de composição granulométrica da terra a ser usada como material de construção em função da técnica construtiva a adotar. A Tabela 5.5 resultou da adaptação de uma tabela apresentada por Delgado & Guerrero [2007], à qual se adicionaram as contribuições de Doat *et al.* [1979], Quagliariini *et al.* [2010] e de Cyted [2003].

Tabela 5.5 - Recomendações para a proporção das diferentes frações, [Delgado & Guerrero, 2007, Doat *et al.*, 1979, Quagliarini *et al.*, 2010 e Cytel, 2003]

Técnica	Documento de referência	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Agregado (%)
Tabique	[Cytel, 2003]	7-19	46-73	42-8	5-0
Adobe	[NTE E 0.80, 2000]	10-20	15-25	55-70	
	[Standards Australia and Walker P., 2002]	10-40	10-30	Areia + agregado fino 30-75	
	[Houben & Guillaud, 1995]	5-29			
	[Doat <i>et al.</i> , 1979]	15-18	10-28	55-75	
	[Quagliarini <i>et al.</i> , 2010]	22,4	49,9	24,5	3,2
BTC	[XP P13-901, 2001]	10-30			
	[CRATerre-EAG, 1998]	8-30			
	[Standards Australia and Walker P., 2002]	10-40	10-30	Areia + agregado fino 30-75	
	[MOPT, 1992]	5-34			
	[Houben & Guillaud, 1995]	6-22			
	[CRATerre-EAG: Rigassi V. 1995]	8-30	10-25	25-80	0-40
	[CRATerre-EAG: Rigassi V. 1995]	6-23			
Taipa	[SAZS 724, 2001]	5-15	15-30	Areia + agregado fino 50-70	
	[MOPT, 1992]	5-26			
	[IETcc. 1971]	10-40	20-40	10-40	10-20 Agregado fino
	[Doat <i>et al.</i> , 1979]	15-25	20-35	40-50	0-15
Above, BTC, taipa	[Houben & Guillaud, 1995]	8-16			
	[McHenry PG, 1984]	15	32	30	23
	[Smith & Austin 1996]	4-15	40	60-80	

Na literatura da especialidade é frequente encontrar fusos granulométricos que balizam os limites superiores e inferiores da composição granulométrica da terra que se pretende utilizar numa técnica construtiva específica. No gráfico da Figura 5.3, é recomendado um fuso granulométrico para a construção em taipa por MOPT [1992], é proposto um fuso granulométrico para a construção de adobe por Houben & Guillaud [1995], é proposto um fuso granulométrico para o BTC por CRATerre & CDI [1998] e, finalmente, é recomendado um fuso granulométrico para a construção de tabique por Cytel [2003].

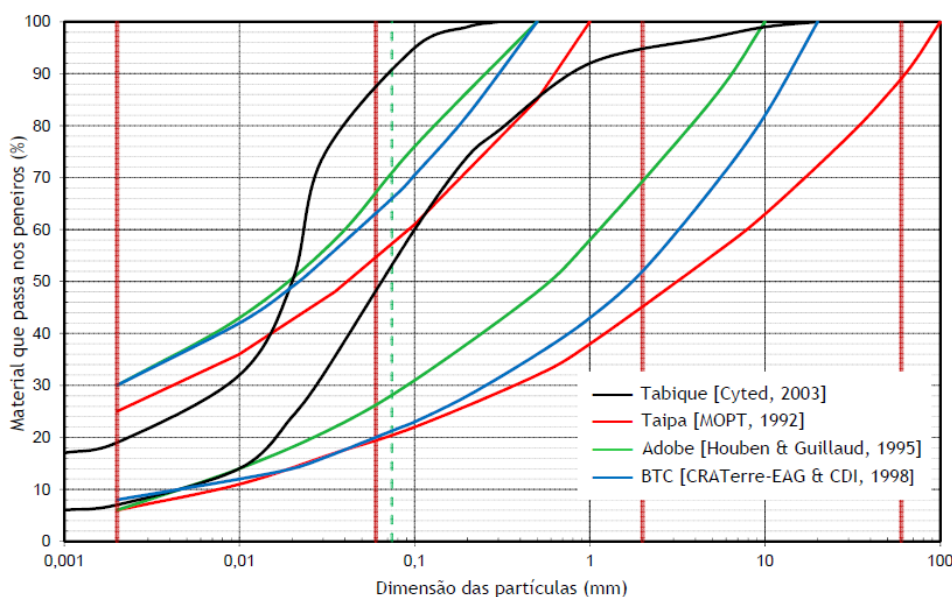


Figura 5.3 - Fusos granulométricos recomendados para diferentes técnicas construtivas, [Cyted, 2003 e Delgado & Guerrero, 2007]

O fuso granulométrico proposto por Cyted [2003] associado à construção de tabique (Figura 5.3), permite observar que a terra considerada mais adequada para a construção de tabique é o silte-arenoso com alguma argila, constituído por uma granulometria aberta nos diâmetros das partículas compreendidos entre os 0,01 mm e os 0,06 mm, e contínua nos restantes diâmetros. O diâmetro médio máximo das partículas considerado é de 1 mm.

No mesmo sentido, o trabalho de Cyted [2003] e os trabalhos de Houben & Guillaud [1995] e de CRATerre-EAG & CDI [1998] referidos por Delgado & Guerrero [2007], fazem uma recomendação em relação aos valores adequados do LL e do IP da terra a considerar nas diferentes técnicas construtivas (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Valores adequados do limite de liquidez (LL) e do índice de plasticidade (IP)

Técnica	Documento de referência	LL (%)	IP (%)
Tabique	[Cyted, 2003]	10-40	4-11
Adobe	[Houben & Guillaud, 1995]	31-50	16-33
Taipa	[Houben & Guillaud, 1995]	25-46	2-30
BTC	[Houben & Guillaud, 1995]	25-51	2-31
	[CRATerre-EAG & CDI, 1998]	25-50	2,5-29

Ainda e de acordo com o trabalho de Cyted [2003], a terra a utilizar na construção de tabique deve apresentar uma classificação USCS conforme o prescrito na Tabela 5.7, em que ML representa o silte, CL corresponde a argila magra, SC é areia argilosa, CH é argila gorda e SM é areia siltosa.

Tabela 5.7 - Classificação USCS para construção de tabique

	Terras finas		Terras grossas
Terras recomendadas	ML	CL	SC
Terras não recomendadas	CH		SM

Paralelamente, de acordo com Neves *et al.* [2009] os resultados obtidos através da realização dos ensaios da exsudação, da resistência seca, do cordão e da fita podem auxiliar na classificação da terra e na identificação da técnica construtiva mais adequada (Tabela 5.8).

Tabela 5.8 - Classificação do tipo de terra e adequação da técnica, adaptado de [CEPED, 1984]

Ensaio de exsudação	Ensaio da resistência seca	Ensaio do cordão	Ensaio da fita	Tipo de terra	Técnica construtiva
Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Arenosa, Areno-siltosa, Areno-argilosa, Silto-argilosa	BTC, adobe e taipa
Reação lenta a muito lenta	Fraca a média	Cordão frágil a mole	Fita curta	Siltosa	Utilização mais limitada do que as terras anteriores, mas possível com o uso de aglomerante
Reação muito lenta ou sem reação	Média a grande	Cordão mole	Fitas curta a longa	Argilosa com pedregulho, argilo-arenosa e argilo-siltosa	Terra compactada ou BTC, com aglomerante
Sem reação	Grande	Cordão duro	Fita longa	Argilosa	Adobe com adição de fibras e no enchimento de paredes de tabique

5.4 Caracterização e identificação da terra utilizada nas construções de tabique

Nesta secção pretende-se caracterizar e identificar a terra utilizada em construções de tabique localizadas no concelho de Lamego e tentar determinar a sua proveniência. Para o efeito, realizou-se um vasto trabalho experimental que consistiu em realizar o grupo de ensaios identificados na secção anterior em amostras de material de enchimento de construções de tabique e em amostras de terra local, recolhidas especificamente para o efeito.

Os ensaios de análise granulométrica, da plasticidade e alguns ensaios de caracterização qualitativa da composição química e mineralógica das amostras foram realizados no laboratório de geotecnia e materiais de construção da Escola Superior de Tecnologia e Gestão

de Oliveira do Hospital. Os ensaios de caracterização química e mineralógica foram realizados na unidade de microscopia de varrimento da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

5.4.1 Apresentação das amostras

Procedeu-se à recolha de amostras de material de enchimento de paredes de sete edifícios de tabique localizados no concelho de Lamego. Estes edifícios de tabique foram designados por C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7 e apresentam-se na Figura 5.4. O edifício C1 está localizado na freguesia de Cambres e os restantes seis estão localizadas no lugar de São Geão da freguesia de Penajóia.



a) C1



b) C2



c) C3



d) C4



e) C5



f) C6



g) C7

Figura 5.4 - Construções de tabique estudadas

Estas freguesias estão inseridas em ambiente rural e têm a particularidade de possuir um elevado número de construções de tabique. Os edifícios estudados são do tipo habitação unifamiliar, geralmente de dois pisos. Ao nível do primeiro piso (rés-do-chão), as paredes exteriores são de alvenaria de pedra e ao nível do segundo piso tanto as paredes exteriores como as paredes interiores são de tabique como se pode observar na Figura 5.4. Refira-se que imediatamente a seguir à recolha das amostras de material de enchimento e, em virtude do

avanzado estado de degradação apresentado por estas construções, algumas delas colapsaram naturalmente ou foram demolidas por motivos de segurança.

Na Figura 5.5 apresenta-se um mapa com a localização relativa dos seis edifícios de tabique, localizados no lugar de São Gião.



Figura 5.5 - Localização das construções de tabique estudadas no lugar de São Gião
[<http://maps.google.com>, acessado em 04/04/2011]

Para além das amostras de material de enchimento recolhidas nas construções de tabique também foram recolhidas amostras de terra local em cinco locais distintos localizados nas proximidades das construções estudadas. Os locais de recolha de amostras de terra local foram designados por SL1, SL2, SL3, SL4 e SL5. Na Figura 5.6 mostra-se a localização das construções de tabique onde se recolheram amostras de material de enchimento, assim como os pontos de extração das amostras de terra local. Esta figura também evidencia que as amostras de terra local foram extraídas em locais que se localizam compreendidos entre as duas freguesias abrangidas neste estudo.



Figura 5.6 - Localização geográfica dos pontos de recolha das amostras de terra local e de material de enchimento das construções de tabique [<http://maps.google.com>, acessado em 08/09/2010]

Por sua vez, na Figura 5.7 mostram-se através de fotografias os locais de extração das cinco amostras de terra local.



Figura 5.7 - Locais de extração das amostras de terra local

Aquando da recolha das amostras de enchimento e de terra local, procedeu-se ao registo das coordenadas GPS (Global Positioning System) dos locais de recolha das amostras e também ao registo da distância, em plano horizontal, entre a construção de tabique C1 e os cinco locais de recolha de amostras de terra local, tal como se indica na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Coordenadas GPS das construções e dos pontos de extração da terra local

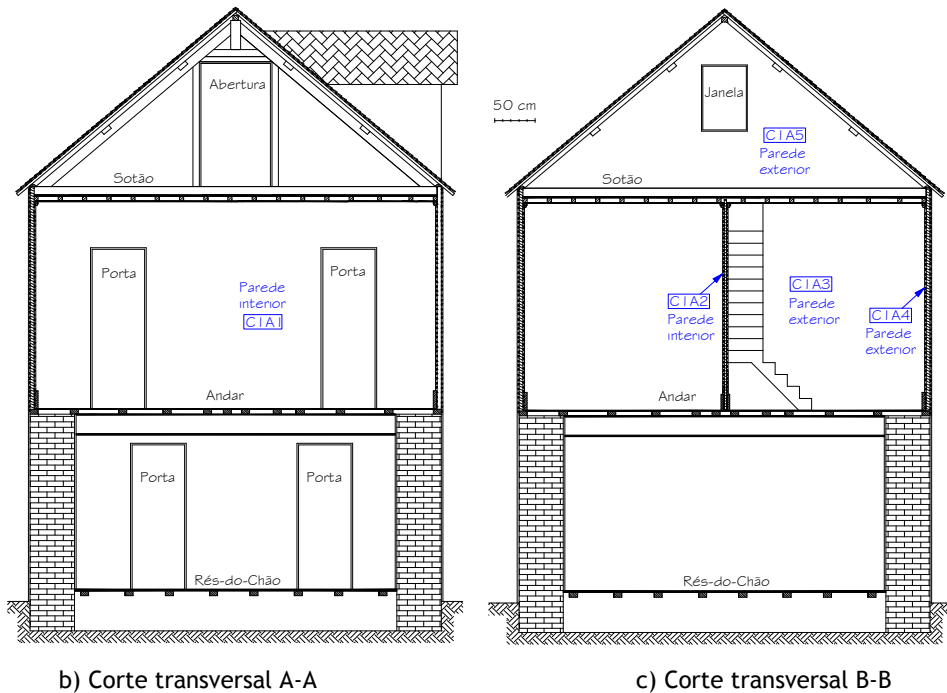
Construção/Amostra	Coordenadas		Distância à construção C1
	Latitude	Longitude	
C1	N 41° 09,230'	W 7° 47,117'	--
C2	N 41° 08,772'	W 7° 50,450'	--
C3	N 41° 08,754'	W 7° 50,243'	--
C4	N 41° 08,760'	W 7° 50,261'	--
C5	N 41° 08,749'	W 7° 50,244'	--
C6	N 41° 08,752'	W 7° 50,236'	--
C7	N 41° 08,749'	W 7° 50,254'	--
SL1	N 41° 09,231'	W 7° 47,119'	5 m
SL2	N 41° 09,367'	W 7° 47,403'	0,3 Km
SL3	N 41° 08,910'	W 7° 48,089'	2,7 Km
SL4	N 41° 08,437'	W 7° 48,799'	4,4 Km
SL5	N 41° 08,733'	W 7° 50,179'	5,2 Km

Através dos dados da Tabela 5.9, é possível verificar que o local de extração da amostra de terra local mais afastado da construção de tabique C1 é o local de extração SL5 que dista 5,2 km daquela construção. Na Figura 5.6 mostra-se que essa distância é aproximadamente igual à que separa a construção C1 da construção C4.

De forma a ter em conta o aspeto da representatividade do número de amostras, na construção C1, localizada na freguesia de Cambres (Figura 5.8-a)), optou-se por recolher cinco amostras de material de enchimento. Duas delas foram recolhidas de duas paredes interiores de tabique e as restantes amostras foram recolhidas de três paredes exteriores de tabique distintas. A nomenclatura atribuída a cada uma destas amostras foi C1A1, C1A2, C1A3, C1A4 e C1A5. A localização dos pontos de recolha destas amostras está identificada nas Figuras 5.8-b) e 5.8-c).



a) Construção C1



b) Corte transversal A-A

c) Corte transversal B-B

Figura 5.8 - Localização dos pontos de extração das amostras de material de enchimento recolhidas na construção C1

Verificou-se *in situ* que a amostra de enchimento do tipo C1Ai (com $i=1$ a 5) apresentava uma consistência mais forte do que as restantes amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7. Esta diferenciação de consistência foi identificada em trabalhos de investigação de Pinto *et al.* [2010-a] e de Gonçalves *et al.* [2010-a] que sugeriram que o material de enchimento das paredes de tabique poderia ser uma argamassa bastarda à base de terra e não apenas terra simples. Nesses trabalhos, as composições químicas e mineralógicas elementares deste tipo de material foram identificadas com recurso a ensaios de microscopia eletrónica de

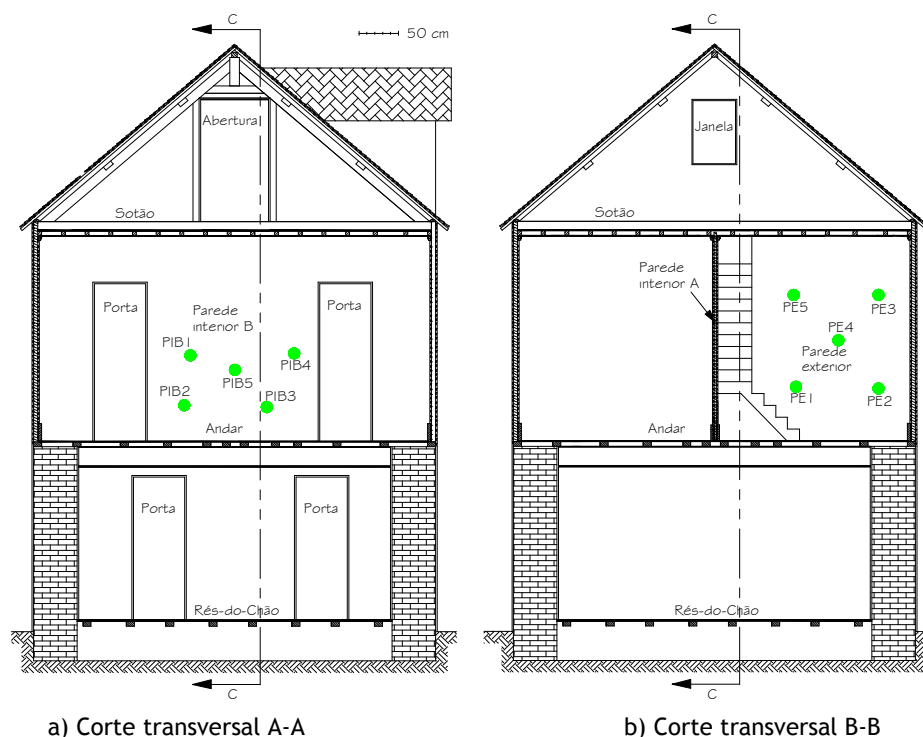
varrimento e de difração de raios X tendo estes indicado a presença de um ligante do tipo cal. As amostras recolhidas (C1 a C7) apresentavam aproximadamente uma massa de 1 Kg.

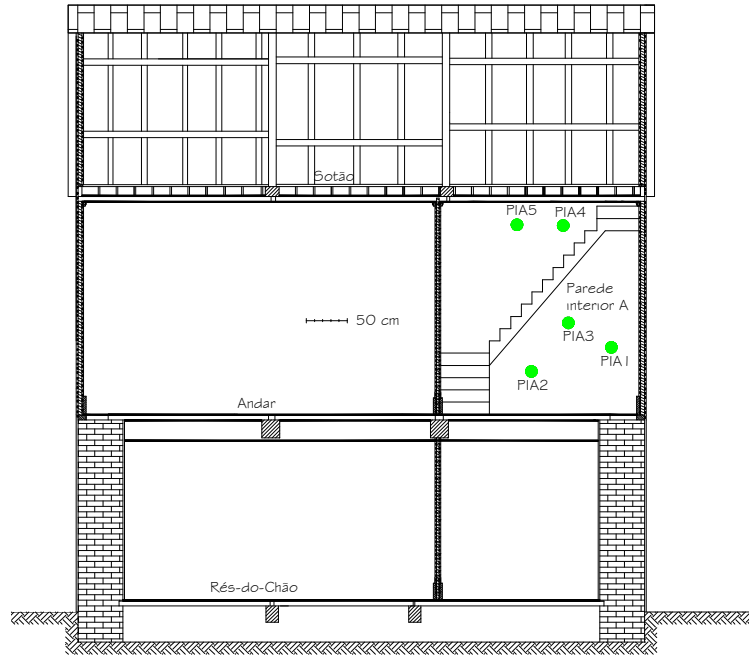
Para além das cinco amostras de material de enchimento recolhidas no edifício C1 (Figura 5.8-a)), também foram recolhidas nesta construção mais quinze amostras de material de enchimento, cada uma com uma massa aproximada de 5 g. Estas quinze amostras adicionais foram agrupadas em três lotes de cinco amostras cada, em virtude de terem sido extraídas de três elementos construtivos distintos de tabique. Dois lotes são referentes a duas paredes interiores de tabique (designadas por PIA e PIB na Tabela 5.10) e o outro lote é relativo a uma parede exterior de tabique (designada por PE na Tabela 5.10). Nesta tabela indica-se a nomenclatura atribuída a cada uma destas quinze amostras de material de enchimento.

Tabela 5.10 - Nomenclatura utilizada na designação das amostras

Elemento construtivo de tabique	Nomenclatura do elemento construtivo	Nomenclatura da amostra
Parede interior A	PIA	PIA1, PIA2, PIA3, PIA4, PIA5
Parede interior B	PIB	PIB1, PIB2, PIB3, PIB4, PIB5
Parede exterior	PE	PE1, PE2, PE3, PE4, PE5

Cada uma das cinco amostras de cada lote localizavam-se em pontos distintos e distribuídos em cada elemento construtivo, como se mostra na Figura 5.9.





c) Corte transversal C-C

Figura 5.9 - Localização dos pontos de recolha das amostras nos elementos PIA, PIB e PE

Por fim na Figura 5.10 apresentam-se a totalidade das amostras recolhidas.



a) C1A1, C1A2, C1A3, C1A4, C1A5



b) C2, C3, C4, C5, C6 e C7



c) PIA1, PIA2, PIA3, PIA4, PIA5, PIB1, PIB2, PIB3, PIB4, PIB5, PE1, PE2, PE3, PE4, PE5

Figura 5.10 - Amostras recolhidas

Por limitação de tempo, apenas se recolheu uma amostra de material de enchimento de cada um dos seis edifícios restantes (C2, C3, C4, C5, C6 e C7) e uma amostra de terra local por ponto de extração. O facto de não ter sido possível recolher mais amostras não permite a generalização dos resultados obtidos para cada um dos edifícios de tabique, no entanto o trabalho realizado contribui para um melhor conhecimento da terra utilizada nesta técnica construtiva. Atribuiu-se a cada uma das amostras de material de enchimento a mesma designação da construção de tabique de onde foi recolhida, ou seja C2, C3, C4, C5, C6 e C7.

5.4.2 Preparação das amostras e realização dos ensaios

As amostras de material de enchimento e de terra local foram devidamente e previamente preparadas de forma a ser possível determinar as suas granulometrias, plasticidade e composição química e mineralógica. Nas quatro secções seguintes descreve-se a preparação dessas amostras e os ensaios realizados na identificação de cada propriedade analisada. Simultaneamente, também se apresentam algumas fotografias de modo a complementar a informação.

5.4.2.1 Análise granulométrica

Para caracterizar granulometricamente o material recorreu-se à realização dos ensaios de peneiração, de sedimentação, de identificação táctil-visual, de caracterização por tamanho das partículas, de identificação visual por peneiração expedita, da mordidela e da lavagem das mãos.

O ensaio de peneiração foi efetuado por via húmida e de acordo com a norma E 239 [1970]. A preparação das amostras consistiu essencialmente em desagregar as amostras que apresentavam uma consistência mais rígida com um martelo de borracha (Figura 5.11-a)), fazê-las passar por um conjunto de peneiros da série ASTM (Figura 5.11-b) e pesar as frações de terra retida em cada um desses peneiros (Figura 5.11-c).



a) Desagregação das amostras



b) Peneiração por vibração



c) Retidos num peneiro

Figura 5.11 - Ensaio de peneiração

Por sua vez, o ensaio de sedimentação foi realizado de acordo com a norma E 196 [1966]. Para realizar este ensaio, as amostras de terra foram inicialmente desagregadas num almofariz com um pilão, e foram colocadas num frasco de Erlenmeyer ao qual se adicionou um antifloculante (Figura 5.12-a). Esta mistura foi então aquecida, e em seguida, transferida para um agitador elétrico depois de se ter adicionada água destilada (Figura 5.12-b). Terminada a agitação da amostra, esta foi sujeita à peneiração no peneiro de 0.074 mm de abertura de malha e, o material passado, foi colocado numa proveta graduada à qual se adicionou água destilada até perfazer 1000 cm³ (Figura 5.12-c). Por fim, nesta proveta efetuaram-se leituras com o auxílio de um densímetro graduado e de um termómetro graduado.



a) Amostra com antifloculante e água destilada



b) Agitador eléctrico



c) Proveta e leitura da densidade

Figura 5.12 - Ensaio de sedimentação

Tanto o ensaio de peneiração como o ensaio de sedimentação foram realizados nas amostras de material de enchimento C1A1, C1A2, C1A3, C1A4, C1A5, C2, C3, C4, C5, C6 e C7 e nas amostras de terra local SL1, SL2, SL3, SL4 e SL5.

Em seguida, foi complementada a caracterização granulométrica com a realização dos ensaios de identificação táctil e visual, de caracterização por tamanho das partículas, de identificação visual por peneiração expedita, da mordidela e da lavagem das mãos. Estes cinco ensaios foram somente executados nas amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7 devido a questões logísticas.

Estes ensaios são manuais, expeditos e recorrem a utensílios bastantes simples tais como uma colher, uma escova, um recipiente de plástico, três peneiros da série ASTM e uma espátula (Figura 5.13).



Figura 5.13 - Equipamento utilizado nos ensaios de avaliação qualitativa da granulometria

Para realizar estes cinco ensaios foi necessário que as partículas de terra das amostras estivessem perfeitamente desagregadas.

No ensaio de identificação táctil e visual, o simples manusear e a observação visual da amostra permitem tirar conclusões relativamente à granulometria das amostras.

No ensaio de caracterização por tamanhos das partículas procedeu-se à separação manual das partículas visíveis e invisíveis à vista desarmada obtendo-se duas porções de terra distintas (Figura 5.14-a)).

No ensaio visual por peneiração expedita utilizaram-se três peneiros da série ASTM de forma a obterem-se três porções de terra do tipo seixo, areia e silte/argila, apresentadas na Figura 5.14-b).



a) Ensaio de caracterização por tamanho das partículas

b) Ensaio visual por peneiração expedita

Figura 5.14 - Ensaio de caracterização granulométrica das amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7

No ensaio da mordidela, uma quantidade muito reduzida de material terra foi colocada entre os dentes.

No ensaio da lavagem das mãos sujaram-se as mãos manuseando cada amostra e procedeu-se seguidamente à lavagem das mãos (Figura 5.15).



a) Mãos sujas com terra

b) Lavagem das mãos

Figura 5.15 - Ensaio da lavagem das mãos

5.4.2.2 Plasticidade

Com vista a avaliar a plasticidade das amostras de material de enchimento realizaram-se os ensaios de determinação dos limites de Atterberg, do brilho, da queda de bola, da aderência, da exsudação, da resistência seca, do cordão e, por fim, o ensaio da fita.

Os ensaios de determinação dos limites de Atterberg, foram realizados de acordo com o descrito na Secção 5.3.1.2.1. Estes ensaios foram realizados para todas as amostras. Para a determinação dos limites de Atterberg consideraram-se apenas as partículas de cada amostra que passaram no peneiro n.º 40, tendo sido previamente desagregadas num almofariz com pilão.

Para a determinação do limite de liquidez foi necessário considerar três subamostras de cada amostra principal. Cada uma destas subamostras foi colocada na concha de Casagrande com um teor de água desconhecido e determinou-se o número de pancadas na concha de Casagrande (Figura 5.16-a)) de cada subamostra (Figura 5.16-b)).



Figura 5.16 - Determinação do limite de liquidez

Em seguida, pesaram-se as subamostras (Figura 5.16-c)), antes e depois destas terem sido secas numa estufa (Figura 5.16-d)). Ajustou-se analiticamente uma reta aos resultados obtidos para cada uma das três subamostras (Figura 5.17), a partir da qual se pode determinar o teor de água correspondente a 25 pancadas na concha de Casagrande.

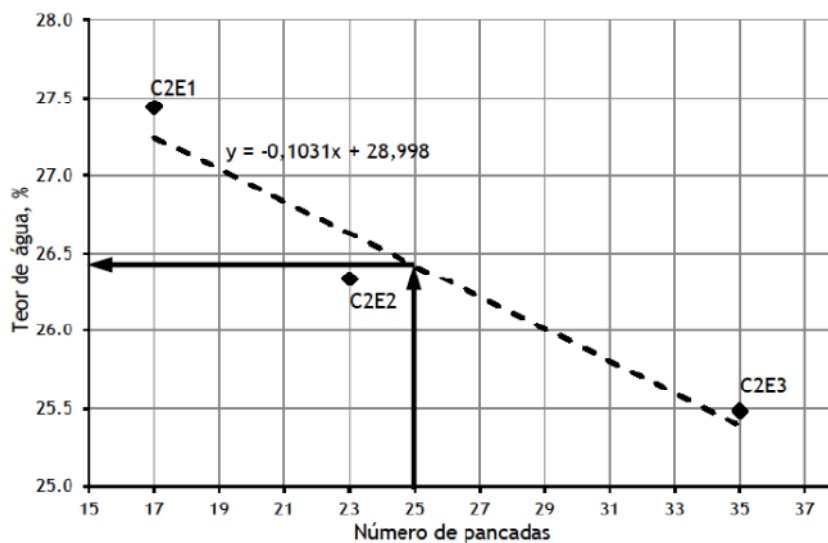


Figura 5.17 - Determinação do limite de liquidez da amostra C2

A determinação do limite de plasticidade foi realizada em todas as amostras ensaiadas uma vez que todas elas tinham uma percentagem superior a 30 %, em massa, de partículas de dimensões inferiores a 0,05 mm, tal como prescrito na norma NP 143 [1969]. Cada amostra foi dividida em três subamostras e, sobre uma placa de vidro (Figura 5.18-a)) tentou-se moldar um cilindro com o material de cada subamostra (Figuras 5.18-b) e 5.18-c)). Em seguida, pesaram-se as subamostras antes e depois de secas numa estufa. O limite de plasticidade de cada amostra correspondeu à média aritmética dos limites de plasticidade das subamostra.



Figura 5.18 - Fases da determinação do limite de plasticidade

Os restantes ensaios, de avaliação qualitativa da plasticidade, foram apenas realizados para as amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7, por razões de simplificação. Nestes ensaios, considerou-se apenas a fração de material com partículas de dimensões inferiores a 2 mm.

Paralelamente a preparação das amostras para o ensaio do brilho, da queda de bola, da aderência e da exsudação consistiu basicamente em amassar, com a adição de um pouco de água, uma pequena porção de terra fina até se formar uma bola compacta de aproximadamente 3 cm de diâmetro (Figura 5.19).



Figura 5.19 - Preparação de amostras para o ensaio do brilho, da queda de bola, da aderência e da exsudação

Em seguida, para o ensaio do brilho, partiram-se ao meio as bolas de terra e observou-se o brilho em cada uma das faces cortadas (Figura 5.20-a)).

No ensaio de queda de bola, deixaram-se cair em queda livre as bolas de terra num recipiente de plástico e analisou-se a forma como estas se espalharam após embater no recipiente (Figura 5.20-b)).

No ensaio de aderência, avaliou-se a força necessária para introduzir uma espátula no interior de cada bola de terra e para a retirar (Figura 5.20-c)).

No ensaio da exsudação humedeceram-se as bolas de terra e colocaram-se na palma da mão, sendo estas em seguida golpeadas com a outra mão até que surgisse água à superfície (Figura 5.20-d)).



a) Ensaio do brilho b) Ensaio da queda de bola
 c) Ensaio da aderência, amostra C4 d) Ensaio da exsudação, amostra C3

Figura 5.20 - Ensaio do brilho, da queda de bola, da aderência e da exsudação

A avaliação da plasticidade das amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7 foi concluída com os ensaios da resistência seca, do cordão e da fita.

No ensaio da resistência seca, as amostras de terra foram humedecidas e moldadas em pequenas formas circulares (Figura 5.21-a)). Depois, foram secas numa estufa e, por fim, partiram-se manualmente.



a) Amostras secas b) Ensaio do cordão, amostra C4 c) Ensaio da fita, amostra C4

Figura 5.21 - Ensaio da resistência seca, do cordão e da fita

No ensaio do cordão (Figura 5.21-b)), para cada amostra moldou-se uma bola de terra e avaliou-se a força necessária para a quebrar entre o polegar e o indicador.

No ensaio da fita, moldou-se cada amostra de terra numa placa de vidro de forma a obter-se uma fita de terra e mediu-se o comprimento desta (Figura 5.21-c)).

5.4.2.3 Composição química elementar

Com a finalidade de se identificar a composição química elementar das amostras e de se obterem imagens ampliadas da superfície dessas amostras, realizaram-se as análises SEM/EDS descritas na Secção 5.3.1.4.1. Estas análises incidiram sobre as amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7, sobre as amostras SL1 e SL2 e também sobre as amostras PIA1, PIA2, PIA3, PIA4, PIA5, PIB1, PIB2, PIB3, PIB4, PIB5, PE1, PE2, PE3, PE4 e PE5. A preparação das amostras consistiu essencialmente na desagregação das partículas num almofariz com um pilão, na extração de pequenas quantidades de material (aproximadamente 5 g) das amostras, na sua fixação com

cola de carbono sobre pinos de alumínio (Figura 5.22-a)) e na deposição de ouro/paládio para tornar as amostras condutoras (Figura 5.22-b)).

Na análise SEM utilizou-se o microscópio eletrónico de varrimento ilustrado na Figura 5.22-c). Para a visualização das imagens (Figura 5.22-d)) foi utilizado o modo Baixo Vácuo, tendo sido usada uma pressão parcial no interior da câmara de 1,33 mbar e uma tensão de aceleração de 25/20 kV, e tendo-se tirado fotografias com três resoluções distintas (500x, 1000x e 2500x). Foi também efetuada uma análise química dos elementos presentes nas amostras através de espetros obtidos por EDS, utilizando-se sempre o mesmo tempo de aquisição de espetros. Os espetros permitiram identificar os elementos químicos mais predominantes tais como oxigénio (O), sódio (Na), magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), cloro (Cl), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca), ferro (Fe), níquel (Ni) e cobre (Cu).



Figura 5.22 - Análise SEM/EDS

5.4.2.4 Composição mineralógica elementar

A composição mineralógica elementar das amostras foi avaliada através da realização do ensaio de difração de raios X, do ensaio do cheiro, do ensaio da cor e do ensaio do ácido.

O ensaio de difração de raios X incidiu sobre as mesmas amostras que foram ensaiadas com o SEM/EDS. A preparação de cada amostra consistiu em desagregar as partículas com um pilão e um almofariz. Em seguida, de cada amostra recolheu-se uma pequena quantidade (aproximadamente 5 g) que foi colocada num porta-amostras padrão (Figura 5.23-a)), que se introduziu no interior de um difractor de raios X, com detetor 'XCelerator' (Figuras 5.23-b) e 5.23-c)), de forma a obterem-se difratogramas de raios X, como o ilustrado na Figura 5.23-d). A energia usada na produção da radiação X foi de 40 kV e 30 mA e a aquisição foi efetuada na geometria Bragg-Bentano entre $5^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.

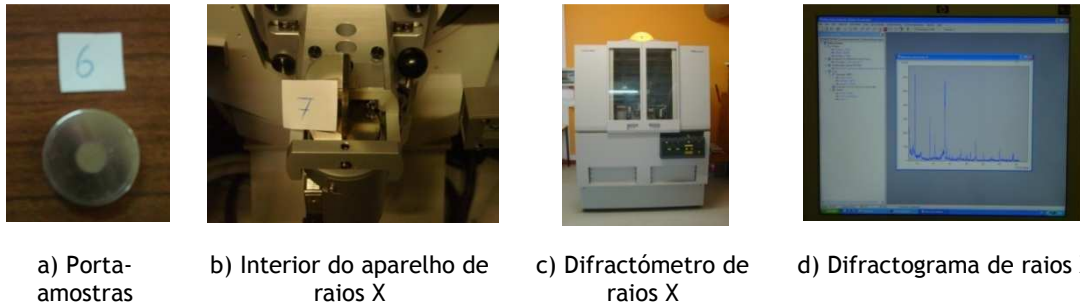


Figura 5.23 - Equipamento para análises por difração de raios X

No que diz respeito à avaliação qualitativa e expedita da composição mineralógica elementar das amostras, esta incidiu sobre as amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7.

Com vista a avaliar se as amostras continham cal, realizou-se o ensaio do ácido. Para o efeito, uma pequena quantidade de material da cada amostra foi colocada num recipiente de vidro, adicionando-se seguidamente algumas gotas de ácido clorídrico e observando-se a reação química resultante (Figura 5.24).

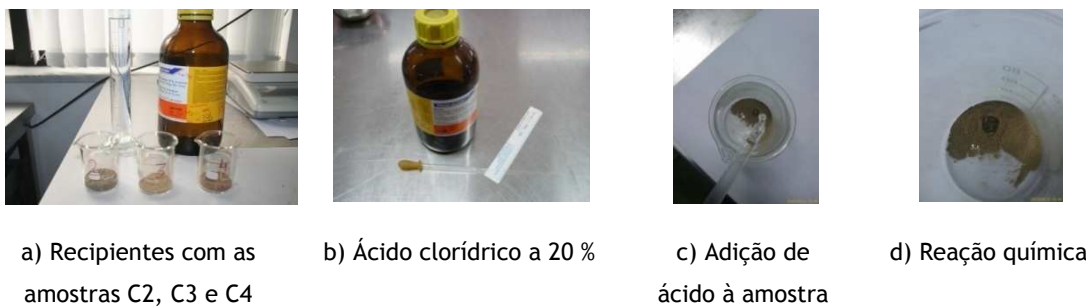


Figura 5.24 - Ensaio do ácido

Finalmente, foram realizados os ensaios da cor e do cheiro. Estes ensaios foram realizados com o objetivo principal de se averiguar se as amostras continham matéria orgânica.

5.4.3 Apresentação dos resultados

Nesta secção apresentam-se os resultados experimentais obtidos no conjunto de ensaios realizados sobre as amostras de material de enchimento e de terra local. Em primeiro lugar apresentam-se os resultados da análise granulométrica, depois apresentam-se os resultados da análise da plasticidade e, por fim, os resultados obtidos no estudo da identificação das composições químicas e mineralógicas elementares. No Anexo A5.1, encontram-se nas Tabelas A5.1, A5.2, A5.3, A5.4, A5.5 e A5.6, fichas técnicas que contém os resultados dos ensaios da avaliação qualitativa e expedita da granulometria, da plasticidade e das composições químicas e mineralógicas elementares.

5.4.3.1 Análise granulométrica

Os resultados obtidos através da análise granulométrica por peneiração e por sedimentação permitiram traçar as curvas granulométricas de todas as amostras.

Na Figura 5.25 apresentam-se as curvas granulométricas das amostras C1A1, C1A2, C1A3, C1A4 e C1A5, que foram recolhidas na construção C1. Verifica-se através da análise do gráfico representado nesta figura que as curvas granulométricas (C1Ai) são semelhantes, o que indicia que a terra utilizada nesta construção de tabique é do mesmo tipo em termos granulométricos e que poderá ter uma origem comum.

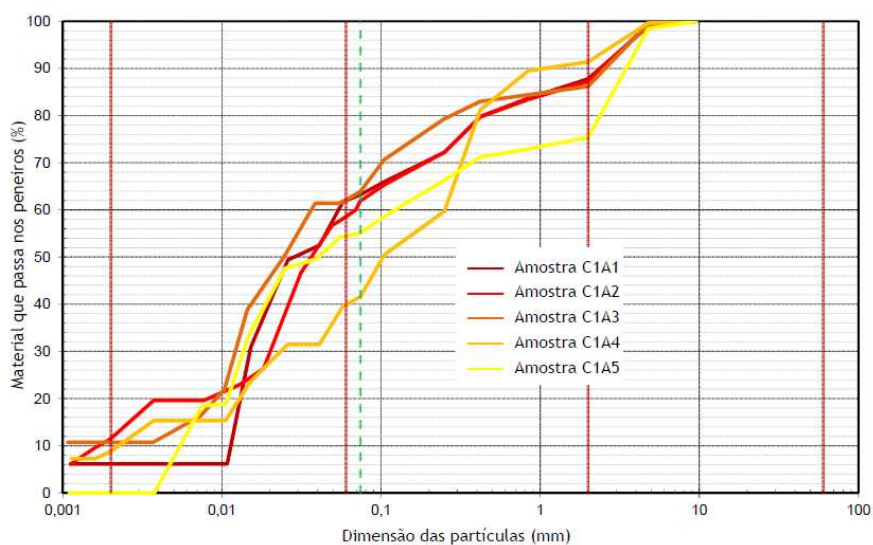


Figura 5.25 - Curvas granulométricas das amostras C1Ai

Por sua vez, na Figura 5.26, apresenta-se um gráfico com as curvas granulométricas das amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7.

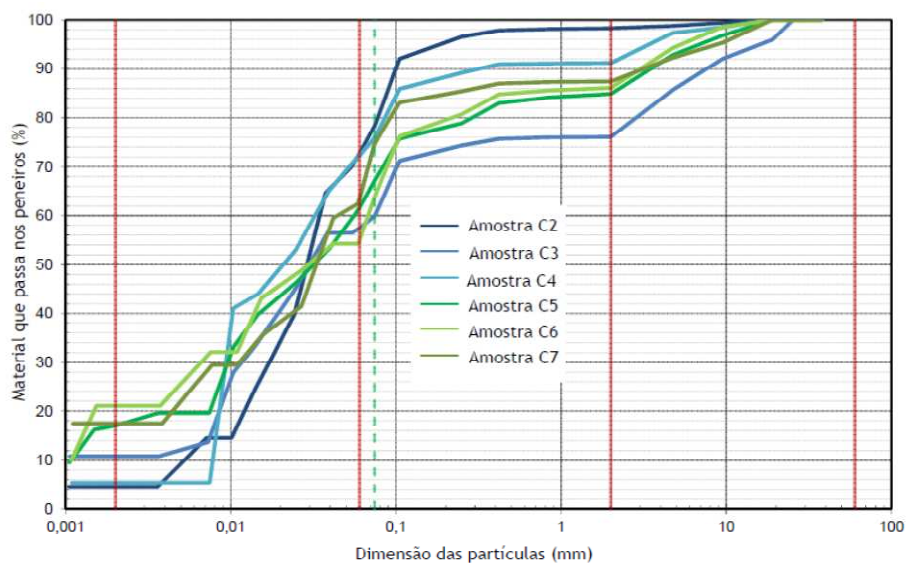


Figura 5.26 - Curvas granulométricas das amostras Ci

Verifica-se que a terra aplicada no conjunto das construções de tabique de C2 a C7 também é análoga à utilizada na construção C1 (semelhantes às curvas granulométricas Ci). Esta semelhança entre todas as curvas granulométrias poderá indicar que a terra utilizada na construção de tabique segue um padrão em termos das suas frações granulométricas e que terá uma origem comum.

Por fim, na Figura 5.27, apresentam-se as curvas granulométricas das amostras de terra local SL1, SL2, SL3, SL4 e SL5 ensaiadas.

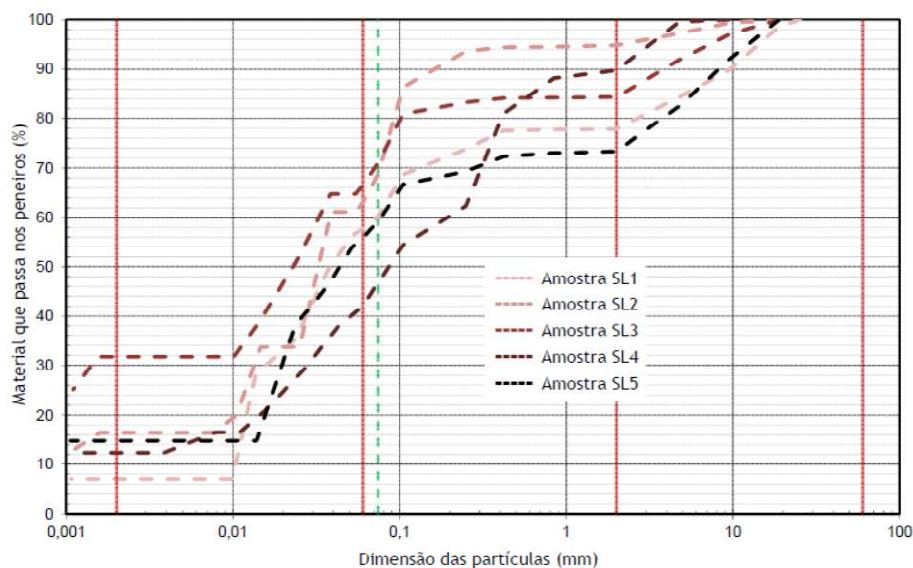


Figura 5.27 - Curvas granulométricas das amostras SLi

A análise da figura mostra que as amostras de terra local (SL1 a SL5) são semelhantes. Este resultado indicia que a terra local tem características bem definidas.

A generalidade das curvas granulométricas representadas nas Figuras 5.25, 5.26 e 5.27 são curvas extensas, cujas dimensões das partículas estão compreendidas sensivelmente entre 0,001 mm e 10 mm. Observa-se que a fração fina das amostras de terra (silte e argila) é, aproximadamente e em termos médios, de 60 %. Verifica-se também que a porção mais expressiva das amostras corresponde aproximadamente às partículas de dimensões compreendidas entre 0,002 mm e 0,06 mm, referentes a um silte.

A sobreposição das curvas granulométricas de todas as amostras é apresentada na Figura 5.28.

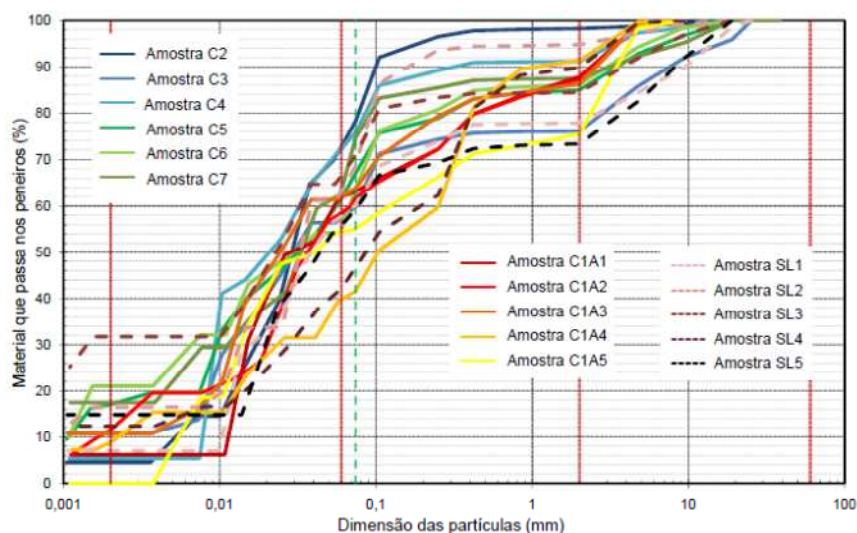


Figura 5.28 - Curvas granulométricas das amostras da terra de enchimento (C1Ai e Ci) e de terra local (SLi)

A análise das curvas granulométricas da Figura 5.28 permite concluir que as amostras do material de enchimento recolhidas nas sete construções de tabique (C1 a C7) e as cinco amostras da terra local (SL1 a SL5) têm uma composição granulométrica semelhante quer em termos de dimensões das partículas quer em termos das frações constituintes do material. Em face deste resultado experimental também é legítimo afirmar que a origem da terra poderá ser a terra local (semelhança granulométricas das curvas Ci e SLi), como era de esperar.

A densidade das partículas dos grãos sólidos, que corresponde ao valor médio da massa específica dos grãos da terra com dimensão inferior a 4,76 mm, foi determinada através do ensaio de sedimentação e de acordo com a norma portuguesa NP 83 [1965]. Os resultados obtidos e apresentados na Tabela 5.11 indicam novamente que existe uma analogia material entre as amostras de enchimento das construções (Ci) e, entre estas e as amostras de terra local (SLi). De facto, as respetivas densidades são bastante próximas. A densidade média das amostras C1Aj é de 2,73 g/cm³, a densidade média das amostras C2, C3, C4, C5, C6 e C7 é de 2,81 g/cm³ e a densidade média das amostras de terra local é de 2,66 g/cm³.

Tabela 5.11 - Densidade das partículas das amostras (g/cm³)

Amostras da construção C1					Amostras das construções C2-C7						Amostras da terra local				
C1A1	C1A2	C1A3	C1A4	C1A5	C2	C3	C4	C5	C6	C7	SL1	SL2	SL3	SL4	SL5
2,65	2,70	2,85	2,70	2,75	2,85	2,76	2,70	3,01	2,81	2,72	2,85	2,60	2,75	2,55	2,55
Densidade média: 2,73					Densidade média: 2,81						Densidade média: 2,66				

Este resultado corrobora a ideia que a terra utilizada nas construções de tabique localizadas no concelho de Lamego poderá ser semelhante e obedece a um padrão dimensional e material, cuja origem poderá ser local. O facto da densidade média das amostras de enchimento das construções de tabique ser ligeiramente superior à densidade média das amostras de terra local poderá ser justificado pela peneiração e pela compactação a que a terra de enchimento estará sujeita antes e durante a aplicação em obra.

De forma a complementar esta análise de caracterização, também se determinou o valor médio das frações de seixo, de areia, de argila e de silte, assim como se procedeu a uma classificação USCS (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 - Valores médios da composição granulométrica das amostras

ID	Frações (%), [E196-1966]				Classificação USCS, [ASTM D 2487-85, 1985]
	Seixo	Areia	Silte	Argila	
SL	15,98	26,97	40,58	16,47	ML, silte arenoso
C	15,06	24,69	50,56	11,94	ML, silte arenoso

Os resultados da classificação USCS das amostras de terra local e das amostras de enchimento das construções de tabique apontam para um silte arenoso (ML), nos dois casos (Tabela 5.12).

Os resultados da constituição média das amostras de enchimento apontam para 60 % de fração fina (silte e argila) e 40 % de fração média (areia e seixo). Este resultado é diferente dos resultados reportados nos trabalhos de Pinto *et al.* [2009] e de Gonçalves *et al.* [2010-a] que indicam que as amostras de enchimento de construções de tabique podem ser constituídas por 75 % a 80 % de fração média e por 20 % a 25 % de fração fina. A diferença que se verifica entre os resultados obtidos neste trabalho de investigação e aqueles que são reportados pelos autores acima identificados poderá resultar das amostras de terra terem sido recolhidas em concelhos diferentes da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. Este facto, reforça a ideia de que a terra utilizada nas construções de tabique tem certamente uma origem local.

A classificação USCS de ML das amostras de terra das construções de tabique e o valor médio das suas frações granulométricas (Tabela 5.12) estão em sintonia com a classificação da terra que é referida por Cyted [2003] considerada adequada para as construções de tabique (Tabela 5.5 e Tabela 5.7). Quando se representam em simultâneo as curvas granulométricas das amostras de terra das construções de tabique e da terra local, e o fuso granulométrico da terra adequada às construções de tabique recomendado por Cyted [2003], (Figura 5.3), verifica-se (Figura 5.29) que a terra das amostras das construções de tabique e da terra local apresentam um perfil granulométrico muito próximo daquele que é recomendado por Cyted

[2003]. O facto de em Lamego existir terra com boas características materiais para ser aplicada em construção de terra poderá justificar a existência de construções de tabique neste concelho.

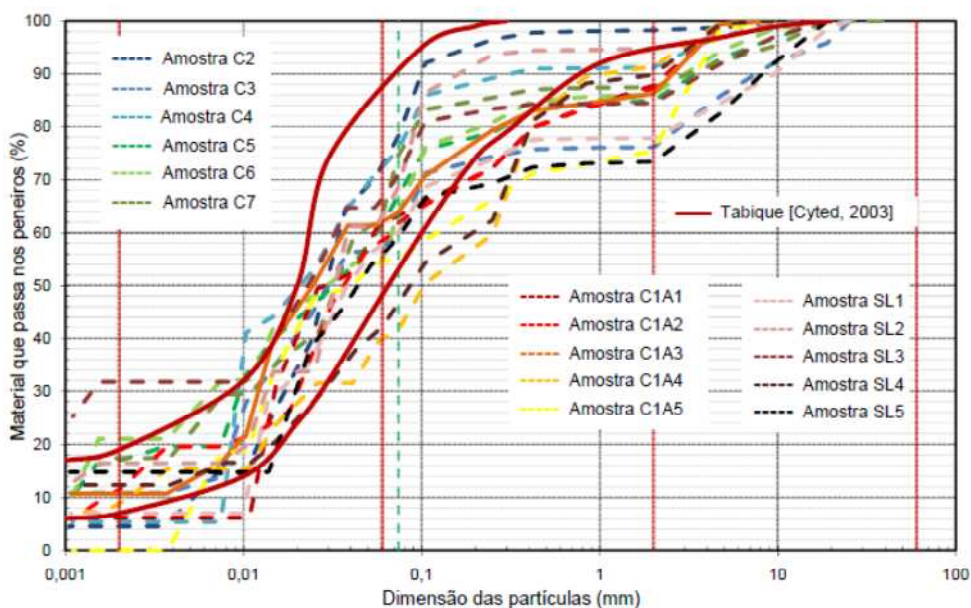


Figura 5.29 - Adequabilidade da terra de acordo com [Cyted, 2003]

Os resultados do ensaio de identificação táctil e visual, Secção 5.4.2.1, permitiram concluir que as amostras de terra estudadas têm uma textura fina e, por isso, podem ser classificadas como terra siltosa. Apenas foi exceção a amostra C4 que foi classificada como terra argilosa (Tabela 5.13) em virtude do seu comportamento plástico quando humidificada.

Tabela 5.13 - Resultados do ensaio de identificação táctil e visual

Amostra	Ensaio táctil e visual	Classificação
C2	Textura fina	Terra siltosa
C3	Textura fina	Terra siltosa
C4	Textura fina	Terra argilosa
C5	Textura fina	Terra siltosa
C6	Textura fina	Terra siltosa
C7	Textura fina	Terra siltosa

Por sua vez, o ensaio de caracterização por tamanhos das partículas, Secção 5.4.2.1, indica que as amostras da terra de enchimento se caracterizam por terem uma granulometria siltosa e argilosa, em virtude da existência de uma grande proporção de partículas invisíveis a olho nu (Tabela 5.14).

Tabela 5.14 - Resultados do ensaio de caracterização por tamanhos das partículas

Amostra	Caracterização por tamanhos (mm)		Resultado
	% < ϕ 0,08 mm	% > ϕ 0,08 mm	
C2	85	15	Siltosa/Argilosa
C3	85	15	Siltosa/Argilosa
C4	70	30	Siltosa/Argilosa
C5	90	10	Siltosa/Argilosa
C6	90	10	Siltosa/Argilosa
C7	95	5	Siltosa/Argilosa

Paralelamente, o ensaio visual de peneiração expedita (Secção 5.4.2.1) permitiu classificar todas as amostras como arenosas (Tabela 5.15). É importante aqui referir que esta classificação diverge consideravelmente das anteriores, em particular daquela que foi obtida nos ensaios de peneiração e de sedimentação, porque esta classificação visual baseia-se no volume e não na massa das frações, como acontece nos ensaios de peneiração e de sedimentação.

Tabela 5.15 - Resultados do ensaio visual por peneiração expedita

Amostra	Ensaio visual por peneiração expedita			Classificação
	$\phi \geq 2$ mm	$0,074$ mm < ϕ < 2 mm	$\phi \leq 0,074$ mm	
C2	10	55	45	Arenosa
C3	15	55	40	Arenosa
C4	12	50	38	Arenosa
C5	8	52	40	Arenosa
C6	10	50	40	Arenosa
C7	11	45	44	Arenosa

De acordo com os resultados do ensaio da mordidela e do ensaio da lavagem das mãos (Secção 5.4.2.1) as amostras são classificadas como silte, à exceção da amostra C4 que foi classificada de argila (Tabela 5.16).

Tabela 5.16 - Resultados do ensaio da mordidela e da lavagem das mãos

Amostra	Mordidela	Classificação	Lavagem das mãos	Classificação
C2	Range	Silte	Sai facilmente	Silte
C3	Range	Silte	Sai facilmente	Silte
C4	Macio	Argila	Sai dificilmente	Argila
C5	Range	Silte	Sai facilmente	Silte
C6	Range	Silte	Sai facilmente	Silte
C7	Range	Silte	Sai facilmente	Silte

Estes ensaios de classificação qualitativa e expedita da granulometria atribuem praticamente a mesma classificação às amostras. De forma geral, estes ensaios caracterizam as amostras de enchimento como tratando-se de um silte. Estes resultados experimentais também demonstram que neste caso a terra utilizada nas construções de tabique é semelhante.

Tal como foi referido anteriormente, grande parte destes ensaios têm sido amplamente aplicados no contexto da construção de terra à exceção da construção de tabique. Relativamente à adequabilidade destes ensaios no âmbito do estudo da terra das construções de tabique verificou-se que o ensaio visual por peneiração expedita não classifica a terra da mesma forma que os ensaios de peneiração e de sedimentação, e que o ensaio da mordidela não oferece as necessárias condições de higiene. Face ao exposto, pensa-se que estes dois tipos de ensaios serão menos adequados para o estudo da terra de enchimento de construções de tabique.

5.4.3.2 Plasticidade

O limite de liquidez (LL) de cada amostra resultou da determinação do teor em água correspondente a 25 pancadas na concha de Casagrande e foi obtido através de uma reta ajustada aos resultados de três subamostras com teores em água diferentes. Na Tabela 5.17 exemplifica-se esse procedimento para as amostras C2 e C3.

Tabela 5.17 - Determinação do limite de liquidez (LL) [NP 143-1969]

ID	Número de pancadas	Amostra húmida + Recipiente (g)	Amostra seca + Recipiente (g)	Recipiente (g)	Teor em água (%)	Limite de liquidez para 25 pancadas
C2E1	17	21,36	19,87	14,44	27,44	Y=28,99-0,103X 26,42 %
C2E2	23	21,67	20,14	14,33	26,33	
C2E3	35	28,68	27,37	22,23	25,49	
C3E1	14	20,22	19,08	14,76	26,39	Y=27,43-0,104X 24,83 %
C3E2	24	19,68	18,61	14,20	24,26	
C3E3	39	26,34	25,55	22,21	23,65	

O limite de liquidez das amostras C2 e C3 é de 26.43 % e 24.83 % respetivamente.

Os resultados do ensaio de determinação do limite de plasticidade (LP) das amostras C5, C6 e C7 estão ilustrados na Figura 5.30, como exemplificação.



Figura 5.30 - Determinação do limite de plasticidade (LP)

Por sua vez, na Tabela 5.18 apresentam-se os resultados parciais de três subamostras da amostra C4 e do limite de plasticidade (LP) da amostra de terra C4, como exemplo.

Tabela 5.18 - Determinação do limite de plasticidade (LP) [NP 143-1969]

ID	Amostra húmida + Recipiente (g)	Amostra seca + Recipiente (g)	Recipiente (g)	Limite de plasticidade LP (%)	LP (médio)
C4A1	17,20	16,73	14,45	20,61	
C4A2	17,29	16,86	14,73	20,19	20,29 %
C4A3	17,33	16,83	14,34	20,08	

Verifica-se que, para a amostra C4 o limite de plasticidade médio é de 20.29%.

Finalmente, na Tabela 5.19 apresentam-se os resultados finais dos limites de Atterberg de cada uma das amostras de terra analisada.

Tabela 5.19 - Plasticidade das amostras de terra das construções de tabique e da terra local

Amostra	Limites de Atterberg (%), [NP143, 1969]		
	LL	LP	IP
C1A1	25,23	--	--
C1A2	21,18	--	--
C1A3	22,09	--	--
C1A4	21,65	--	--
C1A5	20,19	--	--
C2	26,42	--	--
C3	24,83	--	--
C4	21,31	20,29	1,02
C5	24,16	--	--
C6	26,66	--	--
C7	26,83	--	--
SL1	24,34	--	--
SL2	24,06	--	--
SL3	21,09	--	--
SL4	20,15	--	--
SL5	22,56	--	--

Através da Tabela 5.19, verifica-se que geralmente as amostras não apresentam um limite de plasticidade definido. Apenas é exceção a amostra C4. Estes resultados, são indicadores de que a terra das amostras não apresenta uma plasticidade vinculada.

Em termos de valores médios, o limite de liquidez das amostras de enchimento é de 23,69 %. Considera-se que o limite de plasticidade médio e o índice de plasticidade média não são definidos porque não foi possível quantificá-los na generalidade das amostras.

Quando se comparam estes resultados expressos em termos médios com aqueles que são propostos por Cytel [2003] (Tabela 5.6), concluiu-se existir novamente alguma analogia. Deste modo, pensa-se que as características da terra aplicada nas construções de tabique de

Lamego poderão estar concordantes com as indicadas em Cytel [2003] e que poderão ser as adequadas à construção de tabique.

De acordo com os resultados anteriores e com a classificação de Doat *et al.* [1989] e de Minke [2006], (Tabela 5.3 e Tabela 5.4), as amostras classificam-se como arenosas. Estes resultados sugerem que as classificações atribuídas por estes autores sejam menos adequadas para a terra das construções de tabique em geral, e para as construções de tabique em Lamego em particular.

Apresentam-se a seguir na Tabela 5.20, os resultados dos ensaios de avaliação qualitativa e expedita da plasticidade, Secção 5.4.2.2, que inclui os resultados do ensaio do brilho e do ensaio da queda de bola.

Tabela 5.20 - Resultados dos ensaios do brilho e da queda de bola

Amostra	Ensaio do brilho	Classificação	Ensaio da queda de bola	Classificação
C2	Amorfa	Terra siltosa	Sem desagregação	Terra argilosa
C3	Amorfa	Terra siltosa	Sem desagregação	Terra argilosa
C4	Brilhante	Terra argilosa	Sem desagregação	Terra argilosa
C5	Amorfa	Terra siltosa	Sem desagregação	Terra argilosa
C6	Amorfa	Terra siltosa	Sem desagregação	Terra argilosa
C7	Amorfa	Terra siltosa	Sem desagregação	Terra argilosa

Tal como se pode observar, o ensaio do brilho classifica as amostras como terra siltosa e o ensaio da queda de bola classifica as amostras como terra argilosa.

Relativamente ao ensaio da aderência e da resistência seca, Secção 5.4.2.2, apresentam-se na Figura 5.31 fotografias da realização destes ensaios para as amostras C5, C6, C7, como exemplo.

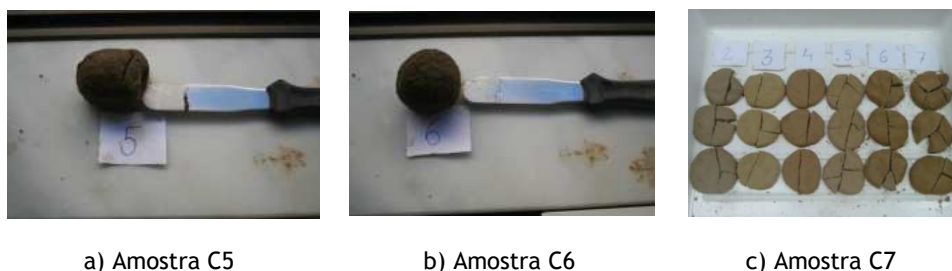


Figura 5.31 - Ensaio da aderência e da resistência seca

Na Tabela 5.21 compilam-se todos os resultados obtidos através da realização destes ensaios para as amostras ensaiadas.

Tabela 5.21 - Resultados do ensaio da aderência e do ensaio da resistência seca

Amostra	Ensaio da aderência	Classificação	Ensaio de resistência seca	Classificação
C2	Pouca ou nula	Terra saibrosa	Divisão em 3 partes	Argilo-siltosa
C3	Pouca ou nula	Terra saibrosa	Divisão em 3 partes	Argilo-siltosa
C4	Pouca ou nula	Terra argilosa	Divisão em 2 partes	Argila
C5	Pouca ou nula	Terra saibrosa	Divisão em 4 partes	Argilo-siltosa
C6	Pouca ou nula	Terra saibrosa	Divisão em 3 partes	Argilo-siltosa
C7	Pouca ou nula	Terra saibrosa	Divisão em 3 partes	Argilo-siltosa

O ensaio da aderência classifica a terra como sendo terra geralmente saibrosa. No entanto, neste ensaio, verificaram-se dificuldades em registar diferenças na força exercida para introduzir e retirar a espátula das amostras e em virtude desta operação ser manual. Este facto suscitou dúvidas relativamente à precisão dos resultados obtidos através deste ensaio. Será necessário realizar mais ensaios deste tipo para se aferir a sua adequabilidade e aplicabilidade à caracterização da terra das construções de tabique.

O ensaio da resistência seca classificou maioritariamente as amostras como sendo argilo-siltosas. Constatou-se que, quando se partiram as amostras, a maioria subdividiu-se em três partes. Apenas a amostra C4 se subdividiu em duas partes e a amostra C5 em quatro partes.

Dando seguimento a este estudo da aplicabilidade de ensaios, também se realizou o ensaio da fita e do cordão, Secção 5.4.2.2. O procedimento de realização do ensaio da fita para as amostras C5, C6 e C7 apresenta-se na Figura 5.32.



a) Amostra C5



b) Amostra C6



c) Amostra C7

Figura 5.32 - Ensaio da fita

Os resultados do ensaio da fita e do cordão obtidos para as amostras ensaiadas são apresentados na Tabela 5.22, onde se pode verificar que os resultados correspondem a um comprimento da fita balizado no intervalo de 16 cm a 26 cm, o que corresponde a uma plasticidade média.

Tabela 5.22 - Resultados do ensaio do cordão e da fita

Amostra	Ensaio do cordão	Classificação	Ensaio da fita (cm)	Classificação
C2	Indeterminado	---	26	Alta plasticidade
C3	Indeterminado	---	20	Plasticidade média
C4	Mole	Plasticidade média	25	Alta plasticidade
C5	Indeterminado	---	20	Plasticidade média
C6	Indeterminado	---	16	Plasticidade média
C7	Indeterminado	---	20	Plasticidade média

Por sua vez, no ensaio do cordão, e à semelhança do que aconteceu no ensaio de determinação do limite de plasticidade, apenas a amostra C4 apresentou plasticidade.

Face ao exposto, estes ensaios de avaliação qualitativa e expedita da plasticidade da terra indicam que a terra das amostras ensaiadas é essencialmente argilo-siltosa e de plasticidade média. Em virtude de não ter sido possível realizar o ensaio de determinação do limite de plasticidade, não é possível comparar, nesta fase, os resultados dos limites de Atterberg com os resultados dos ensaios de avaliação qualitativa da plasticidade. Será necessário desenvolver trabalho experimental adicional de forma a tirar conclusões sobre a aplicabilidade destes ensaios ao estudo da terra aplicada nas construções de tabique.

Relativamente à exequibilidade destes ensaios concluiu-se, com base na experiência adquirida no contexto deste trabalho de investigação, que o ensaio da aderência e o ensaio do cordão não parecem ser muito adequados para a avaliação da adequabilidade da terra como material de enchimento a aplicar em construções de tabique.

5.4.3.3 Composição química e mineralógica elementares

Foram processadas análises SEM/EDS para identificar a composição química elementar das amostras de enchimento e de terra local, à semelhança dos estudos de Murta *et al.* [2010] e de Gonçalves *et al.* [2010-a]. Para o efeito, foram ensaiadas as amostras de enchimento (C2, C3, C4, C5, C6 e C7), as amostras de terra local (SL1 e SL2) e quinze amostras de enchimento recolhidas na construção de tabique designada por C1. Os resultados obtidos através deste procedimento experimental estão resumidamente expostos na Tabela 5.23. Por simplificação, apenas se apresentam os valores médios das quinze amostras relativas à construção C1.

Tabela 5.23 - Resultados da análise SEM/EDS

Amostra	Elemento químico (%)								
	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Fe
C1	1,78	1,83	16,71	40,39	0,11	4,18	24,36	0,76	9,88
C2	1,80	1,78	17,68	57,62	0,60	5,61	2,47	1,16	11,28
C3	0,90	1,78	20,15	56,57	0,60	6,64	1,15	1,04	11,17
C4	0,64	2,25	22,62	49,44	0,63	6,74	1,12	2,13	14,43
C5	1,21	2,12	22,57	50,49	0	7,16	3,36	1,34	11,75
C6	0,94	1,84	20,68	54,1	0,39	7,41	0,82	1,25	12,57
C7	1,71	1,81	18,47	59,64	0,16	5,78	1,64	0,84	9,95
SL1	1,71	2,17	17,87	55,14	0,29	7,87	1,93	1,21	11,81
SL2	1,53	1,92	16,83	55,99	0,22	7,65	2,06	1,45	12,35

Verifica-se que nestas amostras de terra os elementos químicos predominantes são o sódio (Na), o magnésio (Mg), o alumínio (Al), o Silício (Si), o cloro (Cl), o potássio (K), o cálcio (Ca), o titânio (Ti) e o ferro (Fe), com as proporções indicadas na Tabela 5.23.

Analisando a composição química elementar e a proporção de cada elemento químico presente em cada amostra conclui-se que na maioria dos casos as amostras de enchimento das construções de tabique e as amostras de terra local têm uma composição química elementar muito similar, sendo caracterizadas por apresentarem elevadas percentagens de silício, alumínio e ferro e por terem baixas percentagens de sódio, magnésio, cloro, potássio e titânio. Estes resultados estão em concordância com os obtidos por Pinto *et al.* [2010-a e 2010-b], que também evidenciaram altas percentagens de silício e de alumínio, devendo-se este facto à terra das amostras ser constituída por areias e argilas da região.

Em termos médios, as amostras da terra de enchimento das construções de tabique estudadas em Lamego são constituídas por 52,61 % de silício, 19,84 % de alumínio e 11,58 % de ferro.

Foi detetada uma quantidade expressiva de cálcio nas amostras recolhidas na construção C1. Atendendo a que a terra da região não é de origem calcária, pensa-se que foi adicionado um ligante do tipo cal apagada à terra, formando deste modo uma argamassa terrosa bastarda. Esta conclusão também se verificou em outros casos de construções de tabique existentes na região, reportada nos trabalhos de Carvalho *et al.* [2008-a] de Pinto *et al.* [2009].

As amostras de enchimento (C2, C3, C4, C5, C6 e C7), da terra local (SL1 e SL2) e as quinze amostras recolhidas na construção C1, quando submetidas ao ensaio de difração de raios X, apresentaram também uma composição mineralógica elementar semelhante entre elas evidenciando deste modo uma presença vincada de quartzo e de moscovite, tal como se

indica na Tabela 5.24. Nesta tabela, o resultado apresentado para a amostra C1 traduz o resultado, sempre igual, obtido em cada uma das quinze amostras recolhidas.

Tabela 5.24 - Composição mineralógica da terra das construções

Amostra	Calcite	Quartzo	Moscovite
C1	Sim	Sim	Sim
C2	Não	Sim	Sim
C3	Não	Sim	Sim
C4	Não	Sim	Sim
C5	Não	Sim	Sim
C6	Não	Sim	Sim
C7	Não	Sim	Sim

O quartzo é um mineral comum nas rochas da região. A moscovite também conhecida por mica é um mineral argiloso com um baixo grau de atividade.

A amostra C1 também é composta por calcite, cuja presença se deve ao uso de um ligante hidráulico à base de cal misturado com a terra local de forma a criar o material de enchimento das paredes de tabique, tal como foi referido anteriormente.

Na Figura 5.33 apresentam-se algumas imagens SEM, da microestrutura das amostras de enchimento de terra (de C2 a C7), das amostras de terra local (SL1 e SL2) e da amostra PI5, que se considerou representativa da construção C1, obtidas com a resolução de 500x.

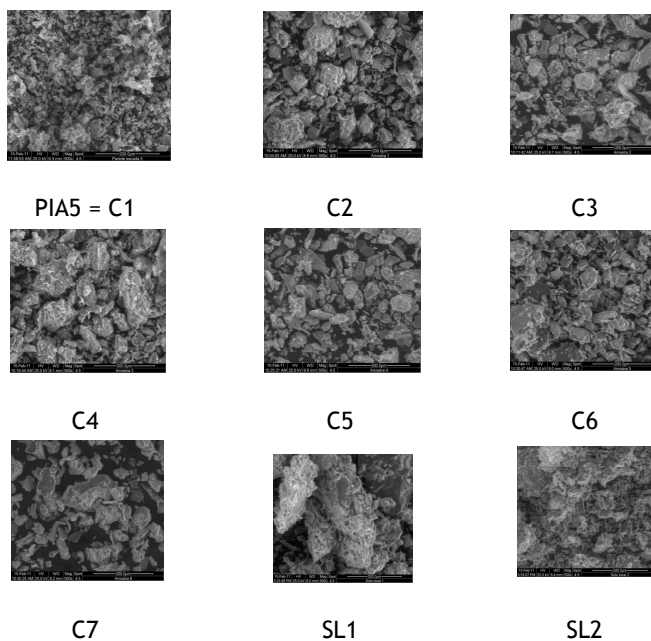


Figura 5.33 - Microestrutura das amostras

As imagens ampliadas da Figura 5.33 permitem concluir que as amostras de enchimento das construções de tabique aparentam ter uma morfologia e uma textura semelhantes entre si, corroborando deste modo as conclusões obtidas a partir das análises de EDS, de granulometria e de plasticidade. A Figura 5.33 também permite concluir que as partículas das amostras da terra local têm uma maior dimensão do que as partículas das amostras da terra de enchimento, para além de conterem um maior volume de vazios. Este resultado indicia também que a terra local será porventura submetida a um processo de peneiração seguido de uma compactação antes de ser aplicada nas construções de tabique.

De seguida e apenas focado nas amostras C2 a C7, realizou-se o ensaio do ácido (Secção 5.4.2.4) cujo procedimento se ilustra na Figura 5.34.

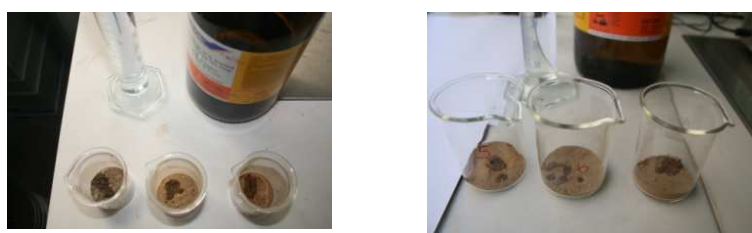


Figura 5.34 - Ensaio do ácido

O ensaio do ácido revelou que as amostras de terra ensaiadas não reagem ao ácido clorídrico pelo que ou não têm cal na sua composição ou têm-na numa percentagem muito reduzida. Os resultados, apresentados na Tabela 5.25, são concordantes com os resultados das análises EDS (Tabela 5.23).

Tabela 5.25 - Resultados do ensaio do ácido

Amostra	Classificação
C2	Sem reação, < 1 % de cal
C3	Sem reação, < 1 % de cal
C4	Sem reação, < 1 % de cal
C5	Sem reação, < 1 % de cal
C6	Sem reação, < 1 % de cal
C7	Sem reação, < 1 % de cal

Analisando-se a cor e o cheiro (Secção 5.4.2.4) das amostras de terra ensaiadas obtiveram-se os resultados expostos na Tabela 5.26. Estes resultados indicam na maioria dos casos que a terra não apresenta matéria orgânica.

Tabela 5.26 - Resultados dos ensaios da cor e do cheiro

Amostra	Ensaio da cor	Classificação	Ensaio do cheiro	Classificação
C2	Escuro	Terra orgânica	Sem cheiro a húmus	Terra inorgânica
C3	Clara	Terra inorgânica	Sem cheiro a húmus	Terra inorgânica
C4	Clara	Terra inorgânica	Sem cheiro a húmus	Terra inorgânica
C5	Clara	Terra inorgânica	Sem cheiro a húmus	Terra inorgânica
C6	Clara	Terra inorgânica	Com cheiro a húmus	Terra orgânica
C7	Clara	Terra inorgânica	Sem cheiro a húmus	Terra inorgânica

Verifica-se, na Tabela 5.26, que o ensaio da cor e o ensaio do cheiro apresentam resultados contraditórios nalgumas amostras (amostra C2 e C6), este facto poderá ser devido, entre outros motivos, a natureza expedita destes ensaios.

5.4.4 Estudo adicional e resultados

Diversos trabalhos de investigação têm-se debruçado sobre a identificação e a caracterização da composição química e mineralógica elementar do material de enchimento usado na construção das paredes de tabique através da realização de análises SEM/EDS e de ensaios de difração de raios X [Pinto *et al.*, 2010-a, Murta *et al.*, 2010, Veiga, 1997 e Veiga *et al.*, 2001]. Em ambos os ensaios, apenas se tem usado uma quantidade muito reduzida de material de enchimento, aproximadamente cinco gramas, referente apenas a uma amostra de uma pequena porção de material recolhida numa parede de tabique integral. O facto de as amostras serem constituídas por quantidades tão pequenas pode comprometer a representatividade das amostras na caracterização da composição química elementar da terra de um elemento construtivo deste tipo. Esta questão não se coloca para a análise granulométrica uma vez que as amostras recolhidas têm de ser referentes a uma grande quantidade de material, aproximadamente um quilograma de terra, o que obriga à recolha de material de enchimento em vários pontos de um mesmo elemento construtivo de tabique.

De forma a contribuir para o esclarecimento desta questão, procedeu-se a um estudo de análise de representatividade de amostras complementar ao estudo apresentado na secção anterior deste capítulo. Para o efeito, recolheram-se cinco amostras de material de enchimento em cada um dos três elementos construtivos de tabique (PIA, PIB e PE) da construção C1 e já identificados na Secção 5.4.1. Os valores médios dos resultados da composição química obtidos para as cinco amostras recolhidas em cada elemento construtivo foram comparados com os valores individuais de cada amostra. O cálculo do coeficiente de variação (Tabela 5.27) de cada elemento químico identificado em cada uma das amostras dos três elementos construtivos permite aferir até que ponto o valor médio diverge dos valores individuais.

Tabela 5.27 - Resultados da análise SEM/EDS do estudo complementar

Elemento Químico (%)	Parede interior A, (PIA)		Parede exterior, (PE)		Parede interior B, (PIB)		C1
	Média	Coef. de variação	Média	Coef. de variação	Média	Coef. de variação	
Sódio	1,80	0,0944	1,46	0,1631	2,07	0,1750	1,78
Magnésio	1,88	0,1765	1,54	0,1597	2,07	0,0757	1,83
Alumínio	17,51	0,0305	14,73	0,0598	17,88	0,042	16,71
Silício	42,79	0,0330	35,43	0,0389	43,03	0,0457	40,39
Cloro	---	---	---	---	0,30	0,2455	0,10
Potássio	4,39	0,0784	3,42	0,0601	4,69	0,23	4,17
Cálcio	20,22	0,1112	33,57	0,0693	19,30	0,1627	24,36
Titânio	0,84	0,2774	0,72	0,1242	0,71	0,1856	0,76
Ferro	10,56	0,1104	9,13	0,0831	9,95	0,1019	9,88

A análise dos resultados experimentais apresentados na Tabela 5.27 permite concluir que existe uma variação, em torno do valor médio, que oscila entre 3,3 % e 4,5 % para o elemento químico mais abundante, o silício. Para o segundo elemento químico mais abundante, o cálcio, a variação em torno do valor médio é significativa e oscila entre 11 % e 16 %. O terceiro elemento químico mais abundante, o ferro, apresenta uma variação em torno do valor médio também significativa e que oscila entre os 8 % e 11 %. Estes resultados indicam, por isso, que quando se realizam análises SEM/EDS é desejável recolher várias amostras relativas a pontos dispersos num determinado elemento construtivo e considerar que o resultado da composição química desse elemento construtivo corresponde à média aritmética dos valores individuais obtidos para cada amostra. Alternativamente, também se sugere que essas amostras sejam misturadas entre si e uma amostra a ensaiar seja extraída dessa mistura. Esta segunda alternativa poderá ter interesse em termos de economia de tempo e recursos porque permite uma redução e uma simplificação significativa dos procedimentos experimentais.

No anexo A5.2, as Tabelas A5.7, A5.8 e A5.9 contêm a composição química elementar e as respetivas proporções de cada elemento químico, de cada uma das cinco amostras recolhidas em cada uma das três paredes de tabique analisadas. Por sua vez, nas Figura A5.1, A5.2 e A5.3 apresentam-se os espetros EDS de cada uma das quinze amostras de terra recolhidas e ensaiadas. Por sua vez, as Figuras A5.4, A5.5 e A5.6 são referentes às imagens SEM.

5.4.5 Análise e discussão dos resultados

Face à enorme quantidade de resultados experimentais obtidos relativamente ao material terra usado nas construções de tabique, que foram apresentados e descritos anteriormente,

pensou-se que seria útil realizar uma análise e uma reflexão desses resultados, que pudesse anteceder as considerações finais deste capítulo.

Para o efeito, por comparação das curvas granulométricas das amostras C1A1, C1A2, C1A3, C1A4, C1A5, C2, C3, C4, C5, C6, C7, SL1, SL2, SL3, SL4, e SL5, dos limites de Atterberg quantificados, dos resultados obtidos através das análises SEM/EDS e dos ensaios de difração de raios X concluiu-se que existem semelhanças expressivas entre todas as amostras ensaiadas. Em face destes resultados é possível concluir que a terra aplicada nestas construções poderá ter sido extraída no local, como se esperava. No entanto, ressalva-se ainda a necessidade de se usar em trabalhos futuros um maior número de casos de estudo de construções de tabique, de forma a dispor-se de uma amostragem mais representativa e robusta, capaz de reforçar esta conclusão.

As conclusões obtidas e identificadas ao longo deste capítulo vão de encontro aos testemunhos de residentes nos locais da construção.

Um morador na freguesia de Sande e outro na freguesia de Cambres, ambos Mestres de Obras, que afirmaram que “ a terra usada nas construções de tabique tinha uma origem local, provinha da terra da vinha e que era seleccionada desde que não fosse demasiado “areenta” ou dos locais onde esta tinha uma cor vermelha ”. Na Figura 5.35, apresenta-se um local, indicado pelo morador da freguesia de Sande, que foi em tempos utilizado para a extração de terra a ser utilizada nas construções de tabique existentes na freguesia de Cambres e de Sande, concelho de Lamego.



N 41° 07,693' / W 7° 47,637'

Figura 5.35 - Origem local da terra, freguesia de Sande

A composição granulométrica média das amostras de terra de construções de tabique localizadas no concelho de Lamego apresenta os valores indicados na Tabela 5.28. A classificação a atribuir de acordo com o USCS é um silte arenoso (ML).

Tabela 5.28 - Valores médios da composição granulométrica das amostras de terra de enchimento das construções de tabique

ID	Frações (%)			
	Seixo	Areia	Silte	Argila
C	15,06	24,69	50,56	11,94

A plasticidade das amostras de terra aponta para índices inferiores à unidade, o que poderá revelar que a argila presente nas amostras tem uma atividade muito baixa.

A composição química elementar da terra utilizada nas construções de tabique é essencialmente constituída por cerca de 52,61 % de silício, 19,84 % de alumínio e 11,58 % de ferro.

Uma vez que as densidades médias das amostras de terra local são ligeiramente superiores às das amostras de enchimento (Tabela 5.11) e dado que, as análises SEM/EDS indicam que as partículas de terra local são maiores e têm maiores vazios do que as partículas das amostras da construção de tabique, conclui-se que a terra de enchimento das paredes de tabique poderá ter sido submetida à um processo de peneiração, de humidificação e de compactação prévios antes de ser aplicada em obra.

Da análise da Tabela 5.26 verifica-se que algumas amostras de enchimento retiradas das construções de tabique têm cálcio na sua composição química, contrariamente ao que sucede com as amostras de terra local. Tal facto deve-se à aplicação de um ligante à base de cal. As análises SEM/EDS e os ensaios de difração de raios X revelaram que esse material de revestimento tanto pode ser terra simples local ou uma argamassa terrosa bastarda. Pensa-se que a adição de um ligante tipo cal aérea induz uma maior plasticidade ao material de revestimento/enchimento beneficiando deste modo a sua trabalhabilidade e estabilidade.

Verificou-se também que os ensaios de avaliação qualitativa da granulometria, da plasticidade e da composição química e mineralógica conduziram a resultados análogos aos obtidos através da realização de ensaios normalizados. No entanto, e em virtude destes ensaios serem essencialmente manuais e expeditos, notou-se a ocorrência de pouca precisão na execução de alguns destes ensaios tais como o ensaio de peneiração expedita, o ensaio de exsudação, o ensaio da mordidela, o ensaio da aderência e o ensaio do cordão, pelo que não se recomenda a aplicação destes ensaios na caracterização rigorosa da terra de enchimento a utilizar na construção de tabique. Contudo, podem ser muito úteis numa fase de pesquisa de potenciais locais de extração.

A análise da representatividade da recolha de uma só amostra por elemento construtivo de tabique em análises SEM/EDS, demonstrou que, em virtude da quantidade de terra recolhida em cada amostra ser muito pequena, é recomendado a recolha de várias amostras referentes a pontos diferenciados para caracterizar de forma rigorosa o material de enchimento de um elemento construtivo de tabique.

5.4.6 Proposta de ensaios a usar na caracterização da terra utilizada no tabique

O exaustivo estudo experimental realizado sobre amostras de enchimento e a consequente caracterização do material permitiu avaliar a adequabilidade daqueles ensaios no âmbito da construção de tabique. Neste contexto, faz-se seguidamente uma proposta de ensaios, designada por ‘Proposta tabique, 2011’ e indicada nas Tabelas 5.29 e 5.30, que possam ser utilizados na caracterização da terra a aplicar em futuros trabalhos de reabilitação e de construção de tabique. As Tabelas 5.29 e 5.30 são uma adaptação de uma tabela proposta por Delgado & Guerrero [2007] e apresentam os ensaios preconizados por diversos autores no âmbito da construção de terra. Nessas tabelas adicionaram-se os trabalhos de Neves *et al.* [2009], Minke [2006] e de Doat *et al.* [1979] e eliminaram-se alguns ensaios em virtude de serem pouco divulgados.

Tabela 5.29 - Ensaios de identificação e de caracterização do material terra do tabique - Textura

REFERÊNCIAS	PROPRIEDADES										
	TEXTURA										
	Peneiração húmida	Ensaio de sedimentação	Ensaio do vidro	Equivalente de areia	Examinação visual	Ensaio do brilho	Ensaio da mordidela	Lavagem das mãos	Ensaio do toque	Ensaio da resistência seca	Ensaio da exsudação
<i>Proposta tabique, 2011</i>	x	x			x	x		x	x	x	
[Nzs 4298, 1998]											
[Craterre-EAG, 1998]	x	x	x	x	x		x	x			
[Lehmbau Regeln, 1999]	x	x			x	x		x	x		
[Standards Australia and Walker P., 2002]	x	x	x		x			x	x	x	
[MOPT, 1992]			x		x		x		x	x	
[Houben & Guillaud, 1994]	x	x	x		x	x	x	x	x	x	X
[CRATERre-EAG: Rigassi V., 1995]	x	x	x				x	x	x		
[McHenry PG, 1984]			x								
[OIA, 1970]					x	x	x	x		x	
[Spence & Cook, 1983]	x	x	x								
[Minke, 2006]	x	x	x			x	x	x			
[Doat <i>et al.</i> , 1979]	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
[Neves <i>et al.</i> , 2009]	x	x	x		x	x			x	x	x

No ensaio de examinação visual, da ‘Proposta tabique, 2011’ (Tabela 5.29) não se deve considerar o ensaio visual de peneiração expedita pelos motivos reportados na Secção 5.4.3.1.

Na Tabela 5.30 são apresentados os ensaios de caracterização das propriedades do material terra do tabique, bem como as propriedades que permitem obter.

Tabela 5.30 - Ensaios de identificação e de caracterização do material terra do tabique - Propriedades

PROPRIEDADES														
REFERÊNCIAS	FORÇAS COESÃO		PLASTICIDADE		RETRAÇÃO	QUÍMICA		MAT. ORGÂNICA		COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA			COMPACTAÇÃO	
	Ensaio do cigarro ou da fita	LL, Limite de liquidez	LP, Limite de plasticidade	Limite de retração	Retração linear em caixa	Análise química	Análise quim. da mat. orgânica	Ensaio do cheiro	Ensaio da cor	Composição mineralógica	Teste do azul de Metileno	Raios X	Ensaio Proctor	Ensaio da queda de bola
<i>Proposta tabique, 2011</i>	x	x	x			x		x	x	x		x		x
[NZS 4298, 1998]					x									
[Craterre-EAG, 1998]	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x
[Lehmbau Regeln, 1999]		x	x					x	x					
[Standards Australia and Walker P., 2002]	x	x	x		x	x		x		x			x	x
[MOPT, 1992]	x													
[Houben & Guillaud, 1994]	x	x	x		x	x		x		x			x	
[CRATERre-EAG: Rigassi V. 1995]	x	x	x			x	x	x					x	
[McHenry PG, 1984]	x													
[OIA, 1970]	x							x						
[Spence & Cook, 1983]		x	x	x									x	
[Minke, 2006]	x	x	x	x	x	x		x						x
[Doat <i>et al</i> , 1979]	x	x	x	x		x		x					x	x
[Neves <i>et al</i> , 2009]	x	x	x	x	x				x				x	x

A análise das Tabelas 5.29 e 5.30 permite concluir que o extenso conjunto de ensaios que fazem parte da ‘Proposta tabique, 2011’ é similar às propostas sugeridas por Craterre-EAG [1998], Houben & Guillaud [1994] e Doat *et al* [1979] no âmbito das construções de adobe, de BTC e de taipa.

5.4.7 Proposta de fuso granulométrico para a terra a usar na construção de tabique

Em virtude das curvas granulométricas obtidas na sequência da análise granulométrica das amostras de enchimento das construções de tabique estudadas no âmbito deste trabalho de investigação terem sido similares, propõem-se o fuso granulométrico apresentado na Figura 5.36.

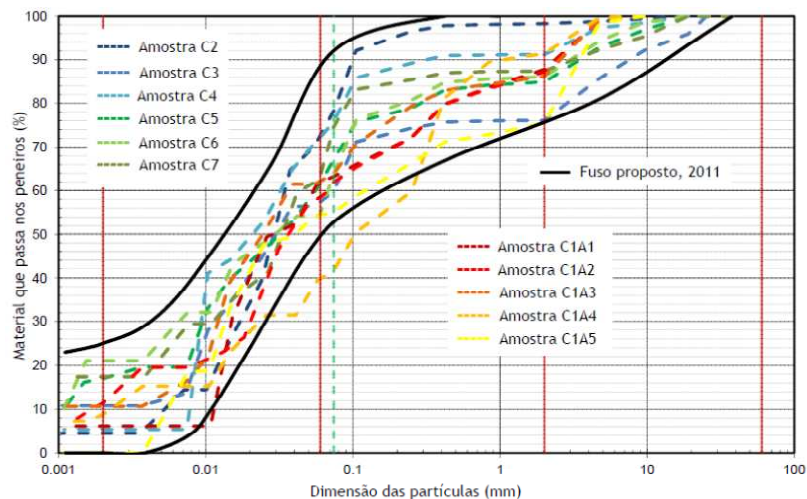


Figura 5.36 - Proposta de fuso granulométrico para a construção de tabique

Este fuso granulométrico poderá ser utilizado em trabalhos futuros de reabilitação e de construção nova de tabique, permitindo prestar auxílio na avaliação da adequabilidade da terra a ser utilizada como material de enchimento em paredes de tabique. É interessante verificar que a sobreposição do fuso granulométrico proposto (designado por ‘Fuso proposto, 2011’ na Figura 5.37) com aquele que foi proposto por Cyted [2003] (Figura 5.37) evidencia que o segundo está aproximadamente incluído no primeiro. Este facto poderá indiciar que a terra existente no concelho de Lamego tem características favoráveis à construção de terra e poderá justificar a existência de construções de tabique neste concelho.

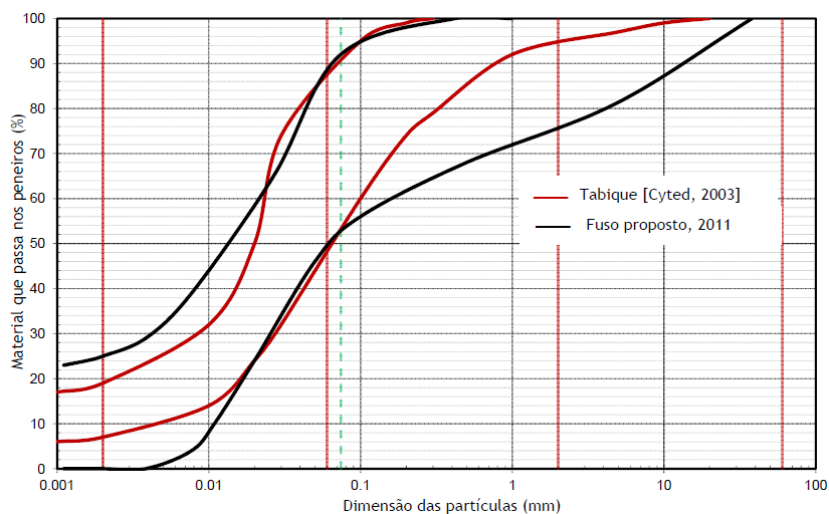


Figura 5.37 - Fuso granulométrico proposto e fuso proposto por [Cyted, 2003]

5.5 Considerações finais

As várias temáticas estudadas neste capítulo permitem tirar as considerações finais seguintes:

- A revisão bibliográfica processada permitiu concluir, que pese embora a literatura disponível seja muito rica na temática da classificação e da caracterização da terra utilizada em técnicas construtivas como o adobe, a taipa ou o bloco de terra compactada (BTC), é ainda praticamente inexistente quando se trata da construção de tabique. A mesma revisão bibliográfica permitiu selecionar um grupo de ensaios tradicionalmente utilizados na caracterização da terra utilizada na construção de terra e que poderão também ser aplicados no estudo da terra a ser aplicada em construções de tabique.
- O trabalho experimental desenvolvido neste capítulo permitiu identificar as características de granulometria, de plasticidade, de composição química elementar e de composição mineralógica elementar da terra de enchimento utilizada em construções de tabique na zona de Lamego. Verificou-se que a terra de enchimento poderá ter uma origem local.
- Em face dos resultados experimentais obtidos foi proposto um fuso granulométrico para a terra a usar em construções de tabique do concelho de Lamego e também se recomendou um conjunto de ensaios que podem vir a ser utilizados na caracterização e na classificação da terra a utilizar em construções de tabique. Estas duas propostas poderão ser utilizadas em trabalhos futuros de reabilitação e de construção nova de tabique, no concelho de Lamego, e eventualmente em outros locais do país.
- Um estudo adicional também permitiu verificar que em análises SEM/EDS é aconselhável e prudente recolher várias amostras de material de um elemento construtivo de tabique e não apenas uma amostra, de forma a garantir a sua representatividade e, implicitamente, permitir alcançar resultados mais conclusivos.