



A Sustentabilidade Geométrica da Construção em Terra Crua

Geometrical sustainability of raw earth construction

Autor:
Filipe Alexandre Duarte González Migães de Campos

Orientador:
Professor Doutor Arquitecto Manuel Couceiro da Costa

Curso de Mestrado em Ecologia Humana

Évora
NOVEMBRO 2004

ESTA DISSERTAÇÃO NÃO INCLUI AS CRÍTICAS E SUGESTÕES FEITAS PELO JURI.



A Sustentabilidade Geométrica
da Construção em Terra Crua
Geometrical sustainability of raw earth construction



Autor:
Filipe Alexandre Duarte González Migães de Campos

Orientador:
Professor Doutor Arquitecto Manuel Couceiro da Costa

169405-

Curso de Mestrado em Ecologia Humana

Évora
NOVEMBRO 2004

ESTA DISSERTAÇÃO NÃO INCLUI AS CRÍTICAS E SUGESTÕES FEITAS PELO JURI.

Agradecimentos

Ao Orientador

Agradeço ao meu orientador, o Professor Manuel Couceiro, todo o apoio e disponibilidade manifestada durante a elaboração da presente dissertação.

A sua clarividência serviu de motivação e incentivo mesmo nos momentos mais difíceis do percurso deste trabalho.

Muito obrigado.

Dedicatória

À minha Família

Agradeço e dedico este trabalho à minha família que me acompanhou, e que se sacrificou por ele, mas compreendeu qual a sua importância.

Dedico em especial este trabalho ao meu filho, o Gustavo, que espero que um dia venha a saber o que é uma casa em terra e que entenda por que é que o "pai estava outra vez ao computador".

À minha mulher, a Belisa, que já fala destas coisas das casas em terra e que adiou alguns dos seus projectos para me acompanhar nesta batalha.

À minha Mãe, que me ensinou que nunca se deixa nada a meio, e que não devemos começar nada sem concluir todas as tarefas inacabadas.

Ao meu irmão Ricardo, cujas aventuras no mundo me fascinam e cujos caminhos se cruzam com as casas de terra.

À minha irmã, a Sofia, que gosta destas coisas da terra e que delas vai tirando proveito.

Ao meu falecido irmão Pedro que infelizmente não me pode acompanhar nesta batalha, e que pela sua ausência me ensinou a lutar sozinho.

ad præsens ova, cras pulla sunt melliora

Outros Agradecimentos

Agradeço a colaboração de:

Dr.	Daniel Casanovas	Tradutor
Dr.	Hélder Machado	Dir. Mediateca da U. Lusfada
Dr.	João Santos	E. P. D. Rural de Serpa
Mestre Arquitecto	João Rodolfo	Universidade Lusfada
Arq.º	José Alegria	
Dr.º	Patrícia Leite Cabrita	
Dr.	Pedro Câmara	
Doutor	Pedro Mousinho Figueiredo	
Dr.º	Vânia Mendonça	
Dr.º	Cláudia Curvelo	J. Curvelo, Lda.
Eng.º	David Silva	J. Curvelo, Lda.
Eng.º	José António Curvelo	J. Curvelo, Lda.
Arq.º	Toni Barreiros	Atelier da Vila, Lda.
Arq.º	Vasco Ramos	Atelier da Vila, Lda.

Índice

Índice	pág.	6
Resumo em Português	pág.	10
Resumo em Inglês	pág.	11
Resumo em Espanhol	pág.	12
0 Introdução		
	pág.	13
0.1 Objectivos	pág.	15
0.2 Metodologia e Limitações	pág.	16
1 Capítulo 1 A Tradição e o Método		
	pág.	18
1.1 O pressuposto	pág.	18
1.2 A tradição do Saber	pág.	20
1.3 Da sustentabilidade	pág.	23
1.4 Da Geometria	pág.	31
1.5 Da Estereotomia	pág.	32
1.6 Da Fronteira	pág.	39
1.7 Da Estrutura	pág.	42
1.7.1 Dos esforços	pág.	44
1.7.2 Famílias Estruturais Tipo	pág.	51
1.7.3 Do Equilíbrio	pág.	53
1.7.4 Da Eficácia Formal	pág.	55

2 Capítulo 2

A terra como material de construção

		pág.	60
2.1	A terra	pág.	60
2.2	Componentes do solo	pág.	61
2.2.1	Matéria Mineral	pág.	61
2.2.2	Matéria Orgânica	pág.	63
2.3	Propriedades fundamentais do solo	pág.	63
2.3.1	Peso específico	pág.	64
2.3.2	Textura	pág.	64
2.3.3	Estrutura	pág.	68
2.3.4	Plasticidade	pág.	68
2.3.5	Coesão	pág.	68
2.3.6	Tenacidade	pág.	68
2.3.7	Adesividade	pág.	69
2.3.8	Permeabilidade	pág.	69
2.3.9	Capilaridade	pág.	70
2.3.10	Poder de absorção	pág.	70
2.3.11	Exposição	pág.	71
2.3.12	Cor	pág.	72
2.4	Qualidade da terra como material construtivo	pág.	74
2.4.1	Principais estabilizantes	pág.	75
2.4.1.1	A cal	pág.	75
2.4.1.2	O cimento	pág.	76
2.4.1.3	Componentes orgânicos	pág.	76
2.5	Análise sensitiva do solo	pág.	76
2.6	Associação dos solos às técnicas construtivas	pág.	77

3

Capítulo 3

Técnicas de construção em terra crua

		pág.	83
3.1	Sistemas de classificação	pág.	83
3.2	Técnicas construtivas	pág.	91
3.2.1	Terra por subtração		
	Terra escavada	pág.	91
3.2.2	Terra trabalhada manualmente		
	Terra modelada	pág.	98
3.2.3	Terra simplesmente empilhada		
	Terra empilhada		
	Torrões de terra		
	Pães de terra	pág.	103
3.2.4	Terra empilhada com recurso a molde	pág.	108
3.2.4.1	Terra palha	pág.	109
3.2.4.2	Terra plástica	pág.	111
3.2.4.3	Terra de enchimento	pág.	112
3.2.4.4	Taipa	pág.	115
3.2.5	Terra geometrizada sob a forma de blocos	pág.	119
3.2.5.1	Blocos de terra cortados	pág.	120
3.2.5.2	Blocos de terra palha	pág.	123
3.2.5.3	Blocos comprimidos ou apiloados	pág.	124
3.2.5.4	Adobes	pág.	126
3.2.5.5	Terra extrudida	pág.	130
3.2.6	Terra como material de acabamento	pág.	131
3.2.6.1	Terra de recobrimento	pág.	132
3.2.6.2	Terra de cobertura	pág.	135
3.2.6.3	Tabiques e terra sobre engradado	pág.	137

4 Capítulo 4 Geometrias da terra crua

		pág.	141	
4.1	Processos analíticos	pág.	141	
	4.1.1	Análise planimétrica	pág.	143
	4.1.2	Análise tridimensional	pág.	147
4.2	Geometrias de suporte nos processos construtivos	pág.	159	
	4.2.1	Terra por subtracção	pág.	159
	4.2.2	Terra trabalhada manualmente	pág.	164
	4.2.3	Terra simplesmente empilhada	pág.	167
	4.2.4	Terra empilhada com recurso a molde	pág.	172
	4.2.5	Terra geometrizada sob a forma de blocos	pág.	180
	4.2.6	Terra como material de acabamento	pág.	195
4.3	Resumo Síntese	pág.	197	

5 Capítulo 5 Interacção da forma e do método

		pág.	200
5.1	A Inevitabilidade da geometria	pág.	200
4.2	Da geometria da terra	pág.	202
4.2	Interacção das formas da terra crua	pág.	203
4.2	A perenidade da compressão vs. a efemeridade da tracção	pág.	207
4.2	Da terra ao betão	pág.	208

6 Bibliografia

		pág.	211
--	--	------	-----

Resumo

Português

Título: Sustentabilidade Geométrica da Construção em Terra Crua

A construção em terra é um processo milenar, e a sua transmissão enquanto tal tem sido feita entre gerações, de pais para filhos, e quase sempre de forma operativa.

A utilização da terra pauta-se por uma qualidade que consiste na sua reciclabilidade. Esta característica assume especial importância quando se aborda cada vez mais a sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável.

A reciclabilidade da terra como material construtivo, enquanto processo natural ou artificial, dificulta o seu estudo uma vez que os testemunhos mais antigos não podem ser avaliados devido à sua perda total.

Pretende este trabalho criar uma ferramenta aglutinadora de processos construtivos, classificação da terra enquanto material de construção e por último, ferramenta analítica das geometrias utilizáveis na construção com este material, atendendo às suas propriedades.

Trata-se de uma análise comparativa dos processos construtivos em terra crua, suas geometrias e estereotomias, dentro do conceito de obra global, analisando-a no todo e na parte. Este trabalho redefine o processo de classificação das técnicas construtivas em terra crua em função dos processos auxiliares de construção, e não pelo estado físico do material utilizado ou mesmo pela família de sistema construtivo.

Abstract

English

Title: Geometrical Sustainability of Raw Earth Construction

The construction with earth is a millenary building process and its transmission as such has been passed down from generation into generation i.e. from parents to children and almost always by operative process.

The utilization of earth is regulated by its recyclable quality. This characteristic gains special importance when again and again sustainability or sustainable development is approached.

The recyclability of earth as a building material, considered as a natural process, makes its study difficult once the more ancient testimonials cannot be evaluated due to their total loss.

This work aims at creating an agglutinating tool of constructing processes, classification of earth as a construction material and ultimately an analytical tool of the usable geometries in construction with this material, having in mind its properties.

This is a comparative analysis of the constructive processes with crude earth, its geometries and stereotomies, within the concept of global work, analysing it as a whole or in parts. This work redefines the process of classification of the techniques of construction with earth in function of the auxiliary processes of construction and not by the physical state of the material being used or even by the family of the constructive system.

Resumen

Español

Título: Sustentabilidad Geométrica de la Construcción en Tierra Cruda

La construcción en tierra es un proceso milenar y la suya transmisión en cuanto tal ha sido hecha desde generaciones pasando de padres a hijos y casi siempre de forma operativa.

La utilización de la tierra se regula por una cualidad que es la suya reciclabilidad. Esta característica toma una importancia especial cuando, más y más, se aborda la sustentabilidad ó el desarrollo sustentable.

La reciclabilidad de la tierra como material de construcción, en cuanto proceso natural ó artificial, se vuelve difícil una vez que los testimonios más antiguos no pueden ser evaluados debido a su pérdida total.

Con esta obra se pretende criar una herramienta aglutinadora de los procesos de construcción y de clasificación de la tierra en cuanto material de construcción y por ultimo, una herramienta analítica de las geometrías utilizables en la construcción con este material, considerando sus propiedades.

Tratase de un análisis comparativo de los procesos de construcción con tierra cruda, sus geometrías y estereotomías, dentro de lo concepto de obra global, analizándola en el todo y en la parte. Esta obra redefine el proceso de clasificación de las técnicas con tierra cruda en función de los procesos auxiliares de construcción y no por el estado físico del material utilizado o mismo por la familia del sistema de construcción.

0. Introdução

“(...) Viviam José e Maria num lugarejo chamado Nazaré, terra de pouco e de poucos, na região de Galileia, em uma casa igual a quase todas, como um cubo torto feito de tijolos de barro, pobre entre pobres. Invenções de arte arquitectónica, nenhuma, apenas a banalidade uniforme de um modelo incansavelmente repetido. Com o propósito de poupar alguma coisa nos materiais, tinham-na construído na encosta da colina, apoiada ao declive, escavado pelo lado de dentro, deste modo criando uma parede completa, a fundeira, com a vantagem adicional de ficar facilitado o acesso à açoteia que formava o tecto. (...)”¹

José Saramago

¹ - SARAMAGO, José, *O EVANGELHO SEGUNDO JESUS CRISTO*, 1991. Lisboa : Caminho, imp. 1991, p. 29

O trabalho que ora se desenvolve tem como principal finalidade conhecer as técnicas de construção em terra crua, bem como identificar as geometrias de suporte a ela associadas.

Trata-se de uma análise comparativa das diversas técnicas de construção em terra, cujo objectivo é sensibilizar para as questões que se centram nas relações entre a forma e o material de construção, bem como explicitar que as formas podem ser alcançadas como processo de melhoramento das características físicas especialmente no que toca à resistência dos materiais.

Da compreensão da relação entre o material e a forma dada ao material, surge um conceito desenvolvido na área da geometria descritiva que concerne à estereotomia dos materiais.

Depois de absorvido o conceito de interdependência entre as propriedades físicas do material de construção e da forma dada ao mesmo de modo a que cumpra um propósito, está aberto o canal de comunicação, desenvolvendo-se o espírito crítico no que respeita à identificação de processos de construção, bem como a introspecção para a prossecução de novos trabalhos com o material terra crua ou outro.

0.1 Objectivos

O presente trabalho tem por objectivo conhecer as técnicas de construção em terra crua na sua vertente geométrica. Trata-se de uma análise comparativa das técnicas conhecidas que envolvem a terra crua como elemento constituinte.

Assim, e na principal preocupação de transmitir a potencialidade deste material, produz-se uma ferramenta que se divide em cinco partes distintas.

Numa primeira fase elabora-se um raciocínio em torno das questões que motivam o desenvolvimento do trabalho, nomeadamente a reflexão sobre a transmissão do saber e as preocupações sobre o desenvolvimento sustentável com o enquadramento do material terra crua nesse panorama.

A par deste primeira abordagem desenvolve-se a análise da relação entre a geometria e a estrutura, ilustrando-se os conceitos básicos que envolvem este espírito crítico, associando-se o conceito que motiva todo o trabalho que se centra na estereotomia do material terra crua.

No segundo capítulo aborda-se a terra como material construtivo. Faz-se uma análise acerca dos seus constituintes e principais características, de forma a desenvolver o espírito analítico em torno da questão da utilização do solo como potencial material construtivo. O objectivo desta análise é entender que nem sempre o material disponível tem as melhores propriedades e que a construção com terra está confinada a alguns tipos de solos, podendo em alguns casos ser corrigido e melhorado nas suas características.

O desenvolvimento do conhecimento das principais características do solo e da terra como material de construção leva, no terceiro capítulo, à classificação e descrição das técnicas construtivas que envolvem o material descrito. Nesta fase do trabalho, e em presença das técnicas conhecidas, reclassificam-se, agrupando-se não pela família de sistemas construtivos ou pelo estado físico do material, mas sim pela hierarquização tecnológica necessária à sua utilização: a terra por subtracção, a terra empilhada sem recurso a molde, a terra empilhada com recurso a molde; a terra geometrizada sob a forma de blocos e a terra como material de acabamento.

Esta reclassificação permite na análise seguinte, capítulo quatro, agrupar as principais geometrias-tipo identificadas com a construção neste panorama.

Por último, no quinto capítulo, elabora-se uma síntese em torno do propósito do trabalho, nomeadamente na interacção entre a forma e o método construtivo, bem como uma análise da relação conceptual entre as técnicas de construção com terra crua e as de betão.

0.2 Metodologia e Limitações

Num trabalho de natureza analítica de procedimentos construtivos com um material de construção, é usual ter-se como base uma grande componente gráfica, uma vez que para abarcar a diversidade de metodologias construtivas, bem como para as comparar é necessário que exista um grande suporte de imagem organizado e sintetizado.

Foram reunidas as escassas informações disponíveis sobre o tema, tendo sido utilizada como principal fonte de bibliografias, a Mediateca da

Universidade Lusíada, a Biblioteca da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa e a Biblioteca Nacional.

Para efeitos de pesquisa bibliográfica, utilizou-se também a Bibliothèque Nationale de France, porque grande parte do conhecimento desenvolvido nesta área tem expressão francófona, desde François Cointreaux no final do século XVIII, até ao CRATerre nos dias de hoje.

Assim, o trabalho desenvolvido conta como principal limitação à sua execução o acesso in loco às construções em terra crua, que se encontram por todo o mundo, bem como ao seu "*modus faciendi*". Apesar disso, e com os novos acessos à informação, foram também utilizadas monografias electrónicas com referências de locais de internet, especialmente as que contam com o apoio do Fórum UNESCO.

Para todo o efeito, na elaboração do trabalho, optou-se por elaborar as referências e as citações bibliográficas de acordo com a norma ISO 690-I, de 15 de Agosto e a ISO 690-II de 15 de Novembro de 1997.

No decorrer do trabalho foram executadas pesquisas de campo através de visitas a construções em terra crua, umas em fase de construção, outras acabadas e outras em fase de ruína/demolição, onde foi possível identificar alguns elementos constituintes bem como as principais patologias construtivas.

Capítulo 1

Da Tradição ao Método

1.1 O pressuposto

" (...) Memento, homo, quia pluvius es et in pulverem reverteris (...) "

" (...) Lembra-te, ó homem, de que és pó e ao pó hás de voltar. (...) "

Palavras do sacerdote ao marcar com cinza a fronte dos fieis, na Quinta-feira de Cinzas, recordando as palavras de Deus a Adão após o pecado original.

A construção em terra é um sistema construtivo que ultrapassa qualquer horizonte da memória edificada.

Trata-se de um sistema simples de construção que sucede naturalmente à utilização da caverna como unidade básica residencial.

Não se pretende com o presente trabalho atingir as questões que se prendem com o bem-estar habitacional ou mesmo as questões que orientam raciocínios dialécticos entre a arte de bem construir e/ou mesmo a aplicabilidade dos elementos apresentados a uma exigência construtiva que se diga “contemporânea”. Aliás, acredita-se que a utilização da terra crua como material de edificação é, nos dias de hoje, uma realidade incontornável nos sistemas construtivos, e que foi uma resposta natural às necessidades construtivas do homem durante gerações consecutivas.

Pretende-se assim com o presente trabalho registar quais as preocupações de ordem geométrica das edificações em terra, que suportam um raciocínio abstracto que consiste na seriação de um ou mais elementos básicos criando um universo complexo, estável e humanamente utilizável.

Trata-se acima de tudo de um estudo sobre a manipulação do meio pelo ser humano segundo esquemas de intervenção lógicos e eventualmente matemáticos. A sucessiva busca do conhecimento da construção faz com que nem sempre a utilização dos materiais construtivos fosse feita pela forma mais simples. O sucesso na experimentação construtiva leva a que os procedimentos e resultados alcançados sejam repetidos e com que a “receita” seja transmitida durante gerações sem que na maior parte das vezes fosse questionada. Isto deve-se em parte ao facto de o resultado alcançado servir os propósitos de hoje, e mesmo os de amanhã. Acontece que nem sempre é necessária a transmissão física da “coisa” para que esta surja posteriormente, ou mesmo noutra lugar.

1.2 A tradição do saber

Uma reflexão sobre a forma como o saber operativo é transmitido é feita por BRAIZINHA, Joaquim¹ na qual trata a ideia básica de que o conhecimento pode ser genético e inato, e que a imitação não implica de forma alguma a repetição de procedimentos.

Uma mesma forma de saber existe em diversas zonas geográficas sendo que no desconhecimento umas das outras elas existem em simultâneo.

Neste sentido, o mesmo autor², e elaborando uma analogia ao Tratado da Imitação explicita que para Quatremère de Quincy não existiria evolução do conhecimento humano se simplesmente se imitasse no sentido denotativo do termo *imitação*. Imitar pressupõe que existe um entendimento das bases que estão no suporte da ideia, adaptando-as a novos conceitos, formas e aplicações. Trata-se assim de conotar a imitação à aplicação de métodos e procedimentos mesmo que as finalidades sejam outras.

Não obstante o facto de a imitação ser imagética, no sentido e na medida em que está ligada às imagens que criam arquétipos, o que é certo é que o arquétipo é em si a imagem livre de imitação e carregado de interpretação.

A transmissão do saber passou de pais para filhos em sucessões consecutivas de famílias, muito embora, com a introdução de novas

¹ BRAIZINHA, Joaquim, *DA TRANSMISSÃO DO SABER OPERATIVO EM ARQUITECTURA = DE LA TRANSMISSION DU SAVOIR OPÉRATIF EN ARCHITECTURE*. In ALEGRIA, José, *DA PAIXÃO... DA TERRA... DA ARQUITECTURA...* = *De la passion... de la terre...de l'architecture...* – [Albufeira]: DARQUITERRA, D.L. 2000, p.20-33

² BRAIZINHA, Joaquim, *DA TRANSMISSÃO DO SABER OPERATIVO EM ARQUITECTURA*, in LUSIADA: revista de ciência e cultura: série de arquitectura n.º1, Lisboa, Lusíada Editora, 2001, p. 16-17

tecnologias e métodos construtivos se evoluísse na forma da transmissão do saber.

Apesar do conhecimento poder ser transmitido geneticamente, faz parte da condição humana a evolução e a vontade de ter e conhecer mais. Em todos os animais ditos irracionais também existe transmissão de saber, especialmente no que respeita à construção de habitat, vejamos as abelhas, as térmitas ou as andorinhas, entre muitas outras, no entanto estes repetem procedimentos de forma inata criando construções que no seu aspecto formal identificam a própria espécie. Um ninho de vespas parece sempre um ninho de vespas.

No ser humano acontece exactamente o mesmo. Transmite-se o saber operativo, condicionado a efeitos práticos do dia-a-dia. Os objectos, as formas, os materiais, enfim uma série de elementos que pautam o critério da própria transmissão do saber.

Os meios da imitação, factor que por si poderá levar ao reconhecimento da forma, centram-se nos seus objectivos que se descreve como sintaxe e iconografia materialista.

A sintaxe

" (...) A sintaxe é um sistema ordenado que diz respeito às relações seccionais, planimétricas, verticais e volumétricas, que se baseiam no reconhecimento e repetição de procedimentos, tais como:

Medidas tipo – as medidas do tempo, do gesto e do movimento que regem as formas do espaço e que são a razão simbólica ligada aos ritos e aos ritmos intemporais; eram as medidas do homem: o pé, o palmo, a braça, ...

Disposições tipo – conjuntos que produzem sistematicamente as mesmas combinações fundamentais na organização dos espaços, a sua orientação, as suas dimensões e a sua finalidade. (...) ³

Entende-se com isto que apesar de manifestações estilísticas diversas na obra edificada, os propósitos funcionais condicionam a imitação. A escala é conferida pelo utilizador, desde a casa, à igreja, ao templo, ou a qualquer construção com fins simbólicos ou não. A dimensão humana é transportada para a própria obra, e esta é à escala dele.

A iconografia materialista

“ (...) A iconografia materialista funda-se sobre temáticas metafóricas que comportam a composição, a forma e o ornamento, que se baseiam no recurso e repetição de procedimentos tais como:

Imagens/instrumento – que equivalem à projecção de conteúdos espirituais; sendo suportes de natureza analógica e simbólica, destinadas a reter invariantes de carácter intraduzível (formas de portas e janelas, chaminés, beirados, coberturas, etc.).

Homotetias e homotipias semânticas – que permitem repetir formas independentemente da dimensão e da posição.

Geometrias e traçados reguladores – expressos por arquétipos que a arquitectura usa para traduzir a harmonia entre o cosmos, a natureza e o homem.

Por materiais entende-se o valor de associação que os caracteriza enquanto matéria, e matéria transformada segundo uma técnica.

A pedra, a madeira e a terra estabeleceram vocabulários de formas e regras com uma linguagem corrente que assegurou a transmissão no espaço e no tempo. (...) ⁴

³ Op. Cit. (2)

⁴ Op. Cit (2)

De comum na construção de habitat tem-se usualmente a forma dos habitats. É exactamente a forma dos habitats que permite conhecer a espécie a que pertence. No ser humano passa-se exactamente o mesmo. Muito embora possam existir diferenças de cultura ou raça, associadas a diferentes áreas geográficas, a essência formal e conceptual da casa (habitat humano) é semelhante. Todas têm paredes, tectos, fenestrações que podem ser portas ou janelas, e todas têm a mesma finalidade.

1.3 Da Sustentabilidade

A utilização da construção em terra crua, como sistema construtivo de base tem vindo a desaparecer com a introdução de novos materiais de construção e até com a criação de novos níveis de conforto habitacional e mesmo de estratificação social.

Nos conceitos de modernidade uma casa em betão é “melhor” que uma casa em pedra e esta “melhor” que uma em terra crua. Este conceito é incutido desde muito cedo nas crianças. Aliás, a história dos “Três Porquinhos”, imortalizada por Walt Disney, relata exactamente o conceito da casa enquanto fortaleza – a casa de palha, a casa em madeira e a de tijolo – apenas a última resiste ao “lobo mau”.

Curiosamente são os padrões de *status* e conforto habitacional que hoje em dia conferem às construções em terra crua um estatuto de superioridade e elegibilidade.⁵

⁵ Ao analisar-se a obra desenvolvida pelo Arq. José Alegria, verifica-se que o cliente alvo, que recorre a este tipo de construção pertence a nível médio/alto e não a classes sociais desfavorecidas. A habitação social na Europa por sua vez não é construída em terra crua.

As casas em terra crua são ecológicas, estáveis do ponto de vista térmico e higrométrico o que se traduz em última instância em salubridade.

Estudos científicos apontam no sentido de comprovar que existe radioactividade no betão e que este material não é seguro para a saúde.

Este enquadramento da relação Homem/Habitat insere-se no estudo da Ecologia Humana. Neste sentido, e sendo um dos desígnios da Arquitectura a criação de habitat, há que inculcar esta preocupação/raciocínio no processo conceptual da arquitectura, bem como urge entender a forma de construir segundo conceitos de sustentabilidade, de forma a não hipotecar o nosso futuro nem o dos nossos descendentes.

A vanguarda civilizacional consiste na capacidade de o presente se inspirar no passado com o objectivo de melhorar o futuro.

A resolução imediata de problemas de hoje não costuma trazer benefícios para o futuro.

Ao abordar-se a temática da sustentabilidade ou crescimento sustentável na área científica da Arquitectura, cai-se inevitavelmente em temas de urbanismo e construção, uma vez que aprioristicamente, as questões da estética em si não são objecto do tema, ou seja a estética não deverá ser objecto de influência da sustentabilidade ou crescimento sustentável.

Para PINTO, Alberto Reaes⁶, a sustentabilidade, ou crescimento sustentável passa inevitavelmente por questões de continuidade, herança, e mesmo melhoria do meio que nos rodeia.

“ (...) Na área da construção sustentável, é um facto que a indústria de construção é poluente e agressiva para o ambiente e é importante que tenhamos consciência, que o impacte ambiental que esta indústria produz, pode ser substancialmente reduzido pelo modo como se utilizam os materiais, fundamentalmente pelo aumento do seu ciclo de vida. (...) ”⁷

Contudo, parece que a questão coloca-se não só na forma como se deve reciclar o património edificado, mas sim na previsão de como é que se irá reciclar aquilo que se constrói hoje. Além disso, não só o aumento do ciclo de vida dos materiais tem que ser ponderado, como também é importante que os materiais utilizados gozem de fácil reciclagem. A terra crua, como adiante se descreve é um material de fácil reciclagem, muito embora a sua durabilidade esteja condicionada a encargos com manutenção.

Deste raciocínio surge a chamada terra estabilizada que consiste na utilização do material terra com correctivos à base de cal, cimento ou outros aditivos, que melhoram o seu comportamento com o seu principal agente agressor que é a água.

No que concerne à resistência e duração da terra crua como material construtivo, salienta-se o que PINHEIRO, Nuno Santos⁸ escreve acerca deste assunto:

⁶ PINTO, Alberto Cruz Reaes, A SITUAÇÃO ACTUAL E OS CAMINHOS FUTUROS NUMA OPTICA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. in LUSIADA: revista de ciência e cultura: série de arquitectura n.º1, Lisboa, Lusíada Editora, 2001, p. 21

⁷ Op. Cit. (6)

⁸ PINHEIRO, Nuno Santos, UMA REFLEXÃO SOBRE A ARQUITECTURA EM TERRA CRUA, Lisboa: N. S. Pinheiro, 1991, p.8.

“ (...) Se na realidade podemos dar conta deste tipo de construção, no nosso território, desde os tempos Tartessicos ou Turdetanos até aos nossos dias, podemos concluir que não se tratará de um material frágil mas, pelo contrário, de um material altamente resistente. A resistência deste material constituído basicamente por terra crua aumenta com o passar do tempo, segundo Ken Kern. (...) ”⁹

O material de construção que motivou a grande alteração quer no que concerne à estética arquitectónica, quer na velocidade construtiva a nível mundial, o betão¹⁰, surge agora involuntariamente como um elemento motivador de interrogação acerca do crescimento das cidades.

Alguns estudos científicos apontam no sentido de se afirmar que o betão armado tem uma duração de vida útil de cerca de 50 anos. Nesta óptica será de questionar qual a evolução das cidades sabendo de antemão que a reciclagem dos edifícios é inevitável muito embora difícil e dispendiosa?

Como pedra artificial, o betão assume uma grande vantagem de utilização, que consiste em poder produzir-se uma pedra com o formato que se pretende, ou seja deixa de ser necessário construir com pedra cortada/trabalhada, esculpida com todos os inconvenientes de manuseamento que daí surgem (o betão enquanto no estado líquido pode ser bombeado).

⁹.Op. Cit (8)

¹⁰ Assim, betão é uma mistura de inertes com granulometrias diversas – nomeadamente areia, e britas diversas, com cimento e água. Betão armado, será a utilização do betão juntamente com um segundo material que será uma armadura em aço. A ligação dos dois materiais atribui duas propriedades distintas no final, ou seja o betão como uma pedra artificial resiste bem à compressão, e o aço resiste bem à torção e flexão – obtém-se assim um material completo com as propriedades de resistir a todos os tipos de esforços.

Contudo e numa óptica da teoria da irreversibilidade dos fenómenos, a fabricação do cimento pode muito bem ilustrar tal conceito.

*“Para fenómenos muito simples o seu inverso é extremamente complexo”.*¹¹

O cimento surge como um processo de antítese de um fenómeno simples.

O processo de fabrico do cimento descreve-se, numa forma simplista, pela extracção de calcário, seguindo-se depois a cozedura a altas temperaturas causando a degenerescência daquele, originando um novo produto que se designa por “klinker”, e a moagem deste material resulta num pó fino que se chama cimento.

Curioso será verificar que apenas juntando água se obtém uma pedra artificial de características próprias e controlável no seu fabrico. O betão no entanto enferma da grande dificuldade quer de recuperação, quer de reciclagem.

¹¹ Por exemplo: quando se dissolve açúcar no café quente, o processo é muito simples e rápido, o processo inverso de separar o açúcar do café é extremamente complexo e demorado.

É na característica do controlo de qualidade que o fabrico do betão atinge a sua principal eleição – trata-se de fabricar uma pedra artificial com características controláveis e previsíveis, e com a mais valia que é a sua plasticidade e capacidade de modelação enquanto líquido.

Ora, na sequência, urge questionar em primeiro lugar se será sustentável demolir montanhas para construir cidades? E se essas cidades forem a milhares de quilómetros de distância do local de extracção, em que melhoria se traduz na qualidade edificada?

As alternativas à velocidade de resposta e às solicitações do mercado construtivo não são muitas, contudo julga-se que as maiores necessidades construtivas se encontram nos países pobres, e são justamente estes que se hipotecam, importando os impactes ambientais de longa distância.

A alternativa a apontar à construção sustentável de cidades em países cuja capacidade financeira não permite pagar materiais como o betão e o aço, será a quase extinta construção em terra – exemplo tabiques, taipa e adobe, entre outras.¹² Mas não só, a construção em terra crua permite a sua utilização dentro dos padrões exigidos para uma construção dita moderna ou contemporânea.

A construção em terra assume desta forma uma preponderância com vantagens muito óbvias no que concerne à sustentabilidade construtiva, tais como:

¹² FORJAZ, José, *ENTRE O ADOBE E O AÇO INOX: Ideias e Projectos = Between Adode and Stainless Steel*. Lisboa, Caminho, 1999.

1. As construções em terra são facilmente recicláveis ao contrário do betão.
2. As construções em terra duram enquanto forem conservadas – o betão apesar de poder ser conservado não permite evitar a oxidação do aço perdendo assim as suas propriedades.
3. As construções em terra podem atingir cotas na ordem dos 8 pisos de altura (exemplo das construções no lémen). O betão permite cotas mais elevadas, o que poder-se-á tornar insustentável.
4. As fontes de matéria-prima quase sempre estão próximas da obra – tira-se a terra do solo e constrói-se ao lado, ao contrário do betão que tem que vir de fábrica, com todos os encargos que daí resultam, desde a extracção de areias e britas, até ao fabrico do cimento.
5. As construções em terra podem ser controladas na sua qualidade construtiva à semelhança do betão e na era actual existem materiais como taipa e adobe estabilizados que podem ser aprovados nos processos de homologação de materiais e de controlo de qualidade.
6. Tal como o betão, a terra crua pode ser moldada e ter a forma que se quiser dar (dentro dos próprios limites da sua resistência) e tem a vantagem de não necessitar cozedura, nem de no seu processo existir emissão de gases derivados das combustões, tal como no tijolo ou mesmo no cimento.

Em suma, conseguem-se apontar razões de ordem ecológica, tecnológica e mesmo estéticas (porque a construção em terra também resiste à modernidade estética) que permitem sustentar a ideia das vantagens da construção em terra, não violando o princípio da irreversibilidade dos fenómenos. A terra tem a propriedade de secar ao ar, endurecendo, e de se dissolver com água, e este processo pode ser repetido indefinidamente. A exceção à teoria da irreversibilidade dos fenómenos.

Contudo, um princípio básico da sociedade contemporânea é a da geração de riqueza, e apesar de se cometerem atentados contra a natureza, destruindo serras e encostas, na realidade produz-se riqueza, gera-se riqueza em torno de uma produção, e pior especula-se essa mesma produção de riqueza.

A riqueza cultural está também nas suas tradições construtivas.

A tradição é a essência da transmissão do saber, é o que passa de geração em geração, independentemente das inovações que são introduzidas nas metodologias de trabalho e de operação.

Portugal é um país em que o património edificado em terra existe e em grande escala, no entanto esta não produz riqueza financeira, perde-se desta forma, pelo abandono das tradições, um importante legado patrimonial.

1.4 Da Geometria

Associado ao tema da estética da Arquitectura surge uma área passível de ser objecto de estudo da sustentabilidade que consiste na geometria de suporte dos momentos arquitectónicos identificados na sua estética.

Ao longo da História da Arquitectura sempre foram tomadas opções geométricas de suporte das edificações, com mais ou menos engenharia, de acordo com as características dos materiais a utilizar ou mesmo de acordo com os princípios construtivos com um mesmo material, seja a utilização da pedra por escavação (gruta) ou pedra por corte e aplicação, madeira, barro, ou mesmo betão, entre outros.

Quer isto dizer que: os materiais de construção motivadores de uma opção construtiva clara se traduzem em última instância em formas tridimensionais que condicionam a sua aplicação – *estereotomia dos materiais*.

Essa mesma estereotomia pode identificar em si os materiais de construção, o momento cronológico da aplicação, o próprio local onde se insere a obra, em suma criam um contexto que pode ser identificado na imitação, recriação ou tradição.

1.5 Da Estereotomia

Na sequência do que vem sendo referido anteriormente, urge a necessidade duma reflexão específica sobre a estereotomia em si. No que consta de definições objectivas do tema podem salientar-se algumas, muito embora como se poderá constatar não reúnem consenso quanto à sua definição, entre elas salientam-se quatro, tais como:

1. “ *estereotomia s.f. arte ou técnica de cortar ou dividir com rigor os materiais de construção.* ”¹³

2. “ *Stereotomy. The art and science of cutting, or making sections of, solids, e.g. pre-cutting stones to fit in their allocated place, especially in an arch or vault, where the geometry of their planes is complex.* ”¹⁴

3. “ *La stéréotomie a pour objet l'étude des procédés employés pour approprier les matériaux à la construction, en prenant ces matériaux tels que nous les donne la nature.*

C'est donc en enlevant de la matière et non pas en en ajoutant que l'on passera de la forme brute des matériaux naturels à la forme définitive qui leur convient.

Il résulte de là que le fer, la fonte, les terres cuites, etc..., dont la forme appropriée s'obtient par le laminage, le forgeage, le moulage, ou le tournassage, ne font pas partie des matériaux auxquelles s'applique stéréotomie.

Le bois et la pierre rentrent seuls dans le domaine de la stéréotomie. (...) ”¹⁵

¹³ DICCIONÁRIO DA LÍNGUA PORTUGUESA 2003. - Porto: Porto Editora, Junho 2002, pg. 691, col.2, §5

¹⁴ FLEMING, John, HONOUR, Hugh, PEVSNER, Nikolaus, *DICTIONARY OF ARCHITECTURE*. Fourth edition. - London: Penguin Books, 1991, p. 423, col. 1, §9.

¹⁵ PILLET, Jules, *TRAITÉ DE STEREOTOMIE (CHARPENTE ET COUPE DES PIERRES)*.- Paris : Librairie Scientifique Albert Blanchard, [1923]

4. "GENERALITES

Stéréotomie : Art de tailler des volumes.

a) Les volumes sont déterminés par des surfaces qui se coupent suivant des arêtes droites courbes.

Intersections de

- murs droits : arêtes droites
- murs et; pans de toiture : arêtes droites, horizontales, obliques mura courbes et pans de toiture droits : courbes
- voûtes sur murs : courbes
- voûtes sur voûtes : courbe plane gauche

Voir les méthodes de Descriptive - intersections.

b) - Les parties principales des constructions ne sont pas des surfaces (comme tôle emboutie) mais des volumes composés d'éléments.

Les éléments taillés pour obtenir le volume déterminé, sont tracés par les méthodes de descriptive. Les anciennes méthodes de Stéréotomie étaient compliquées, car on ignorait la descriptive.

Volumes élémentaires obtenus : par taille (pierre)
par moulage (béton)

Taille: volume capable (ou épannelage) pour avoir le minimum de déchets.

Moulage: aucune perte, mais sujétion des moules (nombreux exemplaires), sujétion de forme (dépouille) ou moule démontable.
Ouverture du moule au moins sur une face:
Courant dans le moulage des bétons.

ou

moule avec pièces mobiles: courant dans le moulage des métaux à point de fusion bas. Par exemple, bronze d'aluminium, etc...

Exemples: carters divers, corps de carburateur, etc... De tels moules sont très chers et doivent s'amortir sur un nombre élevé d'exemplaires. S'emploient pour fabriquer des blocs béton.

- Les éléments étudiés dans la première partie, comportaient une partie de stéréotomie.

- Vu jusqu'à présent :

- appareil des murs : pierre taillée
éléments moulés (briques, parpaings)
- composition des planchers: solives, poutres moulées ou taillées
hourdis (moulés)

assemblages

Composition des charpentes: éléments taillés (bois)
ou moulés (acier)
Coffrage des ouvrages en béton et béton armé.

Objet de la deuxième partie:

Etude des arcs, des voûtes et des escaliers, des points de vue :

- construction
- stéréotomie (détermination des formes des éléments)
- stabilité.

Arcs et voûtes : utilisés depuis très longtemps dans la construction pour franchir un espace vide. (trou dans un mur, espace entre murs, ponts, etc...). Cette étude ne présentera pas de caractère archéologique (qu'à l'occasion), mais nécessaire pour :

compréhension,
entretien,
utilisation actuelle, soit en constructions en pierre
(non périmées) avec des techniques nouvelles.

L'emploi des voûtes a connu un renouveau avec : les voûtes en béton armé, qui seront encore employées longtemps.

- voûtes minces, raidies par leurs intersections, voûtes en P.H, voûtes sphériques, etc...
- couvertures suspendues (voûtes inversées travaillant en traction)
- Emploi fréquent en fondation de voûtes inversées travaillant en compression pour faire des radiers. A la base de toutes ces techniques : Stéréotomie de la Pierre.

Escaliers : Les méthodes de construction ont évolué considérablement dans le temps.

- escalier droit à repos (pierre, bois, fer, béton)
- escalier tournant (pierre, bois, fer, béton)
- escaliers sur arcs
- escaliers suspendus.

A connaître pour les entretenir, pour en faire, pour en inventer d'autres. " 16

¹⁶ GAUTHIER, J.-L., STÉRÉOTOMIE, ÉTUDE DES ARCS, VOÛTES, ESCALIERS – 3^e éd. – Paris : Ecole nationale Supérieure des Beaux-Arts, 1989, p.1

Depois de comparadas algumas definições, pode-se constatar a diversidade de critérios para a classificação do que é, ou pode ser a estereotomia. Numa visão transversal tem-se que a estereotomia está presente na construção, seja por arte, técnica ou ciência de cortar os materiais. No entanto surge também uma visão mais alargada na definição 4. que elucida conceitos de modelagem, atribuição de forma, manuseamento de materiais e transformação da matéria bruta em matéria acabada para posterior utilização com uma finalidade.

Apesar de a definição 3. ser peremptória na afirmação de que apenas a pedra e madeira estão sujeitas a estereotomia, transparecendo que outros materiais de construção que não os citados são impróprios para a construção, é de salientar que se trata de um texto escrito em 1886, e publicado em edição actualizada em 1923, e que pela sua génese está ainda associado a técnicas construtivas muito ligadas ao corte da pedra e da madeira. Na data do referido documento, o betão já era utilizado na construção, embora não com a sofisticação que este material conheceu especialmente durante a segunda metade do século XX, e materiais como a terra crua estavam à data no início do seu declínio.

A definição apontada em 4. surge de um documento também importante e goza de uma maior lucidez no que respeita à definição de estereotomia, uma vez que aponta uma série de campos de aplicação entre os quais alguns dos negados na definição 3., tais como o betão, o aço, etc...

Neste trabalho, o entendimento da estereotomia é apontado como aglutinação dos campos anteriormente citados.

A estereotomia consiste em arte, técnica ou ciência de dar forma aos materiais, independentemente de que material se trata, resultando esta forma de critérios próprios do material, tais como resistência mecânica aos esforços e a eficácia formal que lhe é conferida de maneira a dotá-lo de aplicabilidade. A forma surge como processo de ultrapassar deficiências ou limitações intrínsecas ao próprio material, apresentando duas facetas complementares: a forma global do conjunto e a forma de articulação das partes.

Cada material tem a(s) sua(s) estereotomia(s) própria(s).

A estereotomia apresenta-se assim como ferramenta do estudo da forma dos materiais, sua transformação do estado bruto ao acabado, com o objectivo da sua aplicação/utilização, que deverá ser pelo processo mais eficaz, quer no formato, quer na função, quer na finalidade a que se destina.

Tradicionalmente a estereotomia aparece associada à pedra como material construtivo. Esse capítulo foi desenvolvido especialmente com o estudo da Geometria Descritiva, atendendo ao grau de complexidade que as peças constituintes de uma construção podiam atingir. Por exemplo uma cúpula em pedra cortada pode ter peças com um determinado grau de complexidade, muito embora se for necessário intersectar uma abóbada com a referida cúpula, as peças de intersecção das duas terão uma dificuldade maior.

Enquanto não existiu a disciplina de Geometria Descritiva, com os conceitos da geometria projectiva, a estereotomia da pedra era complexa e apenas se transmitia forma operativa, de mestre para discípulo. Nos dias de hoje é

possível prever a forma dos materiais consoante a sua utilização, bem como determinar com rigor a configuração dos elementos constituintes de um objecto qualquer.

Assim a estereotomia passa não só pelos elementos constituintes de um todo, analisado individualmente, mas sim numa visão alargada do que é a obra como um processo global. Cada material construtivo tem formas específicas consoante as suas características.

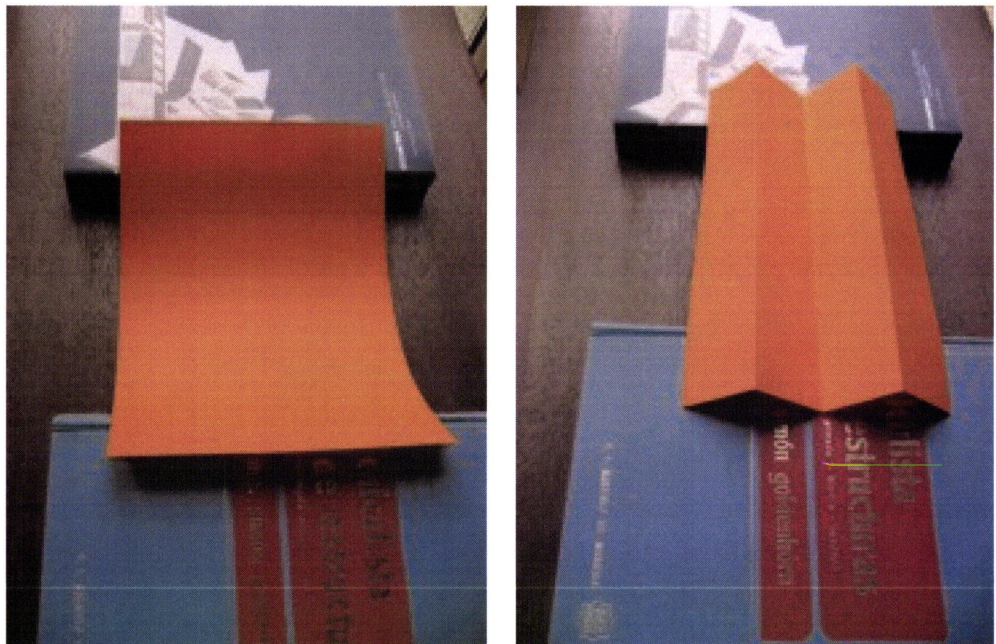


FIG. 1.1 – Uma folha de papel A4 com a sua configuração original não tem resistência para vencer um vão. Dobra-se criando uma curvatura. Se a essa mesma folha de papel for dada uma configuração canelada, a resistência à flexão aumenta. Trata-se de dar uma forma a um material para que este cumpra com maior eficácia uma solicitação qualquer. Esta será assim uma estereotomia do papel – eficácia formal.

Partindo do pressuposto que a construção em terra é uma realidade construtiva, quer do ponto de vista histórico, quer do ponto de vista técnico, quer ao nível da viabilidade sustentável de construção para o futuro, o trabalho que se elabora consiste na análise da sustentabilidade geométrica

das construções em terra, não do ponto de vista apenas estrutural, mas sim, na focagem identificativa de estereotomias do material terra na construção de um universo.

As estereotomias, tal como se refere anteriormente permitem em última instância uma análise semiótica no que respeita à envolvência cultural e até antropológica de uma construção.

Pretende-se assim que a investigação se traduza numa ferramenta útil para a contextualização da construção em terra no âmbito de um universo que se quer rico e sustentável, reconhecendo métodos de construção, os seus materiais, e as geometrias e/ou medidas de suporte.

Para a prossecução do presente trabalho, urge a identificação clara de matrizes de análise das estereotomias existentes, bem como a catalogação das influências geométricas na sua variante simétrica e proporcional.

Atendendo à expressão plástica que o material terra pode proporcionar será evidente a envolvência gráfica que um trabalho desta natureza produz.

Assim produzem-se dois universos conceptuais paralelos que, por um lado consistem na identificação objectiva, pela inerência ao objecto das estereotomias da terra, por inserção gráfica e descritiva dos elementos que a compõem e, por outro da vertente subjectiva na análise da envolvência cultural, geo-morfológica, bio-socio-cultural, e antropológica, enfim numa série de componentes de ordem ecológica, por um lado, e humana, por outro, que na compreensão de um ambiente envolvente a uma comunidade irão identificar uma noção de cultura eventualmente global.

1.6 Da Fronteira

A construção em si deverá ser encarada com o conceito de fronteira. “A casa é um sistema”, sendo que tem uma membrana envolvente que deverá ter características tais que seja capaz de captar energia, mantê-la e ao mesmo tempo capacidade para resistir às condições mais adversas do meio em que se insere. Tal consegue-se através de uma fronteira capaz de resistir a processos de variação e alteração das condicionantes exógenas sem que sofra danos e/ou mutações.

“ fronteira s.f. 1 linha que delimita uma região ou território fixando a sua extensão; estrema; raia; 2 linha de separação entre dois territórios ou países; 3 o que separa duas coisas distintas ou contrárias. ”¹⁷

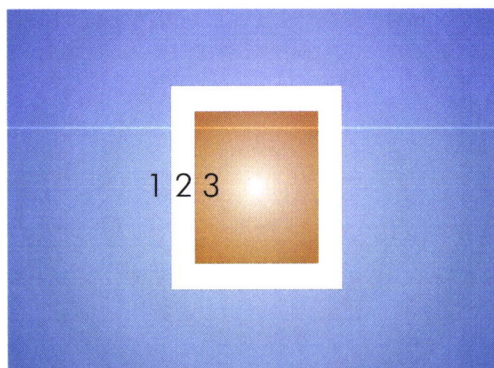


FIG. I.2 – Hierarquização dos elementos condicionadores da fronteira

¹⁷ Op. Cit. (13) - p. 792, col.2, §19

Para melhor compreensão estabeleceram-se três níveis que identificam os constituintes da organização do espaço, sendo eles: o nível 1 – o exterior; o nível 2 – a fronteira; e o nível 3 – o interior.

A existência da fronteira (nível 2) justifica-se pela necessidade da criação do interior (nível 3). O espaço contido é envolvido pelo contentor, e a existência do interior deve-se inequivocamente à existência da fronteira. Esta relação é recíproca. Sem fronteira não existe interior, seja de que tipo for.

No entanto, a fronteira nunca é estanque. Tanto o interior como o exterior (nível 1 e 3) relacionam-se através da fronteira. As relações estabelecidas entre o exterior e o interior condicionam a configuração do contentor/fronteira (nível 2).

Recorda o autor, que numa conferência na qual esteve presente em 1991, no antigo cinema Éden, intitulada “O Ensino da Arquitectura na Actualidade”, na qual um dos oradores foi o Arquitecto Fernando Távora que, na sua intervenção, utilizou uma expressão que ilustra o conceito das relações entre interior versus exterior e suas implicações na referida fronteira, afirmou:

“ (...) a porta era óbvia. A janela é a primeira invenção da Arquitectura. (...)”

Na realidade as mencionadas trocas entre o exterior e o interior fazem-se por portas e janelas, com maiores ou menores diferenças estilísticas umas das outras, sendo no entanto que os vãos existem para basicamente dar acesso, iluminar e ventilar. A porta pode acumular todas as funções, não podendo no entanto uma janela servir de porta.

A configuração do contentor, ou a forma que lhe é dada, depende então de inúmeros factores, entre eles: o meio no qual se insere, com todas as condicionantes climáticas, geo-morfológicas, etc; o material ou materiais construtivos que constituem a materialização da fronteira; e outros factores entre os quais culturas, crenças, etc.

A utilização do material construtivo depende, usualmente, da envolvência cultural em torno da construção, muito embora o raciocínio abstracto que permite a projecção, raciocínio precedente ao acto de construir e antecipação da visualização da forma, seja uma característica universal do homem.

O dito raciocínio abstracto envolve a associação de conceitos como a noção de equilíbrio da forma e da eficácia formal que adiante se descreve.

A aprendizagem do comportamento dos materiais faz-se em parte de uma forma empírica na experiência pessoal de cada um, podendo eventualmente ser transmitida/imitada (dentro dos padrões anteriormente citados para o conceito de imitação).

Assim, a escolha de um material em construção para a realização da referida fronteira, deverá depender de uma avaliação prévia do que são os esforços numa estrutura. Os materiais deverão ser assim uma resposta a uma solicitação, que tem que corresponder ao objectivo determinado.

Entre vários factores que motivam a selecção de um material construtivo, está evidentemente a questão da resistência ou a questão da resposta em concreto aos esforços instalados na estrutura.

A escolha de um material apenas pela sua vertente estética poderá não corresponder à resposta correcta para a solicitação certa.

Neste sentido apreendem-se dois ramos distintos na concepção e materialização de uma obra: um que contém a questão estética em si, a forma pela forma, a construção de um universo supostamente belo, enfim o imaginário da arquitectura – *a ideia, coisa mental* –, outro será obviamente a questão estrutural, existencial com materialidade e existência plena – *a obra, coisa material*.

1.7 Da Estrutura

Estrutura em construção poderá representar algo que organiza, que suporta ou que confere um estatuto de resistência. Numa comparação à Biologia, a estrutura poderá ser um esqueleto – interno, o endoesqueleto em que a estrutura não é aparente por exemplo no ser humano, ou uma situação de exoesqueleto como é o caso do caracol em que o esqueleto é simultaneamente estrutura e protecção.

Em construção existem situações de paredes exteriores autoportantes por exemplo com a construção em terra, ou no período gótico a estrutura sai do próprio edifício, e na construção actual existe uma estrutura de pilar e viga (esqueleto) e posteriormente o revestimento a tijolo ou outro material.

Para MORAIS, António José¹⁸, a relação entre a forma pretendida e o material construtivo surge definida como *Diálogo entre a força e a forma*. O trabalho do referido autor orienta-se para o ensino da cadeira de estruturas,

¹⁸ MORAIS, António José, *A MORFOLOGIA DAS ESTRUTURAS NA CONCEPÇÃO ARQUITECTÓNICA*. – Lisboa: Ecosoluções, 1997.

em especial para arquitectos, e pretende transmitir a relação de reciprocidade entre a estrutura, a forma e os materiais construtivos utilizados.

“ (...) em edifícios de determinado vão, a definição do sistema estrutural confunde-se, coincide, com a própria forma da construção. (...)

Não se trata de saber estabelecer as dimensões estruturais da geometria as denominadas secções estruturais da estrutura; o fundamental é que o arquitecto domine e entenda o modo como a estrutura transporta as forças, desde os pontos onde elas se criam, aparecem, até que chegam ao terreno de fundação, onde finalmente se dissipam. (...)

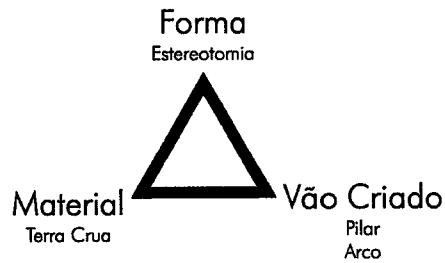
Importa adquirir a consciência de que não é o cálculo, mas a estática gráfica e o princípio da decomposição de forças, que constituem o instrumento operativo na procura conceptual dos sistemas e formas estruturais. (...)

(...) a estrutura reduz a sua acção à função de esqueleto de suporte estático do edifício e, ela própria, determina à partida o resultado plástico da construção. Esta fronteira pode ser ultrapassada com outra postura criativa na função a desempenhar pelo sistema estrutural, que não só forma suporte do edifício, mas também de formas plásticas valorativas da estética do edifício.

(...) É importante entender a tríade de ligações existente entre forma, vão criado e material utilizado. (...)¹⁹

De facto, na construção em terra crua a principal dificuldade construtiva prende-se com o manuseamento de um material segundo as várias finalidades. A tríade citada anteriormente estabelece-se entre o material que é a terra crua, o vão criado/que se pretende criar, e a forma como consequência dos dois factores descritos.

¹⁹ Op. Cit. (18) – p. 15-19



Numa óptica do conceito de estrutura, urge identificá-la em si, e quais os tipos de esforços a que uma estrutura construída está sujeita, condicionando-a na sua forma.

1.7.1 Dos Esforços

Numa estrutura construída podem existir na parte ou no todo, e de uma forma generalista, cinco tipos distintos de esforços, diferenciados essencialmente na sua geração, sendo eles: a *compressão*; a *tracção*; a *flexão*; a *torção*; e o *corte*.

Quando se refere que os esforços incidem na parte ou num todo de uma estrutura construída, pretende-se salientar o facto de uma construção ser um todo e estar sujeito a acções, e que esse todo pode ser constituído por partes que em si também podem ter esforços instalados, inexistentes no todo, com incidência localizada.

A terminologia de “*esforço instalado*” existe com a intenção de referir que um objecto pode estar sujeito a esforços e não aparentá-los, ou seja pode apresentar-se estático e no entanto encontra-se em esforço. Aliás é esse o objectivo das estruturas, criar um objecto que apesar de estar sujeito a forças e esforços, não os aparenta. Ou seja a necessidade da existência de equilíbrio.

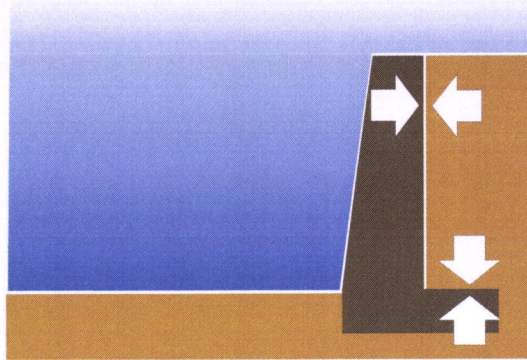


FIG. 1.3 – Representação esquemática de um muro de suporte, e das suas acções/reacções.

Um muro pode estar em esforço por acções como o vento, ou peso próprio, ou mesmo um caso de muro de suporte com a acção da terra e não se identificar a sua reacção – o muro não treme e não oscila. Em esforço estão quer o muro em si, quer os elementos que o compõem.

Assim compreende-se que uma estrutura está sujeita a acções, que conseqüentemente geram reacções. O denominado *par acção – reacção*.

Descrevendo de forma simples os cinco tipos de esforços temos:

1.7.1.1 Compressão

“ **compressão** s.f. 1 acto ou efeito de comprimir; 2 redução de volume; (...)”²⁰

²⁰ Op. Cit (13) p. 394, col.2, §3

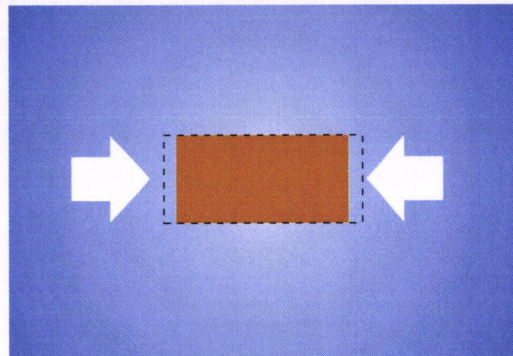


FIG. I.4 – Compressão.

O esforço de compressão é um dos de mais simples entendimento, até por que está directamente relacionado com a gravidade – um corpo simplesmente pousado no solo produz compressão neste.

Uma peça qualquer que esteja sob influência de acções, cuja reacção seja a aparente diminuição de volume da referida peça no sentido das forças, esta está sob efeito de compressão.

Isto significa que se uma peça se encontrar sob acção de duas forças de sentidos contrários com a mesma direcção, sendo os sentidos da periferia para o centro, de forma centrípeta, de tal forma que a reacção seja uma deformação que resulte na diminuição do tamanho inicial, essa peça estará com um esforço instalado de compressão.

Existem materiais que resistem muito bem quando comprimidos, e muito mal com outros esforços por exemplo a pedra é um material que pelas suas características se classificam como compressíveis.

1.7.1.2 Tracção

“ **tracção** s.f. 1 acção de uma força que desloca um objecto, puxando-o; 2 modo de arrastar veículos; 3 acto de puxar, de movimentar; 4 força aplicada a um corpo segundo um eixo, de modo a produzir-lhe um alongamento na direcção desse eixo; (...)”²¹

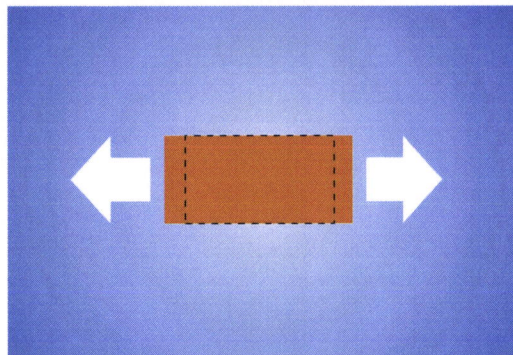


FIG. 1.5 – Tracção.

O esforço de tracção, é um esforço que se poderá entender com o conceito de trabalho – ou seja quando um animal puxa uma carroça produz tracção na carroça.

Uma peça qualquer que esteja sob influência de acções, cuja reacção seja o aparente aumento de volume da referida peça no sentido das forças, esta está sob efeito de tracção.

Isto significa que se uma peça se encontrar sob acção de duas forças de sentidos contrários com a mesma direcção, sendo os sentidos do centro para a periferia, de forma centrífuga, de tal forma que a reacção seja uma

²¹ Op. Cit. (13) - p. 1640, col.2, §8

aparente deformação que resulte no aumento do tamanho inicial, essa peça estará com um esforço instalado de tracção.

Existem materiais que resistem muito bem quando traccionados, e muito mal com outros esforços por exemplo os têxteis são materiais que pelas suas características se classificam como traccionáveis.

1.7.1.3 Flexão

“ flexão [ks] s.f. 1 acto de dobrar ou dobrar-se; 2 estado do que se dobrou ou vergou; (...) 7 MECÂNICA curvatura de uma peça (barra, viga) sob a acção de forças perpendiculares ao eixo longitudinal, aplicadas em pontos onde a peça não está sustentada (...)”²²

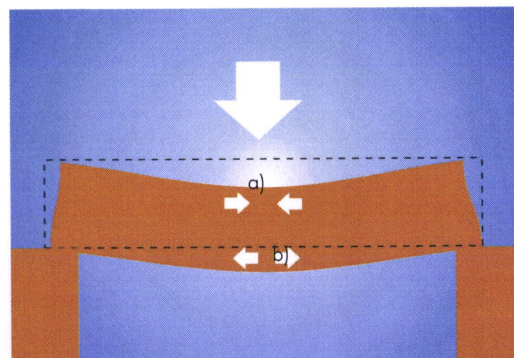


FIG. I.6 – Flexão.

O esforço de flexão pode ser também entendido como uma associação de esforços, e surge na combinação da tracção e da compressão.

²² Op. Cit. (13) - p. 394, col.2, §3

A peça está sujeita a acções com forças de direcções semelhantes, com sentidos opostos, sendo que tendencialmente se deforma criando uma curvatura que origina uma flecha.

Entende-se que os esforços são combinados porque devido à excentricidade das forças e à deformação do material, uma parte da peça está em compressão (a), estando a face oposta em tracção (b). (figura 1.6).

Como exemplo, a madeira, colocando os seus veios na direcção oposta à direcção das cargas, resiste bem ao esforço de flexão, sendo usualmente utilizada no vencimento de vãos. Caso se coloque a madeira com os veios paralelos às cargas, esta quebrar-se-á facilmente.

Devido ao facto de a madeira ser um material cuja resistência é diferente nos vários sentidos, classifica-se como anisotrópico.

1.7.1.4 Torção

“ torção s.f. 1 acto de torcer; 2 estado de coisa torcida; 3 torcedura; ENGENHARIA esforço de ~ esforço numa secção caracterizado pela existência de um momento relativamente ao seu centro de gravidade (...)”²³

²³ Op. Cit. (13), p. 1633, col.1, §5

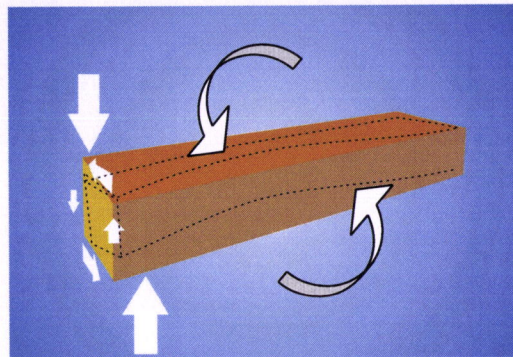


FIG. 1.7 – Torção.

O esforço de torção, tal como o nome indica surge na aplicação de forças cuja deformação na peça assume características circunferenciais, ou seja a peça deforma-se tendencialmente por empeno produzindo superfícies de dupla curvatura.

Os esforços instalados na peça podem resumir-se a forças de direcção circunferencial, semelhantes ao corte. A torção é um esforço tangencial, e aplicados a uma secção em particular. Apenas existem tensões tangenciais no interior das peças.

1.7.1.5 Corte

“ corte s.m. 1 acto ou efeito de cortar; 2 incisão, golpe; 3 gume de instrumento; 4 fenda; 5 modo de talhar; (...) 9 interrupção. (...)”²⁴

²⁴ Op. Cit. (13), p. 438, col.2, §8

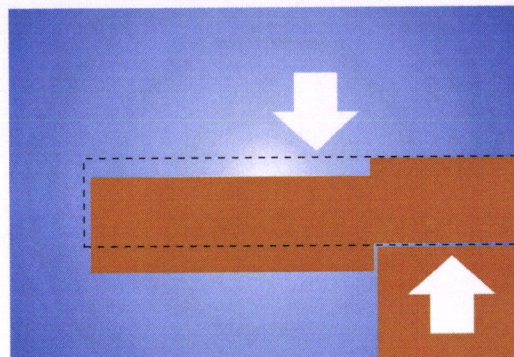


FIG. 1.8 – Corte.

Consiste este num esforço transversal que tendencialmente produz uma secção. Forças de direcções semelhantes com sentidos opostos podem produzir o que graficamente se traduz em corte.

1.7.2 Famílias Estruturais Tipo

Resumidamente será de referir que com a classificação simplista dos tipos de esforços em estruturas, não se pretende elaborar um tratado de engenharia e de mecânica de materiais, mas sim demonstrar que os materiais pelas suas características condicionam de forma decisiva a sua aplicação, criando estruturas reais, com existência, e figuras-tipo de estruturas (família de estruturas), que resultam da associação de materiais construtivos ao próprio conceito de estrutura, originando como consequência famílias/grupos de estruturas.

Para SAMYN, Philippe²⁵, o nome das figuras tipo das estruturas é limitado, inversamente ao que acontece com os materiais com que elas se podem trabalhar.

Apesar de não ser possível passar de uma estrutura virtual para uma real sem lhe associar um material construtivo, certo é que a sua teorização se faz através de conceitos simples, intuitivos, originando desta forma definições de figuras estruturais também elementares.

Assim, as estruturas base são: a coluna/pilar e o arco em compressão; o tirante e o arco invertido (corrente) em tracção; e a viga em flexão. Acrescenta-se também que as figuras associadas ao corte e torção não devem ser consideradas como figuras base, ma vez que derivam das anteriormente citadas.

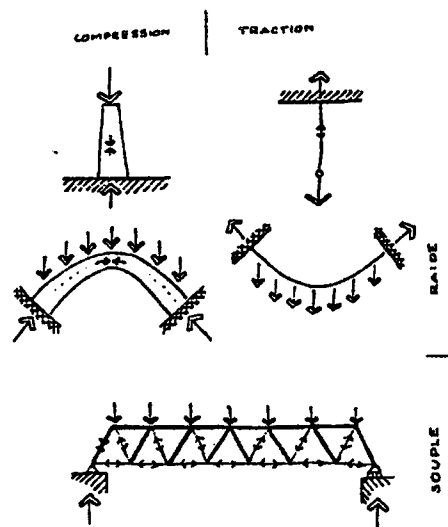


FIG. I.9 – Figuras estruturais tipo²⁶

²⁵ SAMYN, Philippe, *PRINCIPES DE CONSTRUCTION*, Bruxelles : EBAUCHE, Institut Supérieur d'Architecture Saint-Luc Bruxelles, 1993

²⁶ Op. Cit. (25) p. 29

Acrescenta-se também que as estruturas dependem de factores, para além dos citados (materiais de construção, meio onde se insere, etc.), de outros dois factores: do equilíbrio; e da eficácia formal.

1.7.3 Do Equilíbrio

De uma forma geral o equilíbrio define-se por:

“ equilíbrio s.m. 1 MECÂNICA estado de um corpo em que as forças sobre ele aplicadas contrabalançam mutuamente os seus efeitos, etc.; 2 igualdade entre forças, quantidades; 3 proporção harmoniosa entre as partes constituintes; (...); ~ estável equilíbrio de um corpo que, desviado ligeiramente da sua posição, a retoma quando cessar a causa do desvio; (...); estado de ~estado em que as propriedades observáveis de um sistema não variam com o tempo. (...)”²⁷

Acrescenta-se às definições apresentadas, que se consideram correctas e com aplicação às estruturas, que o equilíbrio não implica de forma alguma a existência de simetria, seja por translação, rotação ou mesmo reflexão²⁸.

O equilíbrio estrutural físico pode englobar conceitos elementares do equilíbrio de forças, ou pode até tratar-se de um equilíbrio visual, seja da cor, da forma, ou de ambas.

²⁷ - Op. Cit (13) p. 643, col.1, §5

²⁸ - ALSINA, Claudi, TRILLAS, Enric, LECCIONES DE ALGEBRA Y GEOMETRIA, CURSO PARA ESTUDIANTES DE ARQUITECTURA. 2. Ed – Barcelona: Gustavo Gili, 1984

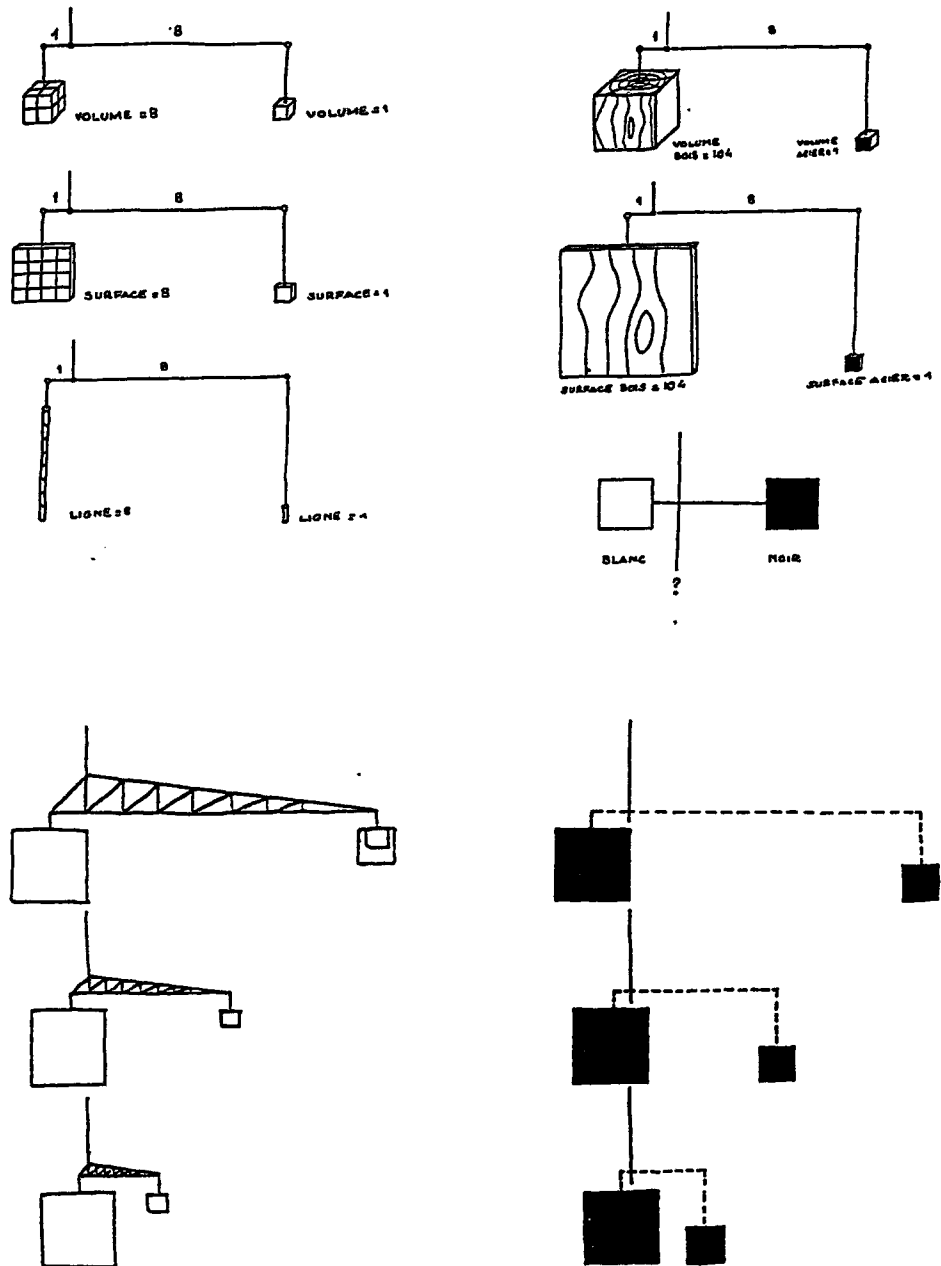


FIG. 1.19 – Equilíbrio de formas, volumes, áreas, cor, etc. ²⁹

²⁹ Op. Cit (25) p. 31

1.7.4 Da Eficácia formal

Consiste esta característica na obtenção de uma forma na estrutura, na sua vertente geométrica ou orgânica, que cumpra com o melhor desempenho possível, resistência às acções (forças) a que irá estar sujeita.

Na Arquitectura o peso próprio das estruturas predomina em relação às sobrecargas³⁰. É evidente que o maior esforço instalado na estrutura será de compressão em relação ao solo, e a sua eficácia será geometricamente melhor quanto maior a sua verticalidade (gravidade), melhorando assim o encaminhamento das forças aplicadas até ao solo.

Sempre que exista um desvio da trajectória das forças aplicadas na estrutura, seja ela por abertura de vãos, seja por geometrias/configurações que gerem desequilíbrio, deverá ser executado um trabalho suplementar no sentido de reduzir as consequências do referido desvio ao efeito mínimo sobre a estrutura.

De uma forma geral a eficácia formal de estruturas resistentes à tracção ou à compressão têm características inversas, até pelo carácter antagónico do tipo de esforços.

³⁰ Op. Cit. (18)

Verifique-se o quadro seguinte, exemplificativo das eficácias formais para a tracção e compressão:

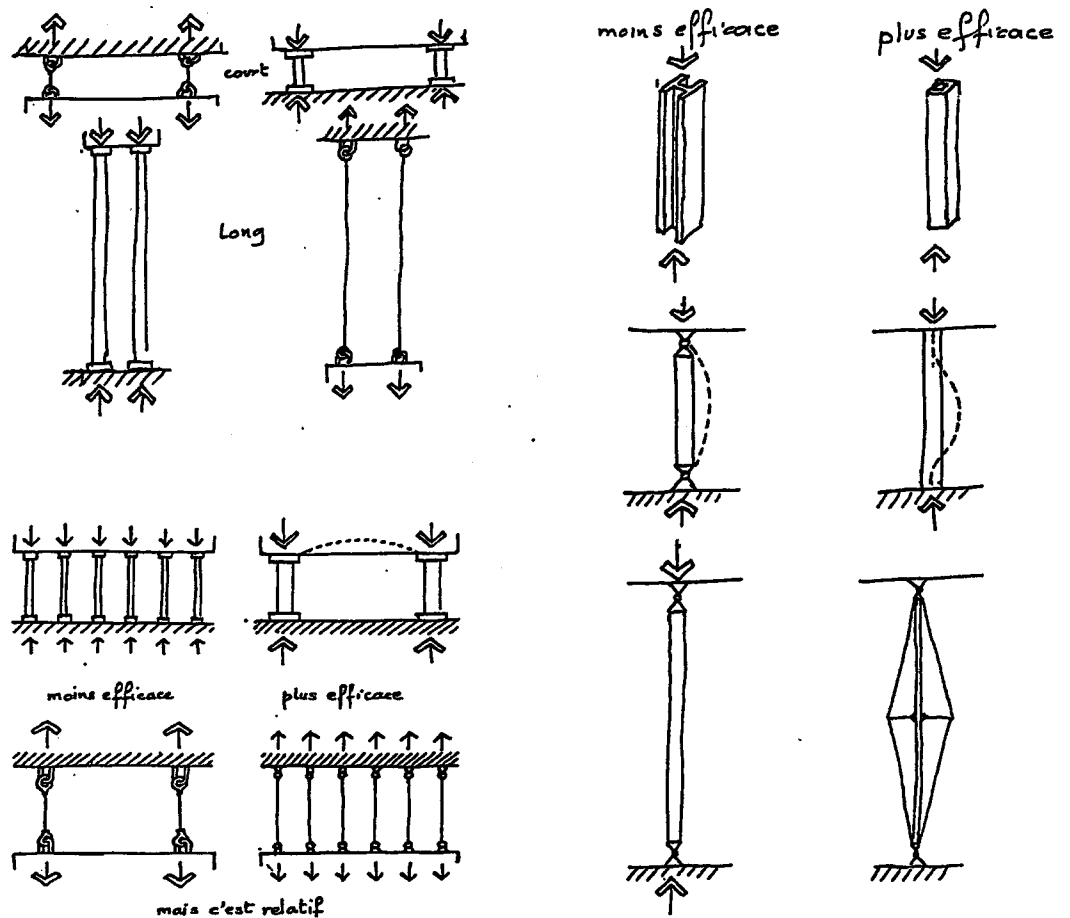


FIG. I.11 – Eficácia Formal para a tracção e compressão – Menos eficaz à esquerda, e Mais eficaz à direita. Raciócinio comparativo/correctivo.³¹

As imagens apresentadas reflectem algo que é apreensível por sensibilidade, não obstante uma certa relatividade que poderá existir no que concerne aos

³¹ Op. Cit. (25) - p. 33.

outros factores que foram enunciados como inerentes à concepção da estrutura.

Para a flexão, e apesar de esta resultar de uma combinação de esforços, verifique-se a imagem seguinte:

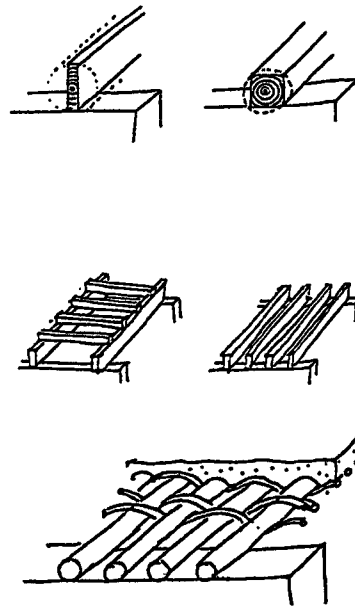


FIG. I.12 – Eficácia formal para a flexão.³²

As situações à esquerda apresentam maior eficácia formal do que as à direita. Um barrote quadrado pode ser menos eficaz na flexão que o rectangular colocado ao cutelo, mesmo que a área da sua secção seja menor, ou o entramado colocado no menor vão produz uma flecha menor. Os elementos quando interligados entre si distribuem melhor as cargas, encaminhando-as de forma mais eficaz.

³² Op. Cit (25), pg. 34.

Em resumo pode-se elaborar um quadro esquemático de classificação de materiais de construção quanto ao seu comportamento aos esforços citados, bem como o seu enquadramento no que respeita à figura tipo de estruturas a que pertence ou que poderá pertencer.

Material ³³	Tipo de esforços a que melhor resiste	Família ou figura estrutural tipo
Pedra	Compressão	Parede/Pilar/Coluna Arco/Abóbada/Cúpula
Madeira	Flexão	Viga
Têxteis	Tracção	Tirante/arco invertido
Aço	Flexão	Viga
Terra	Compressão	Parede/Pilar/Coluna Arco/Abóbada/Cúpula

Quando se menciona que um material resiste de forma favorável à flexão, subentende-se, tal como referido anteriormente que a sua resistência aos esforços de compressão e tracção também é favorável.

Aliás, no caso da madeira e do aço são realizadas notórias construções na qual se utilizam pilares, vigas, tirantes com os referidos materiais. Acrescenta-se que a eficácia formal define também a sua família ou figura estrutural tipo, por exemplo uma corrente em aço resiste na forma de tracção (tirante ou arco invertido), já um perfil metálico pode resistir à compressão (sob a forma de pilar).

³³ GOLDENHÖRN, Simón, *CALCULISTA DE ESTRUCTURAS – HORMIGÓN ARMADO, HIERRO Y MADERA*, 13ª edición. - Buenos Aires: Editorial H. F. Martínez de Murguía S. A. C. Y E., 1973

A madeira por sua vez pode ser aplicada nos mesmos conceitos anteriormente citados. Para melhor ilustração das condicionantes da forma (eficácia formal) nos materiais madeira e aço salienta-se por exemplo a asna (treliça).

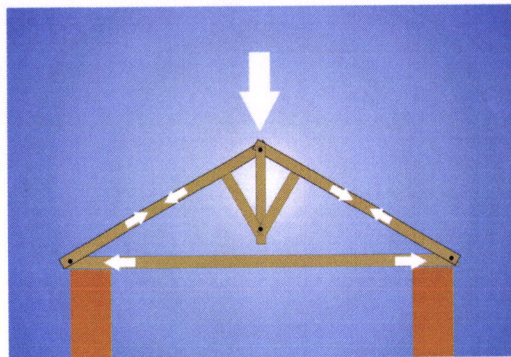


FIG. 1.13 – Exemplo de uma asna. Note-se que peças diferentes têm esforços diferentes.

O que se pretende apresentar com este quadro classificativo, bem como com a exposição acerca da temática da eficácia formal, do equilíbrio, dos tipos de esforços, ou da família estrutural tipo, é que apesar de existirem um número quase infinito de materiais construtivos, a família estrutural tipo é muito limitada na sua classificação, e que o material que se pretende apresentar, a terra crua como material construtivo, se situa no grupo dos materiais compressíveis, ou seja no leque de família tipo de estruturas de Parede/Pilar/Coluna/Arco/Abóbada/Cúpula.

O material terra goza de características semelhantes à pedra no que toca à sua materialidade, até porque na sua génese a pedra está presente. A terra pode ser vista como um derivado da rocha.

Capítulo 2

A Terra como material de construção

2.1 A terra

A terra é uma mistura de partículas sólidas de granulometrias diversas originadas por transformações de rochas sob a influência de processos físicos, químicos ou biológicos. Como resultado desta visão pode-se subentender que o solo é um betão de terra, também definido por betão magro. A terra ou o solo é uma natural evolução da rocha sólida.

Para CERQUEIRA, Joaquim, o solo define-se como “ (...) *um corpo natural, sujeito a evolução, resultante da acção conjunta do clima e dos seres vivos sobre as rochas, de acordo com determinadas condições topográficas, durante um certo período de tempo.*”¹

¹ CERQUEIRA, Joaquim M. , SOLOS E CLIMA DE PORTUGAL. – Lisboa: Clássica Editora, 1992. pg. 9, §6

Da mesma forma que um betão contém gravilhas, areias e cimento, sendo este último o elemento aglutinador, o solo contém também inertes de características semelhantes às do betão, bem como elementos aglutinadores, que adiante se descrevem.

A terra quando em contacto com o ar endurece e seca, e ao invés do betão (à base de cimento) ou do estuque (à base de cal), a terra depois de endurecida pode voltar ao estado plástico através da adição de água. Este processo pode ser executado repetidamente sem que perca as suas propriedades e qualidades. Esta característica confere-lhe um aspecto ecológico atendendo a que pode ser indefinidamente reciclada.²

A solubilidade da terra é uma das condicionantes que justifica a sua maleabilidade, sendo simultaneamente um dos seus maiores defeitos.


2.2 Componentes do solo

A terra é formada por componentes sólidos, água e ar. Nos componentes sólidos à partida, depois de breve observação, podem-se identificar duas espécies de constituintes, tais como detritos orgânicos e detritos rochosos: a matéria orgânica; e a matéria mineral.

2.2.1 Matéria Mineral

A matéria mineral, ou detritos rochosos, proveniente da desagregação das rochas, sob a acção de diversos agentes dividem-se em cinco categorias, consoante a sua dimensão (granulometria), sendo elas:

² SCHRECKENBACH, Hannah. *BUILDING WITH EARTH* [em linha]: *consumer information*. Weimar : Dachverband Lehm, 2004 [referência de 4 de Novembro de 2004]. Disponível na Internet em: <http://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_consumerinfo_gb.pdf>.

	Pedras, Seixos ou Calhaus	Cascalhos, Gravilhas e Saibros	Areias	Lodos, Limo ou Nateiro	Argila
Diâmetros em mm	Ø 200 mm a 20 mm	Ø 20 mm a 2 mm	Ø 2 mm a 0,02 mm	Ø 0,02 mm a 0,002 mm	Ø 0,002 mm a 0 mm

Nota: ASTM AFNOR standards a classificação inferior das areias e a superior do Limo, não é de 0,02 mm mas sim 0,06 mm. Tomou-se como correcta a classificação apresentada no quadro.³

As granulometrias a considerar para a construção em terra crua deve em princípio excluir os diâmetros superiores a 20 mm.

Dos grupos assinalados, aqueles que representam maior expressão para a construção em terra crua são as areias e as argilas, cujas principais características são:

Areias	Argilas
Permeabilidade	Impermeabilidade
Mabilidade	Plasticidade
Fraco poder de retenção de água	Forte poder de retenção de água
Fraco poder de retenção de elementos nutritivos	Forte poder de retenção de elementos nutritivos
Fácil manuseamento/trabalho	Difícil manuseamento/trabalho (pastoso)
Fraca adesividade das partículas constituintes umas às outras	Forte adesividade das partículas constituintes umas às outras

³ MAÏNI, Satprem. AUROVILLE EARTH INSTITUTE [em linha] : *Earth as a raw material*. Auroshilpam: Auroville Earth Institute, 2004 [referência de 1 de Setembro de 2004]. Disponível na Internet em: <http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/Earth-raw-material.pdf>.

A combinação dos dois componentes citados, areia e argila, fazem com que se possam obter boas condições para a construção com o material terra.

2.2.2 Matéria Orgânica

A matéria orgânica, ou detritos orgânicos, provêm dos restos de animais e vegetais, tais como dejectos (estrume), animais mortos, folhas, raízes, ramos, entre outros.

Estes compostos orgânicos são decompostos pela acção de seres vivos, geralmente microorganismos designados de decompositores (bactérias, fungos, etc.) que pela sua acção originam o húmus.

O húmus pode ter utilização na terra de construção, muito embora, na maioria das técnicas construtivas a sua presença não seja desejada.

2.3 Propriedades fundamentais do solo

Tratando-se das principais propriedades do solo, com vocação para a sua utilização como material construtivo, apresentam-se apenas as suas características físicas, não se excluindo a hipótese de haver correlação entre as propriedades químicas e biológicas do solo e a construção em terra crua.

Neste sentido as propriedades físicas do solo que pendem de forma directa na sua capacidade de utilização para a construção, dividem-se em: peso específico; textura; estrutura; coesão; tenacidade; plasticidade; adesividade; permeabilidade; capilaridade; poder de absorção; exposição e cor.

2.3.1 Peso específico

Trata-se do peso do solo por unidade de volume. Uma vez que existem solos mais ou menos compactados, o peso específico é analisado de duas formas: pelo **peso específico aparente**, que é calculado a partir do solo tal como ele se encontra, ou o **peso específico real** em que o solo é analisado laboratorialmente e se mede o peso do solo por unidade de volume, apenas para as partículas sólidas.

Esta propriedade serve para análise do solo quanto ao seu tipo, ou mesmo de modo a estudar a sua maneabilidade. Usualmente atribui-se a um terreno arenoso a qualidade de ser leve, e a um argiloso a de ser pesado. Na realidade dá-se o inverso, um terreno argiloso é mais leve que um arenoso. Tal deve-se ao facto de análise ser empírica e atribuída à sua facilidade em ser trabalhado.

2.3.2 Textura

Esta é a propriedade que identifica o solo em si, através das proporções das diferentes classes de partículas que o constituem.

Para a classificação dos solos, são considerados apenas os três grupos de granulometrias inferiores: a areia; o limo; e a argila. A combinação das proporções das partes que compõem o solo classifica-o quanto ao seu tipo de estrutura. Para tal utiliza-se uma tabela de três entradas, neste caso designada por diagrama de texturas de solos.

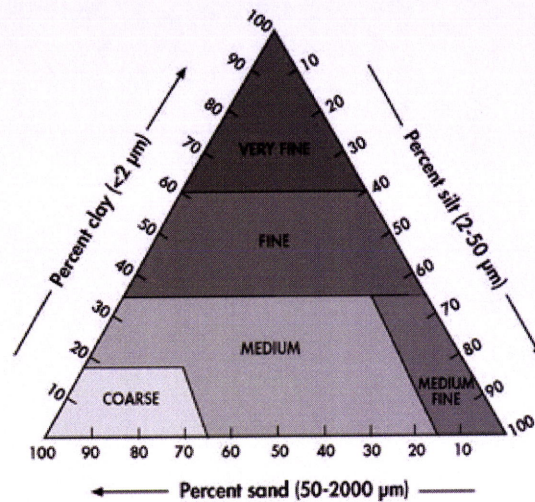


FIG. II.1 – Diagrama de Classificação de Textura de Solos. Classificação dos três elementos constituintes na versão anglófona: SAND (areia); CLAY (Argila); e SILT (Limo; Lodo; ou Nateiro).⁴

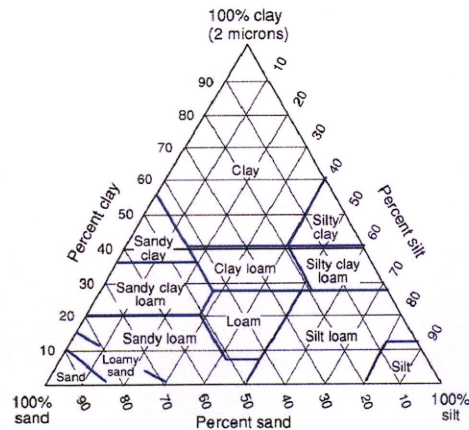


FIG. II.2 – Diagrama de Classificação de Solos segundo a sua textura. Classificação dos três elementos constituintes na versão anglófona: SAND (areia); CLAY (Argila); e SILT (Limo; Lodo; ou Nateiro).⁵

⁴ - CAMPBELL, Colin D., EUROPEAN SOIL MAP TEXTURE TRIANGLE, HYdraulic PROPERTIES of European Soils. -THE MACAULAY LAND USE RESEARCH INSTITUTE, 2004 [referência de 11 de Setembro de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.macaulay.ac.uk/hypres/soil.html>>.

⁵ JOHNSON, Howard, SOIL TEXTURE DIAGRAM, PHYSICAL AND EARTH SCIENCES, Jacksonville State University, Jacksonville, 2004 [referência de 11 de Setembro de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.jsu.edu/depart/geography/mhill/phylabtwo/lab12/soiltextdiag.html>>

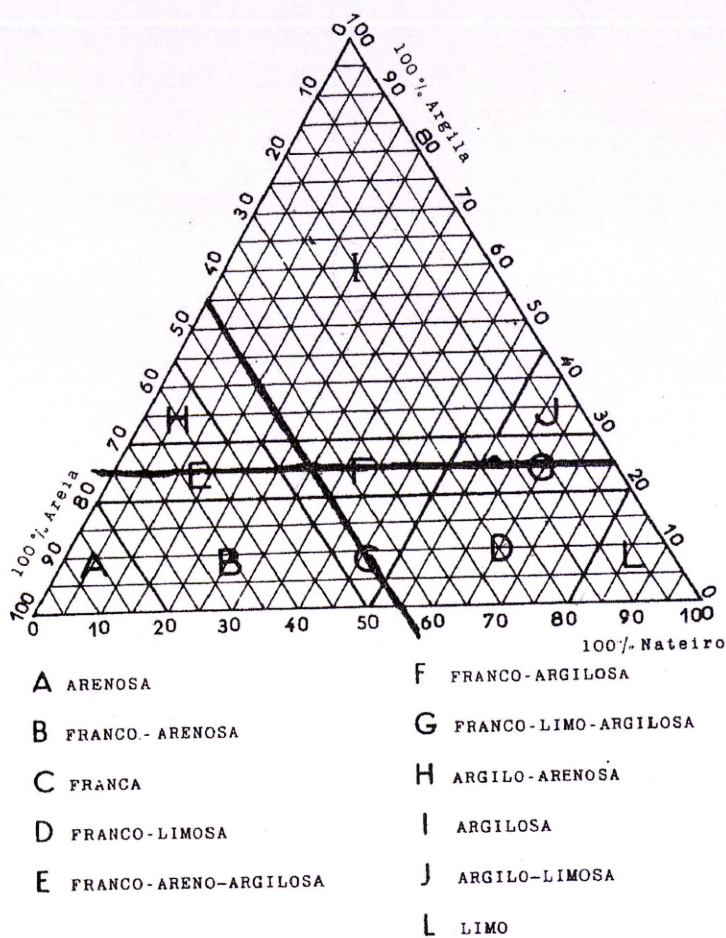
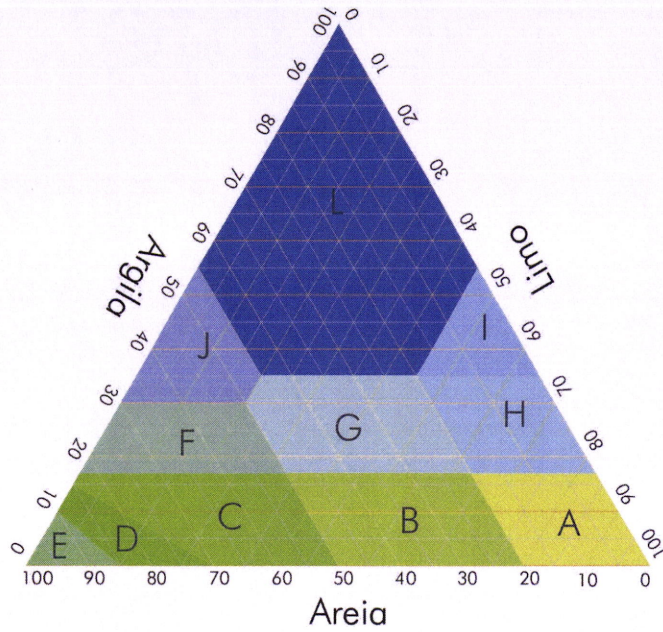


FIG. II.3 – Diagrama de Classificação de Textura de Solos da Direcção Geral de Serviços Hidráulicos segundo a sua textura. Classificação dos três elementos constituintes na versão portuguesa: AREIA; ARGILA; e NATEIRO.⁶

⁶ Op. Cit (1) - p. 24



Designação do tipo de solo quanto à textura	
A	LIMOSO
B	FRANCO-LIMOSO
C	FRANCO-ARENOSO
D	ARENOSO-LIMOSO
E	ARENOSO
F	FRANCO-ARENO-ARGILOSO
G	MARGA OU FRANCO-ARGILOSO
H	FRANCO-LIMO-ARGILOSO
I	ARGILO-LIMOSO
J	ARGILO-ARENOSO
L	ARGILOSO

FIG. II.4 – Diagrama de Classificação da Textura de Solos resultado da sobreposição dos quadros anteriormente apresentados. [Argila >30% - Solos argilosos]; [Areia > 80% - Solos arenosos] ;[Limo > 50% e Areia > Argila - Solos francos]; [Limo < 50% e Argila < 20% - Solos francos]

2.3.3 Estrutura

A estrutura dos solos é a forma como as partículas se agrupam, originando agregados de dimensões diversas e formas variáveis, sendo que a ligação entre as partículas é mais forte que a existente entre os agregados.

Os solos arenosos são soltos, e os solos argilosos são maciços.

2.3.4 Plasticidade

Entende-se por plasticidade do solo, a capacidade que este tem em ser deformado sem que resulte na sua falência elástica. Esta característica é das que mais influencia a capacidade do solo ser modelado ou moldado. No fundo esta propriedade serve essencialmente para identificar a existência de argilas no solo, uma vez que a plasticidade é uma característica que lhes é própria.

2.3.5 Coesão

Trata-se de uma característica que está directamente associada à plasticidade que consiste na capacidade que os elementos constituintes do solo têm em permanecer ligados entre si. A coesão do solo justifica a utilização da terra como material construtivo segundo técnicas específicas. Não havendo coesão não é possível por exemplo executar um reboco de terra.

2.3.6 Tenacidade

A tenacidade do solo consiste na resistência que a terra opõe à penetração dos instrumentos. Trata-se de uma consequência da coesão.

2.3.7 Adesividade

A propriedade, em virtude, que a terra tem a aderir. Esta propriedade tem especial relevância em áreas como adesividade aos instrumentos de trabalho, ou mesmo na sua aplicação em construção.

A adesividade tem correlação directa com a coesão e com a plasticidade do solo.

As terras muito tenazes (com muita tenacidade), e muito coesivas oferecem bons apoios estruturais de base para o crescimento de plantas, e mesmo para construção, evitando deslizamentos de solo, mais frequentes em solos arenosos do que argilosos.

2.3.8 Permeabilidade

Esta propriedade caracteriza-se pela maior ou menor facilidade com que as terras deixam passar a água e o ar.

A permeabilidade está directamente relacionada com o peso específico dos solos, uma vez que a diferença entre o peso específico real e o peso específico aparente permite avaliar a quantidade de espaços vazios existentes num volume de solo.

Na utilização da terra como material de construção a boa capacidade de absorção de humidade do ar permite trocas entre um paramento e a atmosfera, o que proporciona ambientes muito estáveis do ponto de vista higrométrico.

Através dos poros das paredes em terra crua é possível estabelecer um mecanismo de equilíbrio de libertação/absorção de humidade em função das diferenças higrométricas entre a parede e a atmosfera.

Este fenómeno leva a que se acrescente que para que exista o referido equilíbrio higrométrico é necessário que as paredes não sejam impermeabilizadas com tintas ou revestimentos à base de resinas e óleos, entre outros impermeabilizantes.

A boa capacidade de absorção de humidade faz com que as construções em terra crua não devam contactar de forma prolongada com água.

2.3.9 Capilaridade

A capilaridade trata-se da propriedade pela qual os líquidos se podem elevar em tubos muito finos. A subida dos líquidos é tanto maior quanto menor seja o diâmetro dos referidos tubos.

As terras muito finas têm um maior grau de capilaridade.

À capilaridade da terra associam-se patologias da construção tais como as eflorescências, vulgo "*salitre*".

2.3.10 Poder de Absorção

Trata-se esta propriedade da capacidade que a terra tem em absorver a água ou reter a humidade. Esta característica tem óbvia relação com a capilaridade e com a permeabilidade.

Esta característica funciona na construção como “baterias” de humidade, ou seja, a parede tem capacidade de armazenar água sob a forma de humidade, para posteriormente a libertar para a atmosfera. A par deste fenómeno está também uma interessante característica que, apesar de aparentemente se tratar de um contra-senso, constitui uma vantagem para a utilização da terra como material construtivo. Quando se associa a terra crua à madeira, esta tem maior durabilidade uma vez que a terra tem uma capacidade de absorção maior. Este fenómeno faz com que as madeiras não apodreçam tão facilmente.

2.3.11 Exposição

A textura dos solos a par com a cor e com a exposição solar, influencia de forma decisiva a capacidade térmica dos mesmos. Aliás, essa capacidade é das que melhores características confere à eleição da terra como material de construção. As terras voltadas a Sul aquecem mais rapidamente que as voltadas a Norte, Nascente ou Poente. Contudo terrenos mais arenosos, são mais fáceis de trabalhar, são mais permeáveis e aquecem facilmente. O inverso acontece para os solos argilosos, sendo os solos francos aqueles que têm propriedades intermédias.

Esta característica da exposição faz com que seja necessário escolher as encostas com boa exposição não só para a agricultura como também para construção, e leva também a que seja necessário ponderar a orientação das construções em si.

Quanto maior o grau de obliquidade dos raios solares com as superfícies de projecção, menor o aquecimento produzido nestas atendendo a que a secção produzida no feixe de luz se traduz num área maior, logo o potencial calorífico distribui-se por uma área maior produzindo um menor aquecimento.

A capacidade térmica da terra faz com que esta absorva calor, e que o liberte posteriormente. Este efeito de acumulador permite uma libertação retardada o que quando utilizado segundo princípios construtivos de arquitectura solar passiva contribui para um equilíbrio térmico da construção.

A par das boas características térmicas da construção em terra está, também, a boa resistência acústica. Na era actual, o isolamento acústico é apontado como um indicador de conforto habitacional.

A protecção acústica dos edifícios é cada vez mais solicitada em processos de licenciamento de obras cujas regras são cada vez mais exigentes.

É também apontado por estudos científicos recentes que a terra como material construtivo em comparação com outros materiais tem boas características de isolante de radiações electromagnéticas de alta-frequência, do tipo das que são emitidas por redes de comunicações sem fios.

Esta propriedade da terra permite não só protecção contra eventuais efeitos nocivos para a saúde das referidas radiações, como, e atendendo à evolução exponencial da existência de telemóveis, a protecção de escolas, salas de espectáculo, bibliotecas, entre outras construções onde a utilização do telemóvel é indesejada.

2.3.12 Cor

A cor da terra depende não só dos seus elementos constituintes como também dos factores que influíram na sua formação.

Trata-se de mais um processo de identificação e classificação de solos.

A terra, atendendo ao seu processo de geração, tem cores diferentes consoante a maior ou menor existência de matéria orgânica cuja coloração é quase preta, ou pode ter maior ou menor grau de pigmentos vermelhos e amarelos, originários do óxido de ferro, entre outros compostos que são formados durante a sua evolução.

A cor pode assim condicionar outros factores já anteriormente abordados, tal como o aquecimento. Cores mais escuras absorvem maior quantidade de radiação (reflectem menos radiação) e conseqüentemente aquecem mais.

Esta característica influi na construção com o material terra, na medida em que se pode e deve tirar proveito estético da cor dos solos na sua aplicação em construção de terra crua.

No entanto, é praticamente impossível encontrar solos com cores iguais em todo o lado. Acontece mesmo não ser possível na mesma área encontrar terra com cor constante. Uma pequena variação nos amarelos pode chegar às cores castanhas, e estas às cores avermelhadas. Assim, e uma vez que existe alguma subjectividade na análise visual da cor da terra, existem tabelas de cores internacionais que permitem com objectividade atribuir uma característica própria à cor.

As **Munsell Color Charts** são tabelas de classificação de cor, e existem na variante específica de **Munsell Soil Color Charts** que consistem em tabelas de classificação de cores de solos, e que através delas é possível conhecer o tipo de solo, associando-se assim às características de textura e estrutura de solos.

As tabelas de pigmentos e cores são usadas para inúmeros fins, nomeadamente para tintas.

O aspecto estético do material terra deve ser incluído nos pressupostos da sua utilização em obra, bem como no processo conceptual da arquitectura. A terra pode ser ocultada por rebocos, revestimentos diversos ou tintas, mas pode ser também assumido como símbolo cultural, tecnológico e simultaneamente ecológico.

2.4 Qualidade da terra como material construtivo

Pelas razões anteriormente enunciadas no que concerne ao processo de formação do solo, bem como atendendo às propriedades do mesmo, verifica-se que a qualidade dos elementos aglutinantes, a argila e o limo, condicionam de forma decisiva a utilização da terra como material construtivo.

Através de inúmeras experiências desenvolvidas, não só de forma empírica por uns, como de forma científica⁷ por outros, estudou-se a forma de atribuir à terra características optimizadas no seu comportamento como material de construção, tal como a estabilização da argila e do limo com a água, de forma a retardar a sua solubilidade, aumentando a qualidade construtiva e diminuindo os encargos com a sua manutenção.

⁷ Salientam-se as associações CRATerre; Auroville; e a Escola Profissional de Serpa ou mesmo particulares como o Arq.º José Alegria. Estes últimos apoiaram este trabalho fornecendo informações consideradas relevantes para a prossecução do mesmo.

A esta propriedade de melhorar as características do material designa-se por estabilização.

Os estabilizantes mais utilizados são o cimento e a cal. Existem outros, tal como produtos químicos, resinas ou produtos naturais, muito embora utilizados com menor expressão.

A função principal dos estabilizantes é a de aumentar a coesão dos elementos constituintes do solo, permitindo também um maior contacto das construções em terra com a água. Em todo o caso, e tal como se enunciou no início do capítulo a solubilidade da terra é uma das características que lhe confere um estatuto especial, e a utilização excessiva de estabilizantes pode comprometer irreversivelmente a capacidade de reciclagem da terra.

O uso de estabilizantes está directamente relacionado com a qualidade do solo, e com a técnica construtiva a utilizar. No entanto nem sempre é necessário recorrer a este processo, especialmente quando se preveja que não existirá contacto prolongado com água e sempre que exista preocupação na fase conceptual da obra, com projectos bem elaborados, proporcionando-lhes uma configuração e exposição adequadas ao material com que se trabalha. Associado a isto poderá estar uma manutenção cuidada, e acima de tudo prevista.

2.4.1 Principais estabilizantes

2.4.1.1 A cal

A cal deverá ser utilizada sempre que o solo tenha textura muito argilosa. No entanto este processo de estabilização enferma do excessivo tempo que demora a fazer preza e a solidificar a terra.

A percentagem usual de estabilização com cal situa-se entre os 2% e os 10%, sendo a que menos compromete na sua utilização o valor de 6%.

2.4.1.2 O Cimento

O cimento deve ser utilizado preferencialmente em solos arenosos e sempre que se pretenda obter uma maior resistência do material em pouco tempo.

A percentagem usual de estabilização com cimento é relativamente baixa e situa-se entre os 3% e os 8%, sendo a sua utilização mais frequente no valor de 5%.

2.4.1.3 Componentes orgânicos

Os componentes orgânicos mais utilizados na estabilização da terra, são a palha, e os excrementos de animais especialmente de vaca ou cavalo devido ao elevado teor de fibras não digeridas.

A função principal deste estabilizante é a de introduzir fibras vegetais que servem de elemento ligante para que a terra ganhe coesividade. As fibras têm especial importância na diminuição da fendilhação das alvenarias ou dos blocos.

2.5 Análise sensitiva do solo

Atendendo que a construção em terra crua tem uma certa componente empírica na sua aplicação, considera-se conveniente que exista a capacidade de se reconhecer os tipos de solos de forma expedita, sem ser

necessário elaborar análise laboratoriais. Salienta-se no entanto que a análise de solos em laboratório são exigíveis para um controlo de qualidade e garantia dos processos construtivos.

Granulometria	Visão e tacto	Pegar numa amostra de solo, seca ou húmida e sentir a existência de grãos e sua dimensão. As areias têm maior granulometria.
	Lavagem	Ao lavar o solo de modo a remover a argila e o limo, observar a quantidade de areias que permanecem.
Compressibilidade	Tacto/pressão	Com uma amostra de solo húmida, apertá-la de modo a criar uma bola e verificar quanta pressão é necessária a moldar.
Plasticidade	Moldar	Adicionar um pouco de água criando uma bola coesiva. Observar o grau de dificuldade em moldá-la e quanto elástica é.
	Esticar	Na amostra de terra, esticá-la até que rompa. Verificar o grau de dificuldade em rompê-la. Quanto maior a deformação sem romper, maior a plasticidade.
Adesividade	Espetar faca	Espetando uma faca na amostra, se ao retirá-la vier com terra agarrada, significa que é adesiva.
	Cortar	Ao cortar a amostra verificar o aspecto do corte. Se for homogéneo trata-se de um solo adesivo e coesivo.
Absorção	Absorção de água	Com o dedo abrir um buraco na amostra e enchê-lo de água. Avaliar quanto tempo a água demora a ser absorvida
Coesividade	Diluição	Ao adicionar mais água ao solo, verificar a quantidade que permanece na mão. Se permanecer bastante trata-se de um solo coesivo.
Húmus	Olfacto	Cheirar a amostra de solo húmida. Se existir húmus sentir-se-á um cheiro bolorento.

2.6 Associação de solos às técnicas construtivas

Para a utilização da terra como principal material construtivo, e segundo parâmetros actuais de construção, a fase primordial da obra está no projecto. Neste sentido, e admitindo que técnicas de construção diferentes adequam-se a formas arquitectónicas diferentes, a par da fase conceptual da obra deve estar presente a sua exequibilidade segundo técnicas específicas. Ora, na sequência do que vem sendo apresentado, a solos

diferentes aplicam-se técnicas construtivas diferentes, e se para técnicas construtivas diferentes se aplicam formas diferentes, é necessário associar ao tipo de solo à técnica construtiva, para posteriormente se poder abordar ou planear as características formais da obra.

O grupo Auroville desenvolveu um quadro que associa o tipo de solo às técnicas construtivas com esse material, que se traduz no seguinte:

Quadro de Classificação das Técnicas Construtivas, Tipos de Solo.

Tipo de Solo	Técnica Construtiva	Observações
Arenoso / Pedregoso	Terra de enchimento	
	Taipa Bloco de Terra Comprimida (BTC)	Se o solo for suficientemente coesivo e tiver argila suficiente pode ser estabilizado com cimento a 5%, o que melhorará a sua coesão e adesividade enquanto fresco, e a sua resistência quando seco.
	Terra plástica	Se for suficientemente argilosa
Arenoso	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura Taipa BTC	Se o solo for suficientemente coesivo e tiver argila suficiente. Pode ser estabilizado com cimento a 5%, o que melhorará a sua coesão e adesividade enquanto fresco, e a sua resistência quando seco.
	Terra plástica	Se o limo e a argila não forem suficientemente activos, deve-se utilizar o procedimento descrito para a Taipa e BTC.

Tipo de Solo	Técnica Construtiva	Observações
Limoso	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura	
	BTC	Poderá ser necessário adicionar areia grossa se o teor de argila for fraco. Necessita estabilização com cimento a 6% a 8%.
	Terra empilhada	Se o solo não for suficientemente coesivo, será conveniente a adição de argila
	Adobe	
Argiloso	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura	
	Taipa BTC	Será necessária a adição de areia e estabilização com cimento a 6%
	Terra moldada	Será necessária a estabilização com areia, fibras naturais ou excremento de vaca. Pode também adicionar-se cal.
	Terra empilhada	Será necessária a adição de areia ou palha.
	Adobe	Será necessária a adição de areia ou palha.
	Terra extrudida	Será necessária a adição de areia e estabilização com cal a 8%
	Terra de recobrimento	Será necessária a estabilização com areia ou fibras naturais.
	Terra palha	
Pedregoso argiloso	Blocos cortados	
	Taipa BTC	Será necessária a adição de alguma areia. No caso da taipa uma estabilização com cimento a 5% poderá melhorar os resultados
Limoso arenoso (continua)	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura	

Tipo de Solo	Técnica Construtiva	Observações
Limoso arenoso (continuação)	BTC	Requer uma percentagem de cimento entre 5% a 7%
	Terra empilhada	Se o solo não for suficientemente coesivo deve-se adicionar argila.
	Adobe	Se o solo não for suficientemente coesivo deve-se adicionar argila.
Limoso argiloso	Terra escavada	Se o solo for suficientemente coesivo
	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura	
	Terra empilhada	Será necessária a adição de areia ou palha.
	Adobe	Será necessária a adição de areia ou palha.
	Terra palha	Se o solo for plástico e adesivo
Argiloso pedregoso	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura	
	Taipa BTC	Será necessária a adição de areia e estabilização com cal a 6%.
	Adobe	Será necessária a adição de fibras naturais ou areia, se o solo tiver um grande teor de argila.
Argila arenoso	Terra de enchimento	
(continua)	Terra de cobertura	
	BTC	Será necessária a adição de areia grossa e estabilização com cal a 6%.
	Terra empilhada	Será necessária a estabilização com areia, fibras naturais ou excremento de vaca. Pode também adicionar-se cal.
	Adobe	Será necessária a estabilização com fibras naturais.
	Terra extrudida	Estabilização com cal a 8%.

Tipo de Solo	Técnica Construtiva	Observações
Argila arenoso (continuação)	Terra de recobrimento	Será necessária a estabilização com fibras naturais.
Argila limosa	Terra de enchimento	
	Terra de cobertura	
	Terra empilhada	Será necessária a estabilização com areia ou palha.
	Adobe	Será necessária a estabilização com areia ou palha.
	Terra extrudida	Será necessária a estabilização com cal a 8%, e adição de areia.
	Terra de recobrimento	Será necessária a estabilização com areia e fibras naturais.
	Terra palha	
Pedregoso arenoso	Não apropriado para construção	
Pedregoso limoso	Não apropriado para construção	
Arenoso pedregoso	Não apropriado para construção	

8

As técnicas construtivas com a terra crua são uma consequência directa de toda a evolução do conhecimento construtivo. Como material milenar de edificação, houve certamente espaço para sucessos e frustrações na evolução dos procedimentos tecnológicos. Os sucessos respondem necessariamente pelos insucessos, e se se sabe hoje quais as tecnologias apropriadas para cada tipo de solo, é porque houve necessariamente uma experimentação continuada que o permite confirmar.

A reciclabilidade da terra faz com que seja mais difícil reconhecer-se um passado construtivo, ou garantir a existência de testemunhos que permitam identificar o nosso passado. É por isso que hoje se reaprende a utilização da terra como material construtivo.

⁸ - Op. Cit (3)

A reciclagem é, nos dias de hoje, um imperativo. No entanto é necessário acautelar todos os testemunhos que possam vir a ser história. Com a evolução rápida da tecnologia de consumo diário, e pelo seu baixo custo, as pessoas foram habituadas a reciclar os seus bens, e essa atitude pode levar à destruição de objectos e provas documentais. Será que um dia mais tarde existirão peças que sirvam de documentação para a história, ou irá a sociedade actual criar um vazio documental dos seus hábitos, costumes, tradições e memórias?

Capítulo 3

Técnicas de Construção em Terra Crua

3.1 Classificação

A utilização da terra como material de construção existe sob diversas formas, e conceitos de utilização, sendo que a sua classificação pode ser separada por critérios distintos. Um critério utilizado na classificação prende-se com a forma da construção em si, também designado por famílias de técnicas construtivas. Esta classificação surge através de uma leitura global de diversos casos práticos, que constituem um padrão ou um modelo de repetição.

O quadro classificativo em anexo¹, desenvolvido pelo grupo Auroville, permite associar, o primeiro critério de classificação do material que está relacionado com o estado em que o material é utilizado desde a forma seca ou sólida da terra, passando pelo estado húmido e estado plástico do material, até ao estado líquido, e analisar o material em si e as suas condicionantes técnicas de utilização, associando também as técnicas construtivas, as finalidades do emprego do material, bem como a sua associação a outros materiais tal como a madeira ou o aço.

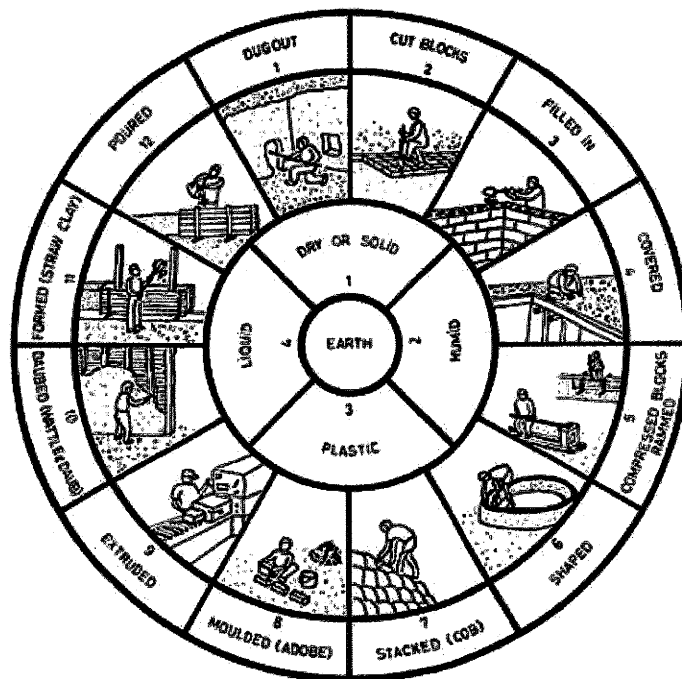


FIG. III.1 – Os 12 principais tipos de utilização da terra como material de construção.

- | | | |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 1. Terra escavada | 5. Blocos Comprimidos e Taipa | 9. Terra extrudida |
| 2. Blocos cortados | 6. Terra moldada | 10. Terra de recobrimento |
| 3. Terra de enchimento | 7. Terra empilhada | 11. Terra palha |
| 4. Terra de cobertura | 8. Adobe | 12. Terra plástica |

¹ MAÏNI, Satprem. AUROVILLE EARTH INSTITUTE [em linha] : *Earth as a raw material*. Auroshilpam: Auroville Earth Institute, 2004 [referência de 1 de Setembro de 2004]. Disponível na Internet em: <http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/introduction-earthworld.pdf >

Outro modelo de classificação, tal como o que é apresentado pelo grupo CRATerre, separa os processos construtivos da terra em três grupos: a utilização da terra crua sob a forma monolítica e estruturalmente portante; a utilização da terra crua sob a forma de alvenaria portante; e a utilização da terra crua como enchimento de uma estrutura de suporte (combinada com outros materiais).

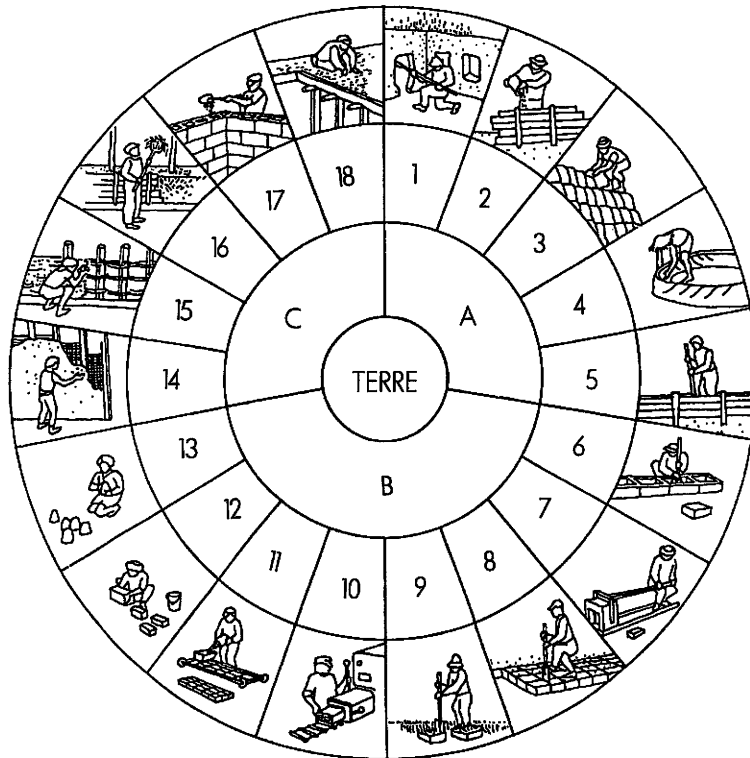


FIG. III.2 – Diagrama de classificação das famílias de sistemas construtivos

- | | | |
|---|---|---|
| <p>A – Utilização da terra crua sob a forma monolítica e portante</p> <ul style="list-style-type: none"> 1. Terra escavada 2. Terra plástica 3. Terra empilhada 4. Terra modelada 5. Terra prensada | <p>B – Utilização da terra crua sob a forma de alvenaria portante</p> <ul style="list-style-type: none"> 6. Blocos apilados 7. Blocos prensados 8. Blocos cortados 9. Torrões de terra 10. Terra extrudida 11. Adobe mecânico 12. Adobe manual 13. Adobe moldado | <p>C – Utilização da terra crua como enchimento de uma estrutura de suporte</p> <ul style="list-style-type: none"> 14. Terra de recobrimento 15. Terra sobre engradado 16. Terra palha 17. Terra de enchimento 18. Terra de cobertura |
|---|---|---|

Esta classificação prende-se mais com a forma e menos com os conditionalismos do material, ou seja, em vez de se centrar numa visão de

compromisso entre as características mecânicas do material e a forma como é utilizado, centra-se na óptica do utilizador do material, esclarecendo de forma clara as diversas famílias de técnicas construtivas, antigas e modernas².

Apesar de diferentes, as classificações tocam-se em alguns aspectos, sendo que pontualmente existem desdobramentos de uma classe. Neste sentido e para a prossecução do trabalho elaborou-se uma classificação que visa articular quer as propriedades físicas do material, quer a articulação deste com os processos construtivos identificados pelo grupo CRATerre.

Ao longo dos tempos a terra crua tem servido para construir e criar habitat. A utilização desse material construtivo deve provavelmente ter-se dado desde os primórdios do Homem.

É do conhecimento geral, e do domínio comum a atribuição do termo “Homem das cavernas”, sendo que nessa época a casa/habitat se centrava num processo simples de apropriação de um espaço. O carácter nómada fazia com que um espaço (gruta/abrigo) fosse temporário, e provavelmente sazonal.

A sedentarização dos povos, originado pela descoberta da agricultura, motivou a necessidade de criação da habitação, e esta terá sido criada com os materiais e técnicas existentes ao alcance do Homem. A terra terá surgido como material construtivo de duas formas: a escavação como processo simples de criação/ampliação da gruta, à semelhança das que haviam sido apropriadas; e a terra moldada à mão como material plástico, técnica que poderá sido supostamente dominada em paralelo com a agricultura.

A dificuldade de se comprovar a origem das construções em terra crua prende-se exactamente com a sua reciclabilidade. Uma construção em terra crua

² DETHIER, Jean, *ARQUITECTURAS DE TERRA: TRUNFOS E POTENCIALIDADES DE UM MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DESCONHECIDO: EUROPA, Terceiro-Mundo, Estados Unidos*. - Lisboa: ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão, trad. Helena Cardoso . FCG, 1993 [D.L. 1995].p. 48

quando não mantida, degrada-se até ao seu desaparecimento, daí a quase inexistência de construções que nos permitam conhecer a sua génese.

A construção em terra crua mais antiga e ainda de pé conhecida nos dias de hoje situa-se em Tebas, Egipto. Com mais de 3.300 anos o Ramasseum pode ser visitado junto ao Nilo.



FIG. III.3 – EGIPTO – Tebas – Ramasseum. 1.300 A.C.³

Face à importância que a construção em terra crua tem na evolução do conhecimento humano, para a classificação das metodologias de aplicação do material, considerou-se como critério de seriação a sua exequibilidade desde processos simples até ao mais complexo.

O elemento que se utilizou para definir a exequibilidade prende-se com a maior ou menor utilização de processos auxiliares à produção do referido material – desde a sua utilização como material à dimensão da mão, até à sua aplicação associando técnicas, materiais e equipamentos produtivos.

Este critério apenas permite entender a adaptabilidade do processo construtivo em situações de utilização de maior ou menor possibilidade de recursos a tecnologias auxiliares à produção.

³ Op. Cit (1)

Apesar de poder existir a necessidade de recorrer a processos construtivos de menor nível hierárquico e com menor recurso tecnológico, é evidente que a isso acrescerá um custo de tempo, recursos humanos e uma aparente menor qualidade final.

Neste sentido, e no quadro classificativo proposto, obter-se-á um painel de classificação do material em função de três variáveis: o estado físico do material; a família de sistema construtivo; e por último a exequibilidade.

Em função dos níveis hierárquicos atribuídos no quadro seguinte poder-se-á obter uma nova seriação dos processos construtivos em terra crua. Esta seriação servirá de base ao desenvolvimento de grupos de técnicas construtivas e a descrição individual de cada técnica identificada.

Essa seriação deverá ter correlação com os processos geométricos de geração, bem como com quadros-tipo de identificação transversal que permitam entender os momentos, actos e enquadramentos antropológicos das construções.

Da hierarquização do material terra crua em função da sua exigência tecnológica, criou-se um quadro aglutinador dos sistemas de construção, associados ao maior ou menor grau de exigência de processos auxiliares de construção.

Esta estrutura servirá para se proceder à apresentação isolada do processo construtivo, ilustrando assim as várias fases de fabrico e aplicação do material.

Quadro de correlação entre famílias de técnicas construtivas; Estado físico do material e hierarquização tecnológica.

		FAMÍLIAS DE SISTEMAS DE CONSTRUÇÃO					
		A – Utilização da terra crua sob a forma monolítica e portante		B – Utilização da terra crua sob a forma de alvenaria portante		C – Utilização da terra crua como enchimento de uma estrutura de suporte	
ESTADO FÍSICO DO MATERIAL TERRA CRUA	SECO OU SÓLIDO	Nível Hierárquico		Nível Hierárquico		Nível Hierárquico	
	HÚMIDO	1	Terra escavada	5	Blocos cortados		
		3		3	Torrões de terra		
	PLÁSTICO	4	Terra prensada (taipa)	3	Torrões de terra	4	Terra de enchimento
1		Terra modelada	5	Blocos prensados	6	Terra de cobertura	
LÍQUIDO	2	Terra modelada	5	Adobe (*)			
	3	Terra empilhada	5	Blocos apiloados			
			5	Terra extrudida	6	Terra sobre engradado	
					6	Terra sobre engradado	
					6	Terra de recobrimento	
					4	Terra palha	

(*) (mecânico, manual ou moldado)

Legenda do quadro de classificação:

1. Terra trabalhada por subtracção
2. Terra trabalhada manualmente
3. Terra simplesmente empilhada (sem recurso a cimbres ou taipais)
4. Terra empilhada com recurso a molde (a cimbres ou taipais)
5. Terra geometrizada sob a forma de blocos
6. Terra como material de acabamento

O objectivo desta segmentação concerne à necessidade de compreensão das diversas formas e estruturas que são possíveis obter com a construção em terra, isolando-as assim em seis grandes grupos, com os subgrupos a eles associados.

Quadro de classificação hierarquizada das técnicas construtivas em terra crua

GRUPO HIERÁRQUICO	DESIGNAÇÃO DO GRUPO HIERÁRQUICO	DESIGNAÇÃO DA FAMÍLIA DE SISTEMA CONSTRUTIVO
1	Terra trabalhada por subtracção Trabalhado manualmente ou com auxílio de objectos acutilantes.	Terra Escavada
2	Terra trabalhada manualmente Trabalhado manualmente. Transporte para local de aplicação; e modelagem.	Terra modelada
3	Terra simplesmente empilhada Trabalhado manualmente ou com objecto acutilante; Transporte para local de aplicação; Empilhagem.	Terra empilhada Torrões de terra empilhados Pães de terra empilhados
4	Terra empilhada com recurso a molde Trabalhado manualmente ou com objecto acutilante; Modelagem e mistura de materiais; Apiloagem; Preparação do material criando massa uniforme; Transporte para local de aplicação; Empilhagem.	Taipa Terra plástica Terra palha Terra de enchimento
5	Terra geometrizada sob a forma de blocos Trabalhado manualmente ou com objecto acutilante; Modelagem e mistura de materiais; Apiloagem; Preparação do material criando massa uniforme; Transporte para local de aplicação; Molde; Prensa/pilão; secagem; compactação (...).	Blocos apilados Blocos comprimidos Blocos cortados Blocos de Terra-palha Adobes Terra extrudida
6	Terra como material de acabamento Trabalhado manualmente ou com objecto acutilante; Modelagem e mistura de materiais; Preparação do material criando massa uniforme; Transporte para local de aplicação; Projecção ou barramento.	Terra de recobrimento Terra sobre engradado Tabiques Terra de cobertura

3.2 Técnicas Construtivas

3.2.1 Terra por subtracção

Terra escavada

Tal como referido anteriormente a terra escavada deverá ter sido um dos primeiros processos de construção em terra crua.

A terra é escavada para a criação de abrigos. Na maioria dos casos as cavernas são abertas em terrenos suaves, porosos ou em áreas de lava onde predominam climas quentes e secos.

No que concerne à geomorfologia dos terrenos nos quais se constroem os abrigos escavados, estes fazem-se em duas formas principais:

A primeira, e provavelmente a mais óbvia, aparece na sequência do estereótipo da gruta – um buraco numa parede – implantadas de uma forma geral em terrenos declivados, tais como taludes e encostas. O trabalho necessário é escavar na horizontal de forma a criar uma nova gruta, tal como se ilustra na figura em anexo.

Representação esquemática do método de escavação da terra crua, em situações de terreno declivado

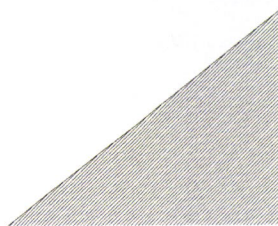


FIG. III.4 - Terreno no estado original em encosta

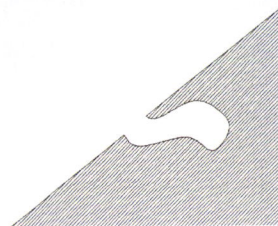


FIG. III.5 - Terreno escavado originando a situação de gruta

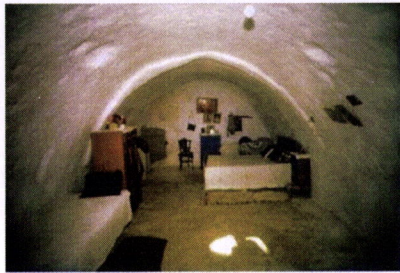


FIG. III.6 - CHINA – Interior de uma gruta escavada⁴



FIG. III.7 - TUNÍSIA – Matmata – Vista exterior de uma gruta escavada⁵

Casos como os que se apresentam, muito embora se situem, um na China e outro na Tunísia, constituem apesar de tudo processos construtivos muito europeus. Na cidade de Lisboa, na zona denominada de Rio Seco existem inúmeros casos de escavação no terreno como forma de gruta. O objectivo destas escavações era o da ampliação da habitação, bem como na encosta do Castelo de S. Jorge o mesmo acontece.



FIG. III.8 - PORTUGAL – Lisboa - Vista exterior de pequenas grutas escavadas na terra em Lisboa na zona de Rio Seco. Estas grutas foram postas a descoberto aquando da demolição dos edifícios que ladeavam a actual avenida.

⁴ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=2>>

⁵ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=2>>

A par deste procedimento, surge um também muito interessante processo de construção em terra escavada, que resulta na resposta possível aos requisitos anteriores sempre que o terreno seja plano.

Num caso destes, uma vez que não é possível escavar directamente na horizontal, inicia-se o processo através da escavação de pátio que servirá de encontro e de génese de diversas grutas escavadas nas paredes do mesmo.

Representação esquemática do método de escavação da terra crua,
em situações de terreno plano

FIG. III.9 - Terreno plano ou tipo planície. A sua utilização para a construção de uma gruta não é viável.

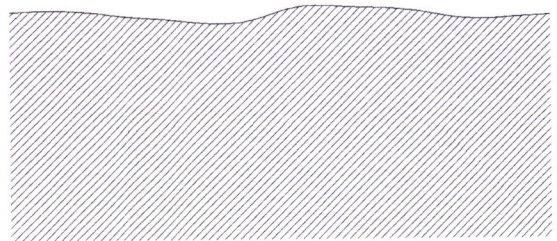


FIG. III.10 - Escavação do pátio ou poço que servirá de acesso às grutas escavadas nas paredes deste. Caso se crie um pátio extenso com forma de rua, poder-se-á admitir que estamos na presença de uma construção iniciada pela cobertura.

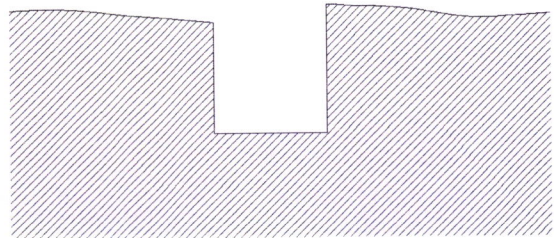
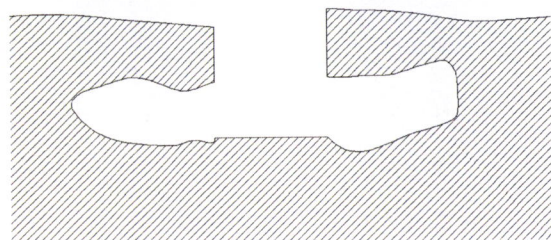


FIG. III.11 - Escavação das paredes do pátio como forma de originar as grutas.



Apesar de se estar a escavar uma gruta, verifica-se que o aspecto final da gruta no que respeita aos seus paramentos, nem sempre corresponde à sua aparência típica, sendo que em muitos casos os interiores resultam numa versão monolítica de uma tradicional construção em blocos.

Trata-se de entender a construção da casa/habitat não por adição de elementos, desde as fundações até à cobertura, mas sim numa lógica de subtracção de matéria, que origina inevitavelmente o espaço habitável.

A associação de conceitos entre a casa edificada, através de um esqueleto, e a da escavação da casa com formas análogas à primeira, leva a crer que é possível a elaboração de planos e projectos para sua aplicabilidade no momento actual.

Este sistema construtivo, quando utilizado de forma empírica, enferma de uma contrariedade que se prende com a dificuldade de prever que tipos de terra ou solos se encontram durante a escavação. Este facto condiciona a morfologia das construções em terra crua pela metodologia da escavação devido à sua imprevisibilidade. Já se for realizado estudo geológico com recurso a tecnologia de análise de solos, não sofre dessa contrariedade.

Outra questão não menos importante que a forma como se constrói por escavação, é o da aparência da construção. Faz parte do imaginário humano a ideia de casa, não só por dentro, como também na sua exteriorização. Esta preocupação leva a que sejam construídas e acopladas à entrada da gruta, ou que seja também esculpida uma fachada que confira ao “buraco” uma noção atribuída de casa.



FIG. III.12 - PORTUGAL – Setúbal – Clube recreativo “o Sindicato”. Exemplo de remate da gruta com o exterior através da construção de uma fachada que lhe retire esse aspecto. Neste caso em análise, a par da fachada também foi construída a parede de um baluarte da Cerca Fernandina da cidade de Setúbal.



FIG. III.13 - PORTUGAL – Setúbal – vista geral da construção, e sua fachada. Visível é também o troço do baluarte da cidade.



FIG. III.14 – CHINA – Nxiang – Aspecto de um pátio escavado, originador de acessos a habitações escavadas na terra. Salienta-se o aspecto das entradas que foram trabalhadas de forma a atenuar o aspecto de gruta.⁶



FIG. III.15 – CHINA – Nxiang – Vista exterior de uma cidadela formada por várias habitações escavadas no solo.⁷

O processo construtivo de escavação em terra crua também origina uma situação de compromisso entre os processos citados anteriormente. Trata-se da escavação completa de uma área, que envolve não só escavar os interiores, como também os exteriores. Esta metodologia envolve escalas maiores, e conceito de dimensão arquitectónica diferente.

⁶ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=2>>

⁷ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=2>>

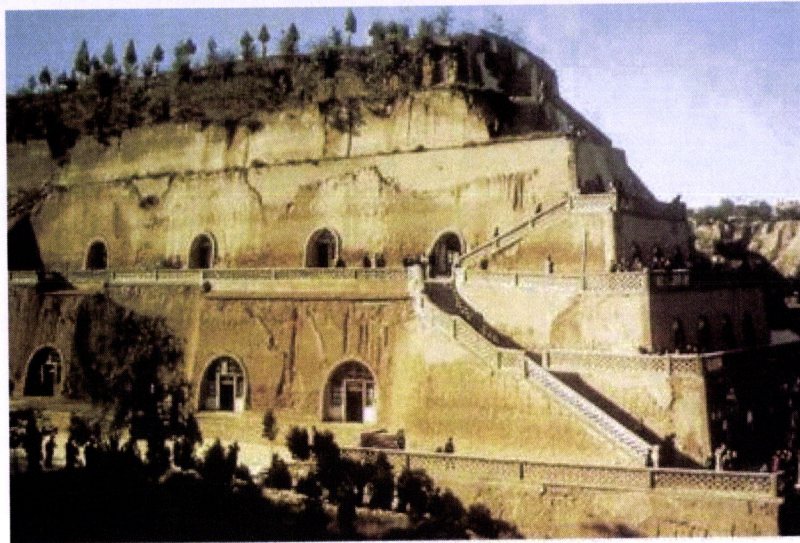


FIG. III.16 – CHINA – Xiang – Vista exterior de uma construção totalmente escavada numa elevação de terreno⁸

Representação esquemática da escavação da terra crua, quer no interior, quer na fachada

FIG. III.17 - Elevação de terreno

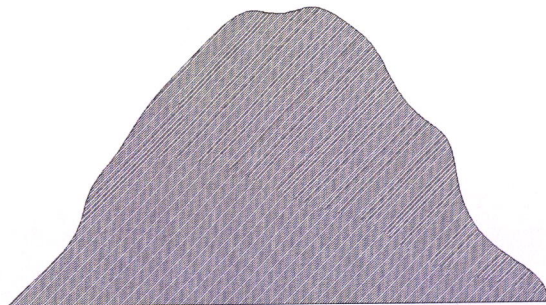
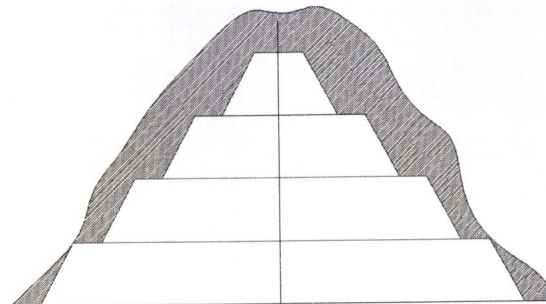


FIG. III.18 - Volume a escavar de forma a definir os elementos de fachada.



⁸ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=2>>

FIG. III.19 - Volume exterior
escavado

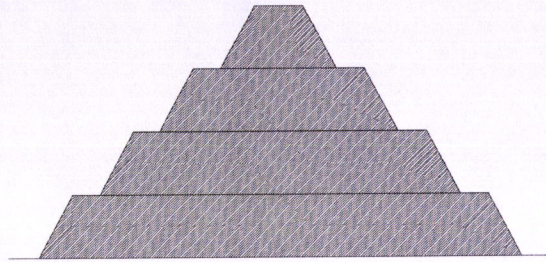
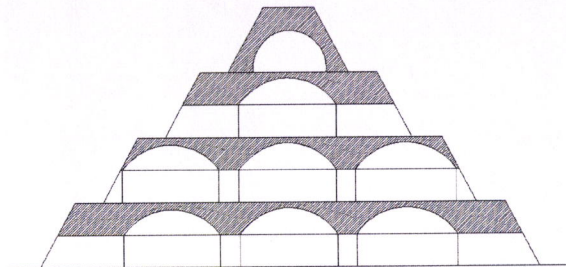


FIG. III.20 - Escavação dos
interiores



3.2.2 Terra trabalhada manualmente

Terra modelada

A utilização da terra modelada como material construtivo, é atribuída a construções de carácter muito mais efémero que o anterior. Esta metodologia, no seu resultado final, pouco se destriça da olaria, sendo que a sua utilização poderá ter fins habitacionais.

A ligação directa entre a terra e as mãos confere uma ligação cognitiva entre o homem e o meio que o envolve. Este exercício é desenvolvido de forma inata por qualquer criança num simples contacto com a terra. Exemplos disso são as construções na areia da praia.



FIG. III.21 – NIGÉRIA – Joss – Construção de um silo em terra moldada.⁹

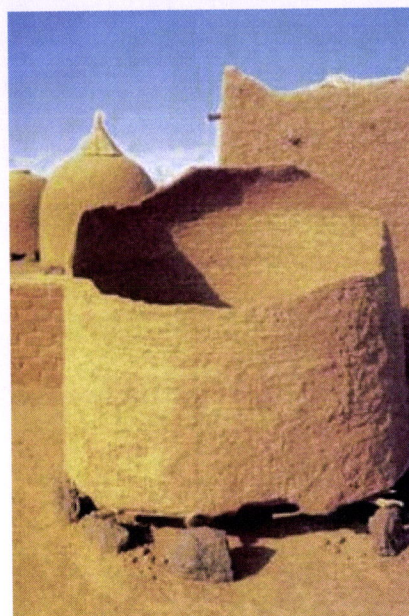


FIG. III.22 – CAMARÕES – Vista de um silo semi-construído¹⁰

Neste processo construtivo a obra nasce do chão, e os paramentos são executados com moldagem com as mãos executando pressão nas duas faces opostas das paredes. Simultaneamente com os polegares vão se comprimindo pequenos pedaços de terra que, a pouco e pouco, vão originando a construção.

O processo de moldagem, no seu conceito, tem algo de semelhante com os ninhos de andorinhas, a obra vai nascendo da acumulação de pequenos pedaços de terra compactada com os dedos.

⁹ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<in <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=9>>

¹⁰ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<in <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=9>>

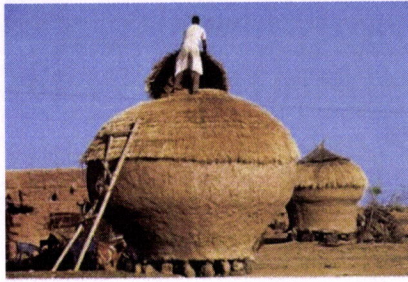


FIG. III.23 - Em cima - TOGO - Silo construído em terra moldada e cobertura com colmo.

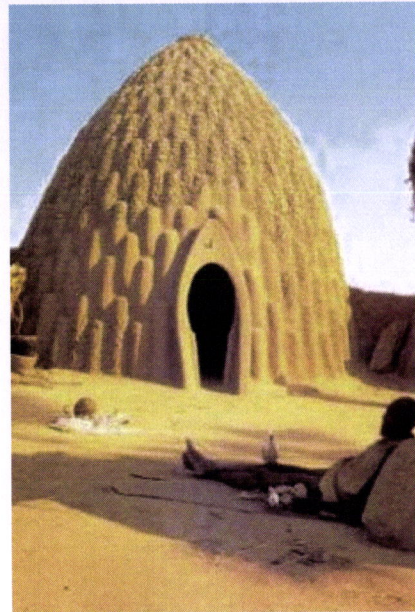


FIG. III.24 - À direita - CAMARÕES - exemplar magnífico de uma construção em terra modelada.

Representação esquemática da modelação da terra crua,
e princípio construtivo

FIG. III.25 - Secção esquemática de um terreno



FIG. III.26 - Início da modelação da terra

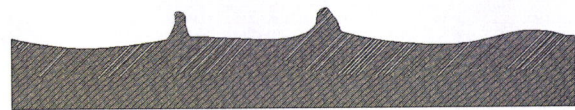


FIG. III.27 - Continuação



FIG. III.28 - Início do fecho

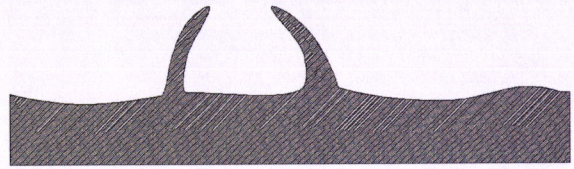
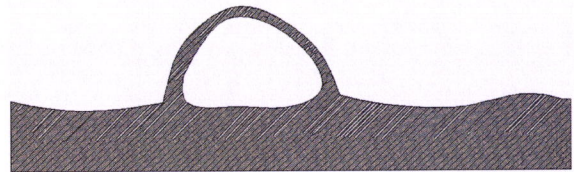


FIG. III.29 - Construção fechada



Semelhante ao que se apresenta são as construções das térmitas, que muito embora pese a diferença de escala, é notória a sensibilidade e resistência que estas demonstram. O processo de geração é semelhante ao anteriormente descrito.

De notar será o aspecto da escala das imagens apresentadas. Se se abstrair dessa escala e se lhe for atribuída uma escala humana é possível reconhecer dimensão arquitectónica às construções.

Na figura III.35¹¹ é patente quase um aspecto de uma construção oriental.

¹¹ Figuras III.30 a III.35 - Op. Cit (1) Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=17>>



FIG. III.30 - BURKINA-FASO – Ninho de térmitas

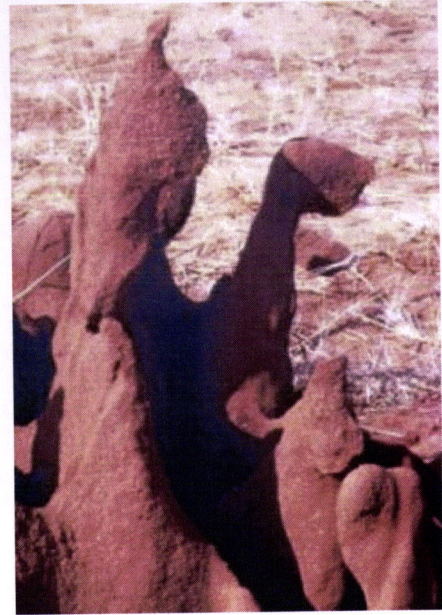


FIG. III.31 - Detalhe de um ninho de térmitas

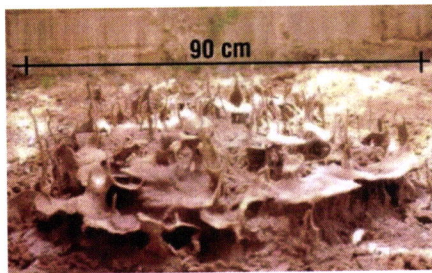


FIG. III.32

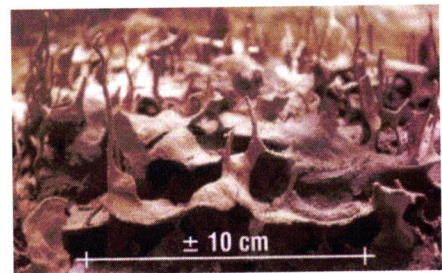


FIG. III.33

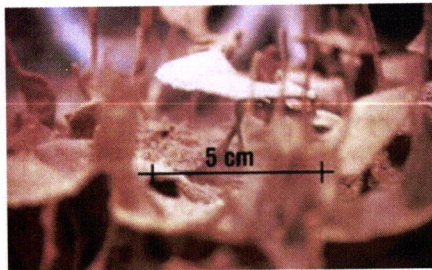


FIG. III.34

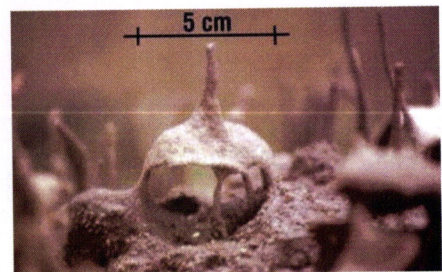


FIG. III.35 - Aspecto típico de uma cúpula

3.2.3 Terra simplesmente empilhada

Terra empilhada
Torrões de terra
Pães de terra

Neste nível hierárquico a terra simplesmente empilhada divide-se em dois subgrupos, que se distinguem essencialmente pelo estado físico em que o material é utilizado, uma vez que estes métodos produzem de forma geral paredes de alvenaria portante.

Uma vez que este processo consiste em empilhar a terra sem recurso a cimbres e/ou taipais, a terra tem que ser manuseada no estado sólido, podendo ter maior ou menor nível plástico.

A terra empilhada divide-se assim em dois processos de aplicação distintos: a terra empilhada propriamente dita; e os torrões de terra empilhados ou pães de terra empilhados. No primeiro caso a terra é aplicada de forma mais plástica do que no segundo em que pode mesmo ser aplicado no estado sólido seco.

○ recurso a estes processos de construção gera soluções arquitectónicas de aspecto livre e orgânico uma vez que a forma da construção não se encontra condicionada nem pelo formato de um molde, nem pela forma da unidade básica de produção.

No caso dos torrões de terra, estes terão uma certa correlação com o método de blocos cortados, descrito no grupo 5, sendo a grande diferença entre eles o facto de no caso em análise o torrão de terra não ter um formato definido.

Em ambos os casos, de uma forma geral, a terra é utilizada sob a forma de bolas de terra no estado plástico. Estas bolas são sobrepostas umas sobre as outras, sendo comprimidas manualmente, o que, no estado físico em que se encontram faz com que adiram umas às outras.

Este processo construtivo, designado por “cob” nos países anglófonos e “bauge” nos francófonos, foi utilizado largamente em toda a Europa, tendo apenas expressão, nos dias de hoje, em alguns países africanos como a Arábia Saudita e em países asiáticos tomando por exemplo a Índia.



FIG. III.36 - FRANÇA – Picardie – Terra simplesmente empilhada¹²



FIG. III.37 - COSTA DO MARFIM – Afotobo – Torrões de terra empilhados¹³

Na figura III.36, em Picardie, França, pode-se verificar a aplicação da terra na forma de simplesmente empilhada. Faz-se com os usuais instrumentos auxiliares de construção, nomeadamente pá, enxada e ancinho.

Uma vez que os elementos edificados não ficam geometrizados, no caso da figura III.36, o excedente é, numa segunda fase, cortado para que lhe seja conferido o aspecto de parede plana.

¹² Op. Cit (1) Disponível em internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=10>>

¹³ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=10>>

A figura III.37, em Afotobo, Costa do Marfim, apresenta o processo de empilhagem de torrões de terra, que muito embora seja conceptualmente idêntico ao anteriormente descrito, o processo de empilhagem parece mais simples e mais ordenado na sua aplicação. Apesar disso, os torrões de terra são aparentemente mais trabalhados do que no primeiro caso.

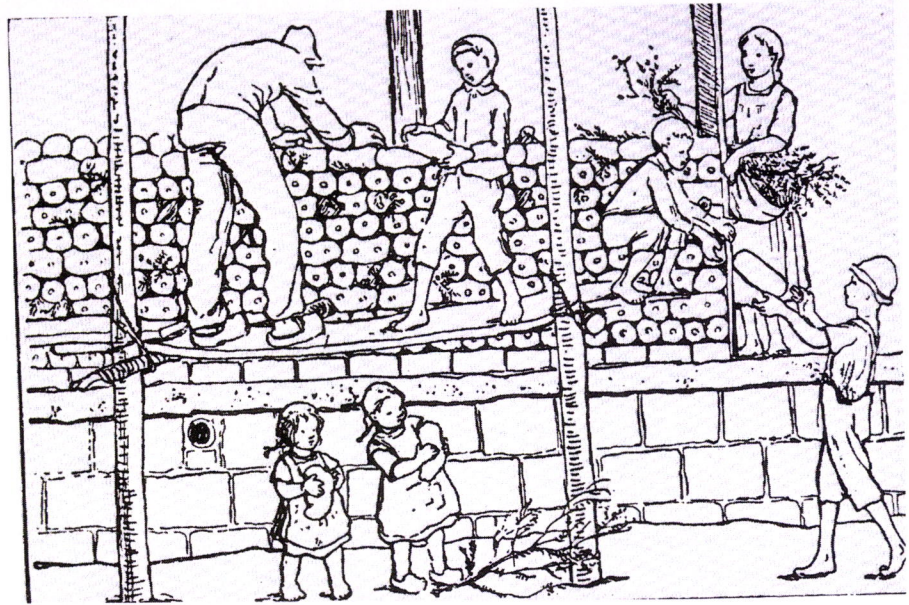


FIG. III.38 - ALEMANHA – Pães de terra empilhados – anos 20 (Séc. XX)¹⁴

Este processo construtivo foi muito utilizado na Alemanha, no período de recuperação depois da guerra de 1914-1918.

Em ambas as situações o material é aplicado por níveis, que permitem a cura da terra, e posteriormente uma maior sobrecarga sem que se desmorone.

No final, são identificáveis os níveis de sobreposição entre as diversas camadas de terra, conferindo aos lintéis um aspecto monolítico. Tratam-se de processos simples de construção, que ao nível da planta, não condicionam as geometrias de suporte a utilizar, atendendo à sua aplicabilidade.

¹⁴ Op. Cit. (2), p. 36

Representação esquemática da empilhagem da terra crua,
e princípio construtivo

FIG. III.39 - Secção esquemática de um terreno



FIG. III.40 - Início da empilhagem da terra

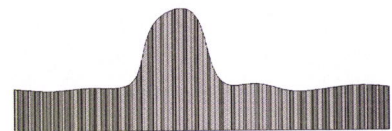


FIG. III.41 - Corte da terra empilhada de forma a conferir um aspecto plano.

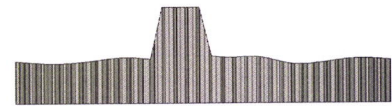


FIG. III.42 - Início do segundo lintel.

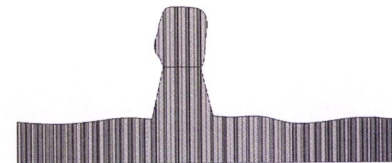


FIG. III.43 - Corte do segundo lintel.

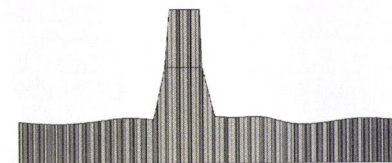




FIG. III.44 - Em cima - IEMENE DO SUL –
Saadā – Terra empilhada em torrões.
Construção típica (1976)¹⁵

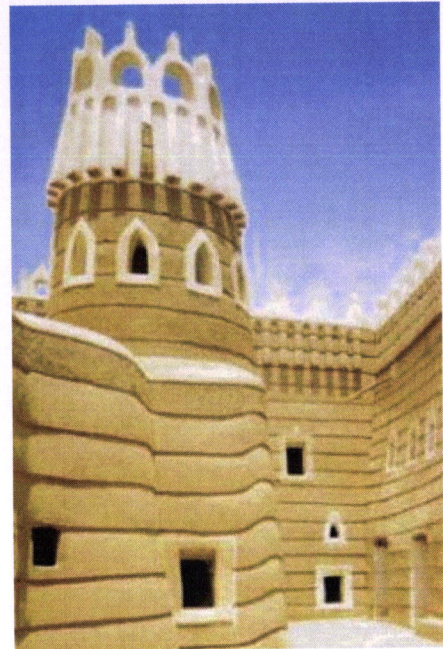


FIG. III.45 - À direita - ARÁBIA SAUDITA –
Palácio Najran – Construção em terra
empilhada em torrões¹⁶

¹⁵ Op. Cit (2), p. 76

¹⁶ Op. Cit (1) Disponível em internet em:
< In <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=10> >

3.2.4 Terra empilhada com recurso a molde

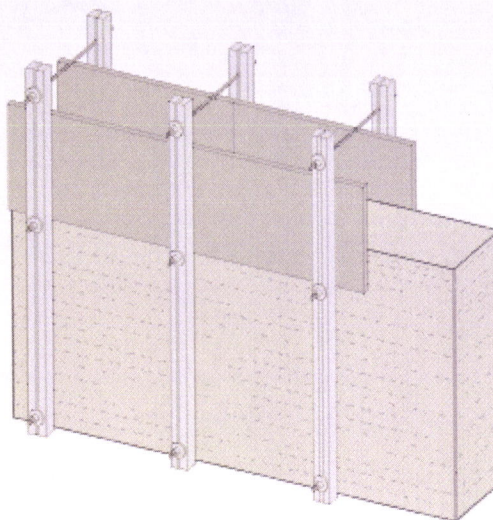


FIG. III.46 - Exemplificação de molde para construções em terra crua.¹⁷

A terra empilhada com recurso a molde é, provavelmente, o processo construtivo que, a par com os blocos de terra comprimida, mais adeptos terá. Tal prende-se com a rapidez de execução e qualidade final do acabamento de paramentos e tectos. Este grupo tem semelhanças óbvias com os sistemas de betonagem da construção dita moderna. Terá sido aliás este processo que originou a betonagem com recurso a cofragem.

Assim e na análise dos processos construtivos deste grupo salientam-se quatro subgrupos, derivando dois deles dos casos estudados no grupo anterior. Trata-se da construção em terra-palha que se assemelha à terra simplesmente empilhada muito embora neste caso com recurso a molde, e a terra plástica que deriva do mesmo processo mas no caso dos torrões de terra ou pães de terra.

¹⁷ SCHRECKENBACH, Hannah. *BUILDING WITH EARTH* [em linha] : *CONSUMER INFORMATION*. Weimar : Dachverband Lehm, 2004 [referência de 4 de Novembro de 2004]. Disponível na Internet em: <http://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_consumerinfo_gb.pdf>.

Os outros dois subgrupos são a taipa, e a terra de enchimento.

3.2.4.1 Terra-palha

Este sistema construtivo, conhecido nos países anglófonos por *“straw clay”*, é utilizado na associação de: solos muito calcários, água e palha. Trata-se de um processo que produz material de baixa densidade, e fraca resistência à compressão, pelo que é utilizado geralmente sem fins estruturais. Este processo goza de algumas vantagens construtivas em relação aos restantes, nomeadamente: baixo custo; produção rápida; material isolante (acústico e térmico); e baixo peso.

A preparação da terra faz-se com os instrumentos usuais da construção civil, como a peneira para limpar a terra, a betoneira (misturadora) para misturar os materiais juntamente com a água, e os restantes acessórios necessários para transportar e aplicar.

A sua aplicação é feita, como já se referiu, no estado líquido depois de realizada a mistura entre a terra e a palha, e é aplicada em cofragens que têm a particularidade de serem furadas de modo a permitir uma rápida drenagem da água, diminuindo assim o tempo de secagem, e melhorando a densidade do material uma vez que mais facilmente é compactado, saindo o ar do seu interior. Note-se que a compactação neste caso é relativa uma vez que o material tem baixa densidade devido à existência de palha.

Este processo também é utilizado para a produção de blocos de terra-palha, que será descrito no grupo seguinte.



FIG. III.47 - BÉLGICA – Leuven – Aplicação da terra palha com cofragem perfurada, segundo técnicas actuais.¹⁸



FIG. III.48 - ALEMANHA – Darmstadt – terra palha (não estrutural) aplicada nos paramentos exteriores.



FIG. III.49 - ALEMANHA – Hessen, Gross Gerau – aspecto de uma parede exterior utilizando a terra-palha.

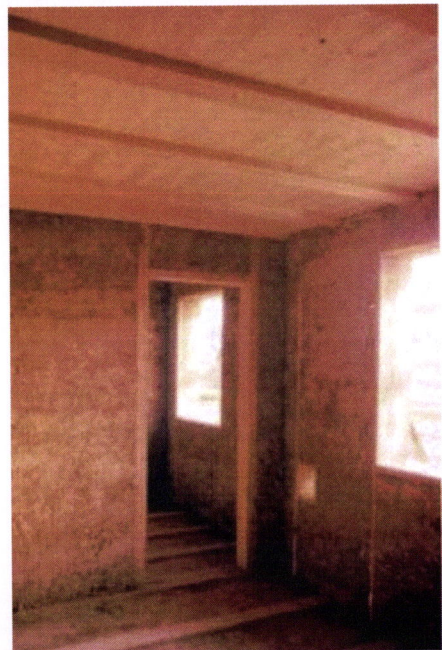


FIG. III.50 - ALEMANHA – terra-palha utilizada em paredes interiores sob a forma monolítica.

¹⁸ Figuras III.47 a III.50 - Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=15>>

3.2.4.2 Terra Plástica

Este sistema construtivo, também conhecido nos países anglófonos como *"poured earth"*, consiste na aplicação da terra no seu estado líquido ou plástico, com recurso a molde. Trata-se de um processo mais rápido na sua execução uma vez que o molde permite atribuir uma forma mais definida ao material, e o estado físico do mesmo permite rápida aplicação, tal como se de betão se tratasse.

As diferenças existentes entre este método e o enunciado em 3.2.4.1 são a inexistência de palha misturada na terra, e a de a alvenaria produzida no final poder ser portante.

Este processo é resultado de novas técnicas de construção com a terra. Deve ser utilizado com solos argilosos ricos em areias e gravilhas, e na forma estabilizada (recorrendo a cal ou cimento a 5%). Devido à utilização abundante de água na mistura utilizada esta técnica enferma da contracção do material depois de curado, o que provoca geralmente fissurações.

Esta técnica também é utilizada em blocos, sendo que quando é aplicada com recurso a molde, este tem que ser seccionado devido ao estado físico em que é utilizado, o que confere à edificação o aspecto de parede de blocos. Se o material for aplicado no estado plástico, pode ser trabalhado como se tratasse de terra empilhada com a vantagem de não ser necessário regularizar os paramentos uma vez que o molde lhe confere o aspecto acabado, e que os moldes não necessitam de ser seccionados uma vez que a terra não escorre nas extremidades.

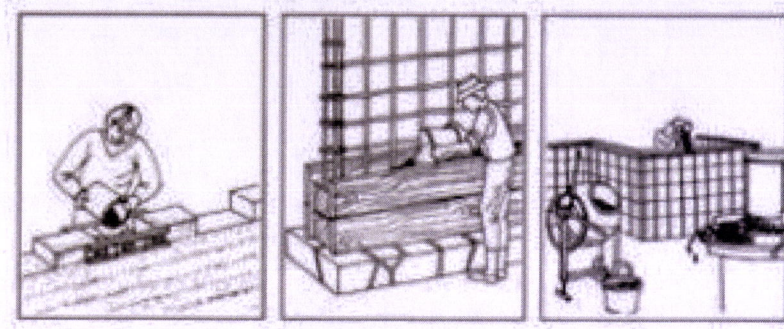


FIG. III.51 – Quadro esquemático da utilização da terra plástica¹⁹



FIG. III.52 - Em cima – NOVA ZELANDIA –
Aplicação da terra plástica segundo as
técnicas do betão.

FIG. III.53 - À direita – NOVA ZELANDIA –
terra plástica aplicada em moldes, in loco,
com a aparência dos blocos.



3.2.4.3 Terra de Enchimento

A terra de enchimento é um processo de construção em terra recorrendo a um molde, muito embora este seja perdido juntamente com o material.

¹⁹ Figuras III.51 a III.53 - Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=16>>

É um processo que associa estruturas auxiliares, tais como madeira ou aço, e a terra colocada num espaço remanescente entre dois conjuntos de estruturas de suporte. A finalidade deste processo é atribuir a construções ligeiras a protecção térmica conferida por uma parede de terra.

Este sistema é utilizado nos dias de hoje com recurso a sacos de fibras sintéticas que permitem que a terra seja amontoada, conferindo-lhes protecção à água.

Inicialmente tratava-se de um sistema de cofragem perdida sendo a terra colocada no interior dos painéis de suporte no estado húmido. Nos dias de hoje não se recorre a taipais, recorrendo a sacos ou tubos em PVC, que são empilhados. Os sacos são cheios com terra seca.

A metodologia da terra de enchimento é a utilizada em diques e barragens, o que prova a sua resistência mecânica à água. Este método é também o utilizado nos casos de calamidades naturais tais como inundações, e foi infelizmente utilizado na construção de trincheiras durante vários períodos de guerra e interessante seria se o mesmo método pudesse ser utilizado com fins humanitários.

A vantagem da utilização deste sistema é a rapidez com que se constrói, a possibilidade de empregar solos de fraca qualidade para construir (solos muito pobres em argilas) e a mobilidade final do objecto construído.

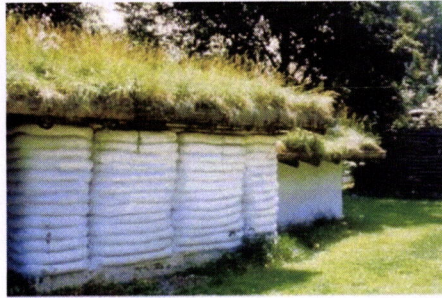


FIG. III.54 - ALEMANHA – Kassel – terra de enchimento, e terra de cobertura (grupo 6). A terra encontra-se colocada em sacos de fibras sintéticas.²⁰

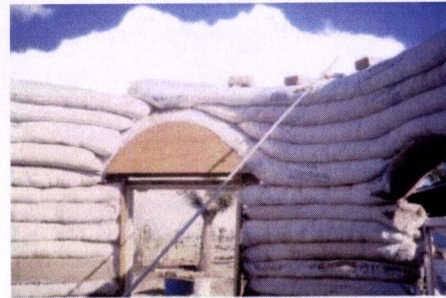


FIG. III.55 - E. U. A – terra colocada em tubos de PVC.



FIG. III.56 - ALEMANHA – Kassel – aplicação da terra de enchimento com membrana externa e outra interna, suportada pela paliçada vertical, fixada no solo e garrotada na parte superior.



FIG. III.57 - ISLÂNDIA – Aspecto da utilização da turfa como terra de enchimento, na vertente interior da habitação.²¹

²⁰ Figuras 54 a 56. Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=4> >

²¹ HURSTWIC [em linha] VIKING AGE HISTORY. New England, 2004 [referência de 4 de Agosto de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.hurstwic.org/history/text/history.htm> >.

3.2.4.4 Taipa

A taipa, processo construtivo cuja denominação deriva do uso de taipais, é conhecida nos países anglófonos como “*rammed earth*”, e nos francófonos como “*pisé*”. Este processo é dos que mais seguidores teve, e provavelmente foi também aquele que mais evoluiu no sentido de se adaptar a usos e exigências construtivas modernas.

Neste sentido a técnica conhece duas derivações possíveis, tais como: a taipa tradicional e a taipa mecanizada. Trata-se em ambos os casos de um processo construtivo recorrente a molde e difere nos dois casos citados em pormenores tais como: compactação com pilão manual ou com pilão pneumático; taipais de madeira aparelhada manualmente ou painéis de aço ou madeira próprios para cofragem.

Para PINHEIRO, Nuno Santos, a taipa executa-se da seguinte forma:

*“ (...) enche-se um espaço de 0,50 metros entre taipais, de uma massa constituída por terra, argila, cal e pequenas pedras. Esta massa que como se diz na gíria “deverá ser transportada por um coxo e batida por um doido” para que o tempo de apiloamento seja longo e a massa comprimida com muita força para a coesão dos elementos ser garantida, (...)”*²²

Este processo construtivo tem grande expressão no nosso país, em especial a sul do Tejo, onde são inúmeras as construções que recorrem a esta metodologia.

A terra crua a empregar neste processo construtivo é usualmente utilizada sob a forma húmida, devendo ser medianamente argilosa. A utilização de cascalhos e

²² PINHEIRO, Nuno Santos. *UMA REFLEXÃO SOBRE ARQUITECTURA EM TERRA CRUA*. - Lisboa: N. S. Pinheiro, 1991. p.6

gravilhas também é conveniente, pelo que quando não exista de forma natural no solo deva ser adicionada à mistura. A par destes inertes também é conveniente a existência de fibras vegetais.

O emprego da taipa faz-se através de um compartimento paralelepípedo, composto de dois taipais nas faces laterais de maior dimensão, correspondentes à face interior e exterior da parede edificada; uma ou duas *comportas*, que correspondem aos topos menores do paralelepípedo. Apostos nos taipais existem estruturas de reforço em madeira que se denominam de *costeiros*. A sua função é garantir rigidez ao próprio taipal, uma vez que aquando da compactação da terra no seu interior a tendência será a sua deformação. Os taipais estão ligados entre si, pelo interior da parede com uns elementos metálicos finos que em estruturas de betão se denominam de *esticadores*, cuja designação neste caso é de *agulhas*.



FIG. III.58 - PORTUGAL – Serpa – Agulhas, Taipais, Costeiros e Comporta.

A taipa como processo construtivo tem uma utilização praticamente global e culturalmente transversal, uma vez que aparece em construções de todo o

mundo. Independentemente de pequenas diferenças entre os moldes utilizados e dos utensílios para a produção, a essência do método é a mesma.

Taipa utilizada na sua forma tradicional



FIG. III.59 - MARROCOS – Norte de Atlas – apisoamento da taipa²³



FIG. III.60 - CHINA – apisoamento com pilões em cunha (para as zonas de cantos e arestas)



FIG. III.61 - CHINA – Região de Xiang – a utilização do taipal é substituída por troncos de madeira empilhados entre si.



FIG. III.62 - ÍNDIA – Himachal Pradesh, Losar – apisoamento da terra com um tijolo.

²³ Figuras III.59 a III.62 - Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=6>>

Taipa utilizada na sua forma moderna (contemporânea)



FIG. III.63 - E.U.A. – Califórnia, – apisoamento da taipa com recurso a vibradores e compressores²⁴



FIG. III.64 - ÍNDIA – Gujarat – Utilização de taipais metálicos como cofragem.



FIG. III.65 - ÍNDIA – Gujarat – Utilização de taipais metálicos curvos.

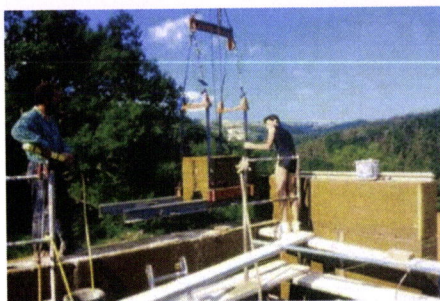


FIG. III.66 - FRANÇA – Saint Etienne – taipa pré-fabricada – colocação em obra.

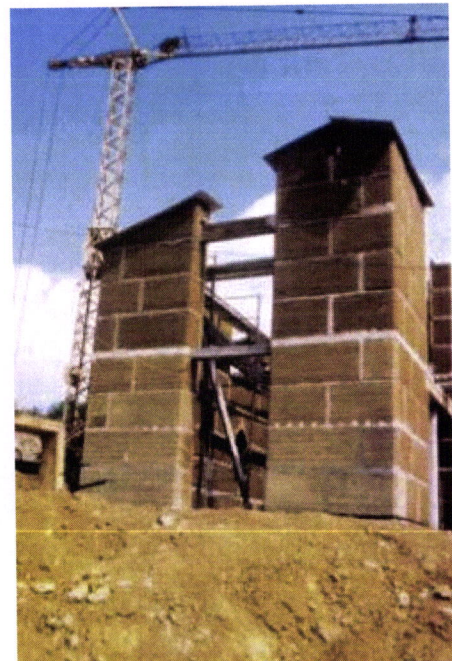


FIG. III.67 - FRANÇA – Saint Etienne – Construção em taipa pré-fabricada.

²⁴ Figuras III.63 a III.67 - Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=7>>

3.2.5 Terra geometrizada sob a forma de blocos

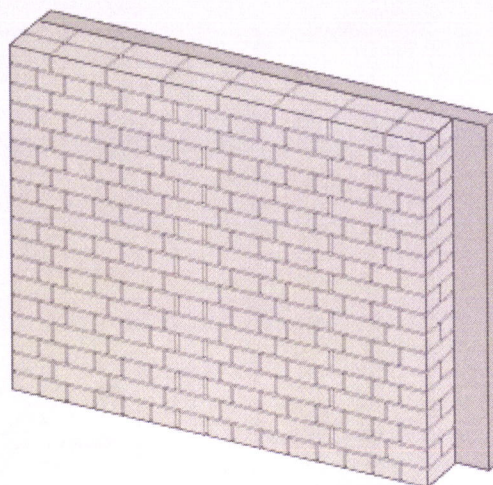


FIG. III.68 - Exemplificação da utilização dos blocos na alvenaria.²⁵

A terra geometrizada sob a forma de blocos engloba seis subgrupos de construção em terra crua, cuja utilização se distingue essencialmente por: finalidade do uso do material (paredes portantes ou não); estado físico do material; elementos constituintes do material final (nomeadamente maior ou menor utilização de argilas, areias, gravilhas, matérias orgânicas tais como fibras, etc.).

Os blocos podem no entanto ser ou cortados ou moldados, e é aqui que reside a principal diferença da classificação deste grupo.

²⁵ Op. Cit (17)

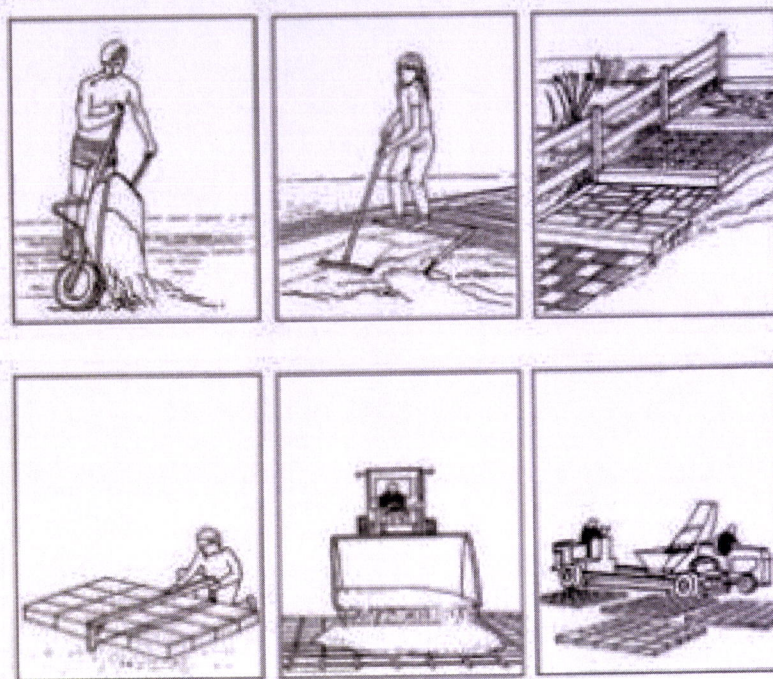


FIG. III.69 – Vários processos de preparação dos blocos de terra.²⁶

3.2.5.1 Blocos de terra cortados

Este processo resulta do corte directo da terra, e trata-se de um processo que se utiliza sempre que a terra sob a sua forma original (natural) cumpra as condições necessárias para a sua boa aplicação.

Este processo resulta directamente de processos construtivos como a utilização da pedra cortada. Consiste em cortar o solo sob a forma necessária para a construção, usualmente paralelepípedica.

Este processo assemelha-se ao dos torrões de terra, sendo que neste caso a terra é já extraída sob a forma geometrizada.

²⁶ Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=16>>

Este processo utiliza solos ricos em carbonatos solidificados, que lhe conferem a estrutura ligada e rígida da terra.

Com recurso a ferramentas de corte, os blocos são extraídos já com a forma aproximada daquela em que vão ser utilizados, sendo muitas vezes acertados depois de extraídos.

Nas zonas de solos apropriados à utilização da terra neste método, existem nos dias de hoje processos mecânicos de extracção da terra, recorrendo a máquinas de corte, que facilitam a extracção, e melhoram a qualidade final do bloco.

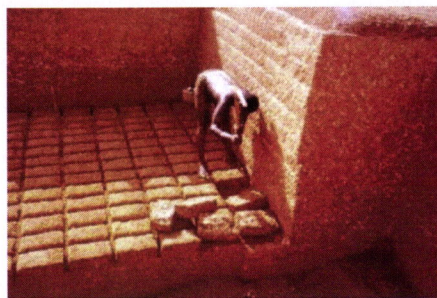


FIG. III.70 - Em cima – BURKINA-FASO – Kari – Processo de extracção dos blocos depois de recortados lateralmente²⁷

FIG. III.71 - À esquerda – ÍNDIA – Orissa – início da abertura do roço para o corte

²⁷ Figuras III.70 a III.75 – Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=3>>



FIG. III.72 - Em cima - BURKINA-FASO - Kari - Vista geral de uma extracção de blocos.

FIG. III.73 - À esquerda - ÍNDIA - Kerala - Blocos na fase de aparelhagem e ajuste do corte.



FIG. III.74 - Em cima - ÍNDIA - Orissa - Vista geral de uma extracção de blocos mecanizada.

FIG. III.75 - À esquerda - ÍNDIA - Orissa - Blocos na fase de aparelhagem manual e ajuste do corte.

3.2.5.2 Blocos de Terra-palha

Este processo construtivo, tal como foi referido anteriormente no processo da utilização da terra-palha recorrendo a molde, consiste na produção do mesmo material sob a forma de bloco.

No que concerne à essência do material em si esta é a mesma, sendo que o seu manuseamento é mais fácil, e permite melhor utilização em obra de uma forma mais limpa.

Os pressupostos são os mesmos pelo que este sub capítulo se orienta pela diferença em relação ao seu congénere anterior.

Os blocos são moldados em forma com dimensões na ordem dos 30 cm, sendo essa medida definida pelo produtor do material em função da sua necessidade.



FIG. III.76 - ALEMANHA – Darmstadt – Blocos de terra-palha em processo de secagem.²⁸

²⁸ Op. Cit. (1), Disponível em internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=15>>

3.2.5.3 Blocos de terra comprimida ou blocos apiloados

Os blocos de terra comprimida e os blocos apiloados são um só processo na sua essência, diferindo fundamentalmente nos métodos de produção.

Os blocos apiloados, que se encontram num nível mais elementar de produção são blocos de terra compactados com recurso a pilão. A terra é utilizada no seu estado húmido, e estando colocada num molde permite ser compactada, conferindo-lhe forma e resistência. De uma forma simples resulta da taipa pré-fabricada em pequenos moldes. Este método foi descrito e desenvolvido por FRANÇOIS COINTERAUX em França desde os finais do séc. XVIII, sendo que a sua investigação desenvolveu, entre outras, técnicas de blocos de terra comprimida com os pés em pequenos moldes paralelepípedicos.

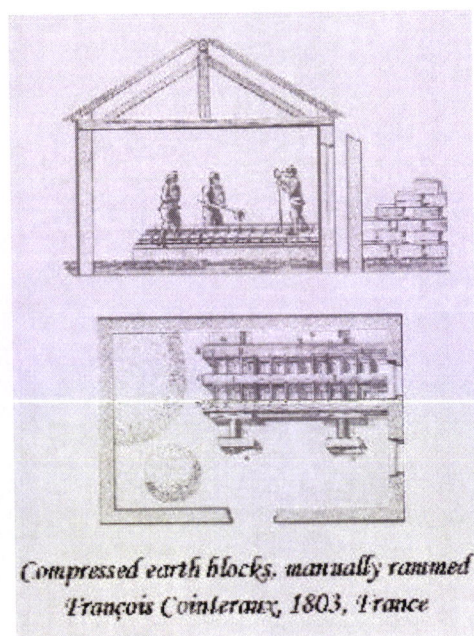


FIG. III.77 - COINTERAUX, François – FRANÇA 1803

Esquema para a produção de blocos de terra.²⁹

²⁹ Op. Cit. (1) – Disponível em internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=8> >

Os blocos de terra comprimida (BTC ou CEB – compressed earth blocks) resultam de um processo mecânico auxiliar que comprime a terra numa forma, geralmente metálica, e a sua aparência final é a de um tijolo de barro maciço.

Este processo aparenta sucesso nos sistemas construtivos actuais uma vez que o material é controlável e normalizável. É evidentemente este o processo a seguir para que o material terra cumpra as exigências de um mercado competitivo e moderno.

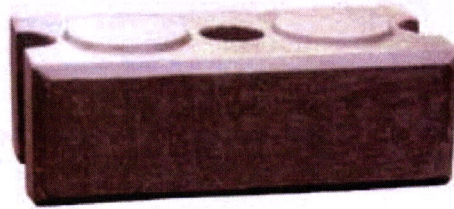


FIG. III.78 – CEB – BTC – Aparência de um bloco de terra comprimido na variante de molde com encaixe.³⁰

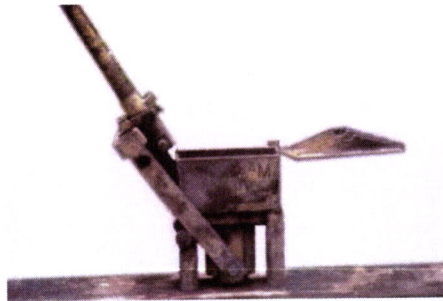


FIG. III.79 – CINVARAM – COLOMBIA 1950. A primeira máquina de comprimir blocos de terra.³¹

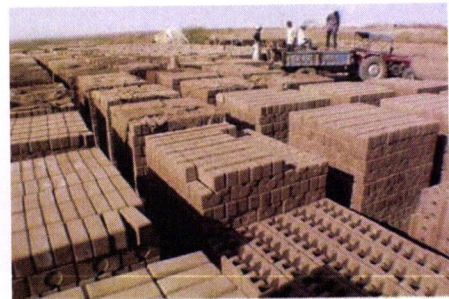


FIG. III.80 - ÍNDIA – depósito de blocos de terra comprimidos – esta imagem demonstra as capacidades industriais do sistema.

³⁰ Op. Cit. (1) – Disponível em internet em:.
< http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/general-info1.pdf>

³¹ Figuras III.79 e III.80 - Op. Cit. (1) – Disponível em internet em:.
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=8>>

No que concerne aos moldes para a produção de BTC, estes são de diversa ordem e formato, e assemelham-se ao tijolo industrial produzido em todo o mundo. Por vezes torna-se até difícil destrinçá-los.

3.2.5.4 Adobes

O adobe é uma técnica construtiva semelhante às anteriormente descritas, com a variante da utilização da terra num estado físico diferente ao anterior, nomeadamente no estado plástico ou líquido. Trata-se de um tijolo de terra crua, que usualmente encontra matéria-prima junto de rios ou ribeiras, e que depois de moldado é seco ao sol.

Este tipo de material de construção encontra-se praticamente em todo o mundo, e a par com a taipa é dos que maior difusão tem.



FIG. III.81 - PORTUGAL – Setúbal, Brejos de Azeitão – pormenor de uma parede construída em adobe.



FIG. III.82 - PORTUGAL – Setúbal, Brejos de Azeitão – cada bloco tem uma face aparente de 40 cm x 7cm. Numa demolição de uma habitação contígua, constatou-se que os blocos eram quadrados (0.4 x 0.4 x 0.07)

Para PINHEIRO, Nuno Santos, esta forma de utilização de terra crua consiste em:

“ (...) enchem-se formas paralelepípedicas com uma massa feita de terra, argila e cal.

Estes paralelepípedos, secos ao Sol durante quatro semanas, criam uma resistência que permite serem também usados na construção de paredes, pela sobreposição sucessiva destes elementos.

Este “material” é chamado de adobe e terá o nome de formigão se na mistura for usada a palha. (...)”³²

³² Op. Cit. (22) – p.7

Processo de fabrico do Adobe em Portugal nos anos 60³³



FIG. III.83 – Extracção da Terra



FIG. III.84 – Arejamento da Terra

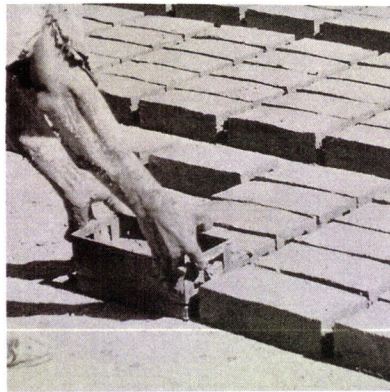


FIG. III.85 – Moldagem



FIG. III.86 - Secagem

³³ Figuras 83 a 90 – ARQUITECTURA POPULAR EM PORTUGAL. 2.º Ed.- Lisboa: Associação dos Arquitectos Portugueses, 1980. p.491 e 627.

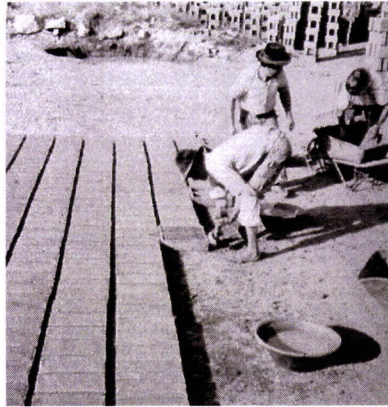


FIG. III.87 – Moldagem e secagem



FIG. III.88 – Alisamento do bloco

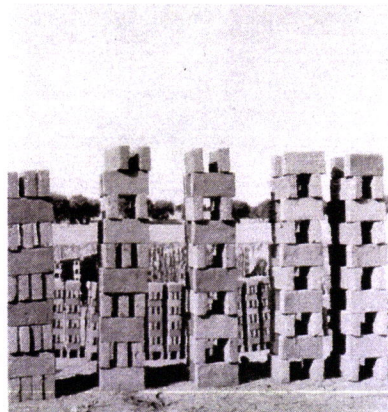


FIG. III.89 – Pilhas de blocos em processo de secagem ao ar, depois de secos no pavimento (endurecimento)



FIG. III.90 Aspecto de uma construção em Águas de Moura recorrendo ao Adobe.

Produção de adobes em locais distintos do globo



FIG. III.91 - NIGER – Kalandi³⁴



FIG. III.92 – HAITI



FIG. III.93 - ÍNDIA – Landakh

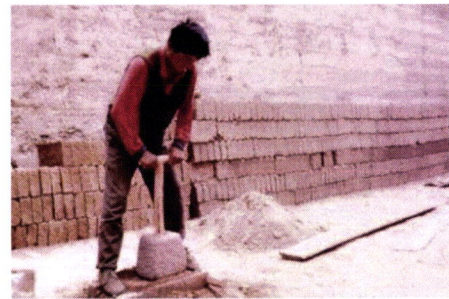


FIG. III.94 - TIBETE – Amdo

Na análise do conjunto fotográfico apresentado, verifica-se que em áreas díspares do planeta o mesmo método construtivo é utilizado, como se fizesse parte da estrutura social das comunidades a função de obreiro.

3.2.5.5 Terra extrudida

A elaboração de blocos de terra com extrusão consiste no processo industrializado do fabrico de tijolo. A referida extrusão consiste em forçar a terra a sair por um orifício de metal sob a acção de forças de pressão. Este orifício metálico tem a forma que se pretende dar à terra, criando assim uma linha de saída contínua, que vai sendo seccionada de forma a produzir os blocos.

³⁴ Figuras 91 a 94 – Op. cit. (1) – Disponível em Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=11> >

O tijolo perfurado corrente na construção civil resulta de um processo de extrusão do barro e sua cozedura.

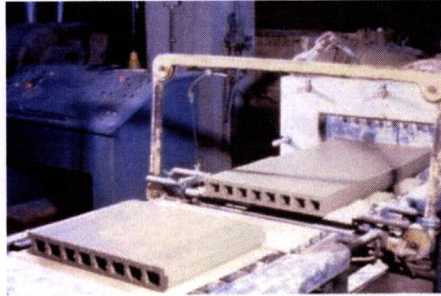


FIG. III.95 - FRANÇA – Extrusão de plaquetas de terra.³⁵

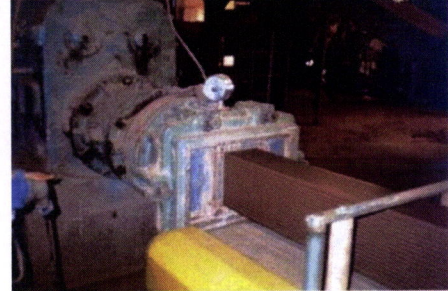


FIG. III.96 - BURKINA-FASO – Ouagadougou – extrusão de tijolo antes de cozedura.

3.2.6 Terra como material de acabamento

A utilização da terra como material de acabamento, consiste na associação desta a outro processo ou material construtivo.

De uma forma geral trata-se de um processo que se divide em quatro utilizações distintas, estando a sua essência conceptual dividida apenas em dois grupos: a terra como recobrimento; ou a terra associada a uma estrutura com a qual se mistura.

³⁵ Figuras 95 e 96 – Op. cit. (1) – Disponível em Internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=13>>

Estes processos construtivos caracterizam-se assim pelo seguinte:

1. Terra de recobrimento
2. Terra de cobertura
3. Terra sobre engradado
4. Tabiques

3.2.6.1 Terra de recobrimento

A terra de recobrimento consiste de um modo simples em cobrir ou revestir uma parede ou estrutura com terra crua. Este processo é frequentemente utilizado como forma de conservação de estruturas existentes ou mesmo de isolamento térmico e acústico de uma construção.

Este processo surge de formas muito díspares e pode ser encontrado ou sob a forma de reboco ou de parede secundária protectora de uma construção principal.

Em países como a Islândia existem construções totalmente revestidas a terra crua, com relva verde na face exterior que protege a terra da erosão causada pela chuva, neve e vento. Esta técnica é conhecida desde o tempo dos Vikings.

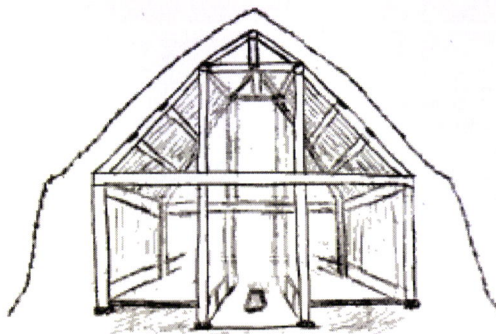


FIG. III.97 - ISLÂNDIA – Secção perspectivada de uma habitação Viking.³⁶

³⁶ Op. Cit. (21)

No caso das habitações tipo nórdicas, como por exemplo as habitações em turfa, que se entendem desde os países escandinavos, passando pela Islândia até ao Canadá, a utilização da terra de recobrimento era ao mesmo tempo terra de cobertura (no subgrupo seguinte). A terra é utilizada sob a forma de turfa, e é cortada do solo e empilhada junto da estrutura de madeira existente. Assim este processo construtivo associa a terra simplesmente empilhada à terra de recobrimento.



FIG. III.98 - ISLÂNDIA – Aspecto de uma casa construída em Turfa.³⁷

No Níger existe uma técnica de construção em terra armada, sendo a armadura em cana ou outro elemento vegetal. Trata-se de um processo de utilização da terra como material de revestimento. A união de dois materiais com características diferentes confere à estrutura um bom comportamento quando comprimida através da terra e uma estrutura flexível, característica conferida pelas canas.

³⁷ Op. Cit. (21)

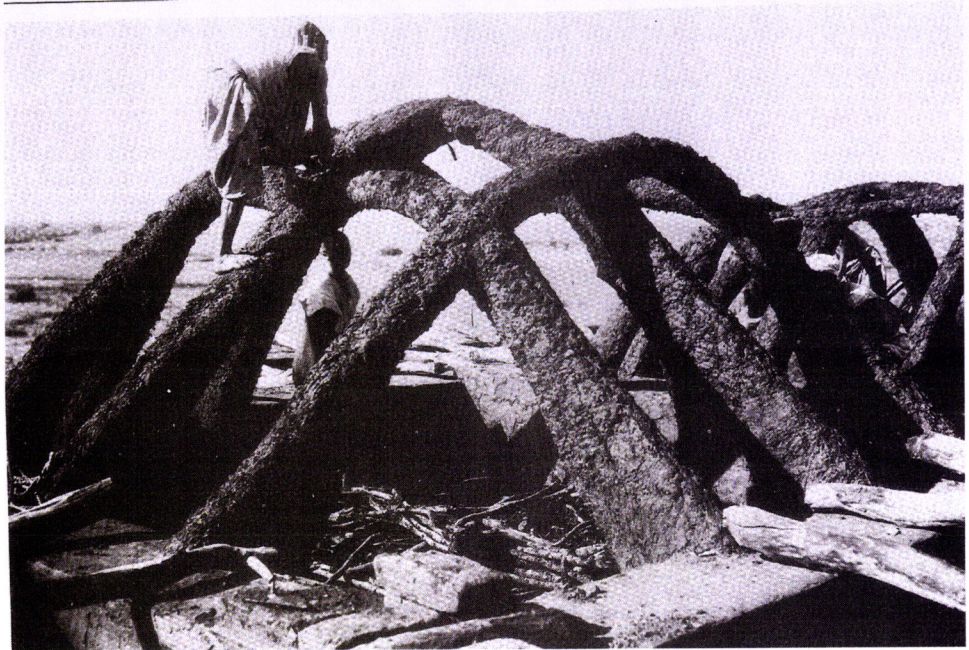


FIG. III.99 - NIGER – construção de uma abóbada tradicional.³⁸



FIG. III.100 - NIGÉRIA – construção com terra reforçada³⁹



FIG. III.101 - SOMÁLIA – Genale – terra de revestimento exterior

³⁸ Op. Cit. (2) – p. 44

³⁹ Figuras 100 a 102 – Op. cit. (1) – Disponível em Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=14>>



FIG. III.102 - NÍGER – Boncoucou – Terra de recobrimento de uma estrutura.

3.2.6.2 Terra de Cobertura

O revestimento de coberturas com terra é uma prática com alguma paridade com a utilização da terra como material de recobrimento. Trata-se de um processo que consiste em revestir a estrutura da cobertura de um edifício com terra. Este processo é bastante eficaz no que respeita a isolamento acústico e térmico.

Esta técnica é conhecida e utilizada em Portugal. Na ilha do Porto Santo existem construções típicas com coberturas de terra crua. Conhecidas por coberturas de salão, esta técnica consiste em cobrir de terra uma estrutura em madeira e pedra tipo lousa.

Esta prática teve origem em três condicionantes principais: a fraca pluviosidade existente na ilha permite a utilização da terra sem que esta se danifique; o

isolamento térmico é necessário devido às temperaturas medias/altas que se fazem sentir na ilha; e por último devido aos sucessivos ataques de corsários à ilha do Porto Santo durante o período de povoamento e fixação de pessoas naquele local, houve a necessidade de disfarçar as construções integrando-as no terreno para que a ilha parecesse despovoada. Esta técnica foi assim a solução encontrada uma vez que crescendo o feno nas coberturas, e sendo a terra da cobertura a mesma do solo, as construções eram praticamente imperceptíveis.



FIG. III.103 - PORTUGAL – Porto Santo – Cobertura de Salão. Construção de apoio à actividade piscatória na vertente nascente da ilha.



FIG. III.104 - PORTUGAL – Porto Santo – Construção recente recriando a cobertura de salão.



FIG. III.105 - PORTUGAL – Porto Santo – Vista em pormenor da cobertura de salão.

Esta técnica construtiva é muito utilizada nos processos construtivos contemporâneos, tirando assim proveito quer estético quer técnico das potencialidades do material terra. Trata-se de um excelente isolante térmico e acústico, bem como providencia integração paisagística e ambiental das construções.



FIG. III.106 - E.U.A. – Lakeville, Connecticut – Casa MOORE – desenhada pelo Arq.º Alfredo de Vido em 1986.⁴⁰

3.2.6.3 Tabiques e terra sobre engradado

A construção de paredes sob a forma de tabiques ou recorrendo a engradado, trata-se de uma variante do método de construção de terra de recobrimento. Este processo difere do anterior uma vez que o revestimento participa na solidez de uma estrutura previamente construída com grades, sejam em madeira, metal, vimes, ou qualquer outra fibra vegetal.

⁴⁰ OJEDA, Óscar Riera. *CASAS NORTE AMERICANAS – INOVAÇÕES NO PROJECTO E NA EXECUÇÃO.* - Köln: Evergreen, Benedikt Tashen Verlag GmbH, 1999. p.168 a175

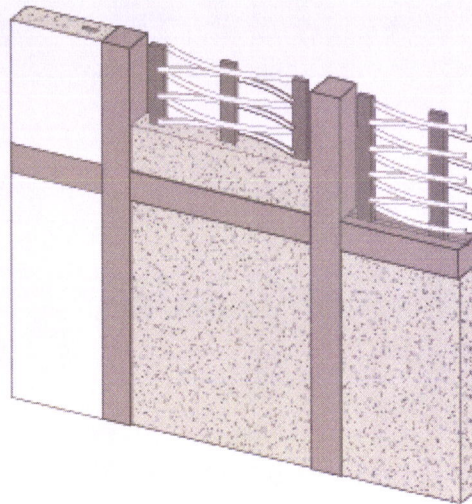


FIG. III.107 – Esquema de parede recorrendo ao engradado.⁴¹

Este processo é especialmente utilizado para obter paredes com espessuras reduzidas, sendo a terra principalmente um enchimento e a base, seja ela uma grade, fasquiado ou entramado, uma estrutura de suporte.

Esta metodologia tem bastante expressão em todo o mundo, e pode ser largamente encontrada na Europa.

⁴¹ Op. Cit. (17)



FIG. III.108 - PORTUGAL – Peso da Régua – Casa em avançado estado de ruína. As paredes exteriores são compostas por terra sobre engradado. Provavelmente a proximidade do Rio Douro proporcionou a existência de solos apropriados para este tipo de construção.



FIG. III.109 - ISLÂNDIA – Aspecto de um engradado com fibras vegetais, semelhante ao usado nas casas de turfa.⁴²

⁴² Op. Cit. (21)



FIG. III.110 e III.111 - ESPANHA – Segóvia –
Experiência de utilização da terra sobre
engradado laminar em madeira⁴³

⁴³ BORGES, Juan. *TALLER EN BOCEGUILLAS*. [em linha] – Segóvia: 2004. [referência de 20 de Setembro de 2004] Disponível em internet em:
<<http://groups.msn.com/ArquiterroFotos/tallerenboceguillassegovia.msnw>>

Capítulo 4

Geometrias da Terra Crua

4.1 Processo analítico

A redefinição dos sistemas construtivos em terra crua, concretizada no capítulo anterior, teve como principal objectivo agrupar potenciais estereotomias da terra segundo classificações diferentes. Tal como referido, o nível hierárquico de recurso a técnicas construtivas auxiliares faz com que se identifiquem famílias de técnicas construtivas para as quais existem opções geométricas diferentes segundo a sua própria génese.

Essa metodologia de agrupamento de famílias de técnicas construtivas será agora aplicada em concreto a cada grupo classificativo, e não à tecnologia em si, salvo se dentro de um grupo existirem diferenças geométricas claras resultantes da tecnologia aplicada.

A análise apresentada desenvolver-se-á segundo uma metodologia comparativa, com recurso a imagens, comparando-as e tecendo um raciocínio crítico acerca das formas verificadas.

Salienta-se que a terra crua como material construtivo pertence ao grupo dos materiais compressíveis e que a aplicação se orienta especialmente para “pilares” (elementos de suporte) e “arcos” (elementos de descarga) no caso de ser utilizada como solução autoportante, podendo ser também utilizada como revestimento, isolamento e/ou decoração, no caso de se tratar de terra como material de acabamento.

A aplicação de processos de transformação geométrica aos dois elementos base da família estrutural tipo de compressão, permite originar os conceitos de parede, na evolução do pilar, e de abóbada e cúpula no caso do arco.

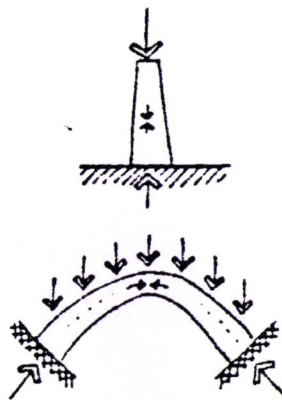


FIG. IV.1 – Família estrutural tipo – Compressão ¹

Os processos de transformação geométrica aplicados neste caso são os contemplados na simetria, que assenta num conjunto de três movimentos base: a translação, a rotação e a reflexão.

¹ SAMYN, Philippe, *PRINCIPES DE CONSTRUCTION*, Bruxelles : EBAUCHE, Institut Supérieur d'Architecture Saint-Luc Bruxelles, 1993. p.29

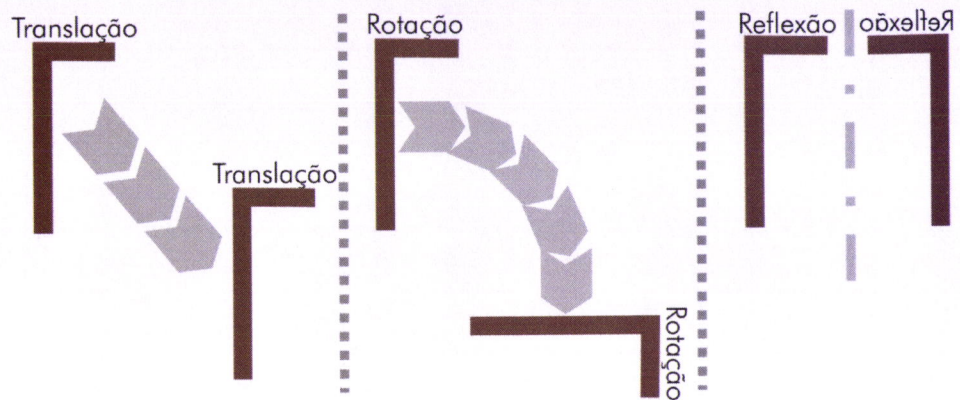


FIG. IV.2- Ilustração dos movimentos de simetria.

Os movimentos assinalados assumem no entanto uma característica própria que assenta na não variação das propriedades formais dos objectos sujeitos a estas operações. Assim, da translação ou rotação do pilar origina-se a parede, e por operações semelhantes sobre o arco obtêm-se a abóbada e a cúpula.

Por conseguinte, na análise que se segue optou-se por uma organização classificativa das geometrias que se divide em: análise planimétrica respeitante à organização dos elementos de suporte (pilares/paredes), e uma análise tridimensional com incidência nos elementos de descarga (arcos, abóbadas e cúpulas).

4.1.1 Análise planimétrica

A análise planimétrica consiste essencialmente na configuração dada às construções no que concerne à sua planta. Entende-se por planta uma secção horizontal produzida nos objectos, de forma a ser possível analisar o interior dos mesmos, o exterior e a relação entre ambos (fronteira).

Contudo, desta análise pretende-se essencialmente conhecer as consequências entre o material utilizado e a técnica construtiva no que respeita à construção de alvenarias (paredes), uma vez que estas são projectantes horizontais, e que se relacionam com o conceito de estrutura num processo de encaminhamento directo de forças para o solo (no sentido gravítico).

Assim, neste grupo serão atribuídas as classificações de: planta livre; planta condicionada e planta semi-livre.

Subentende-se que, no que respeita à planta, está em causa o elemento vertical como elo comum. As alvenarias têm de comum a direcção vertical, sendo que quando exista uma outra direcção, oblíqua ao plano de terra (referência horizontal), se inicia um processo de vencimento de um vão.

Neste sentido as alvenarias classificaram-se em:

A. Planta livre



FIG. IV.3

A construção das alvenarias é livre e como consequência não está sujeita a formas pré-definidas. Apesar da planta poder ter uma configuração livre, tal não implica que a aparente, ou seja é possível geometrizar uma planta livre, dando-lhe uma configuração poligonal, curva ou outra.

B. Planta condicionada



FIG. IV.4

Neste grupo a construção de alvenarias apresenta-se condicionada a factores de ordem tecnológica, nomeadamente o processo construtivo ou o estado físico do material.

Como condicionante externa está também a necessidade de a alvenaria suportar o vencimento de um vão. Neste sentido este grupo subdivide-se em: planta condicionada ao molde, planta circular, planta condicionada ao vencimento de um vão e, por último, planta condicionada a uma estrutura.

Planta condicionada a molde

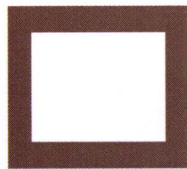


FIG. IV.5



FIG. IV.6

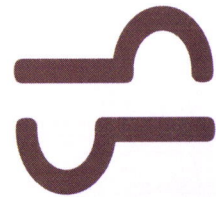


FIG. IV.7

A construção das alvenarias não é livre e como consequência está sujeita a formas pré-definidas, nomeadamente à forma do taipal. Pode este ser plano [fig. IV.5] ou derivado de superfícies cilíndricas (de curvatura simples) [fig. IV.6] ou na combinação de ambas [fig. IV.7].

Planta circular

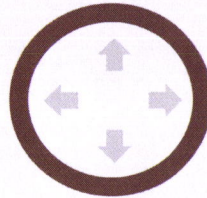


FIG. IV.8

A forma circular é a mais utilizada sempre que se produzem construções que estão dependentes da cúpula como processo de vencimento do vão.

Além disso a forma circular é a que se traduz numa maior estabilidade geométrica uma vez que em todos os pontos das secções horizontais produzidas na construção a geometria da distribuição de cargas é idêntica, ou seja a distribuição de forças exercidas na construção é constante em qualquer direcção.

Um poço tem usualmente a forma circular (cilíndrica) e quando vazio resiste todo à compressão nas paredes, contendo a pressão do terreno. Um tanque circular (fora da terra) quando cheio as suas paredes funcionam como cinta, sendo a forma circular a que melhor responde à deformação provável que o material teria se tivesse outra forma.

Planta condicionada ao vão

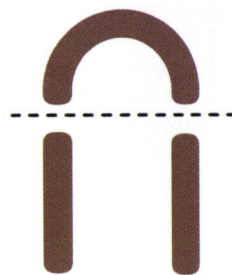


FIG. IV.9

A construção das alvenarias está condicionada ao vencimento de um vão predefinido. Trata-se de um exemplo da interdependência da análise planimétrica com a análise tridimensional.

Planta condicionada a uma estrutura

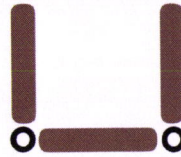


FIG. IV.10

A construção das alvenarias está condicionada a uma estrutura resistente pré-existente.

C. Planta semi-livre

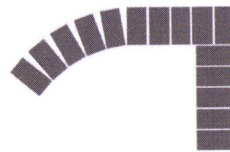


FIG. IV.11

A construção das alvenarias está condicionada à unidade básica de construção, e como consequência não está completamente sujeita a formas pré-definidas. É possível a construção do plano, da superfície de curvatura simples e da superfície de dupla curvatura de mesmo sentido.

4.1.2 Análise tridimensional

A análise tridimensional consiste, essencialmente, na configuração dada às superfícies sempre que exista um processo de vencimento de um vão. Este processo divide-se assim em três grandes grupos: os arcos, as abóbadas e as cúpulas. Os grupos mencionados têm relação formal uns com os outros, e na sua génese comportam processos geométricos de geração que os identificam, pelo que a sua análise é evolutiva e simultaneamente interdependente.

A. Arcos



FIG. IV.12

O arco surge na sequência natural da evolução do trílito que corresponde à unidade básica de vencimento de um vão caracterizada por duas pedras na vertical com a função de apoios e uma na horizontal que vence o vão formado entre ambas, por exemplo os monumentos funerários pré-históricos. De certa forma o trílito resume-se a dois pilares e uma viga. No entanto, na viga existem esforços de tracção, surgindo assim o arco como evolução tecnológica na forma de constituir uma ligação entre dois pontos afastados entre si, sem que existam esforços de tracção.

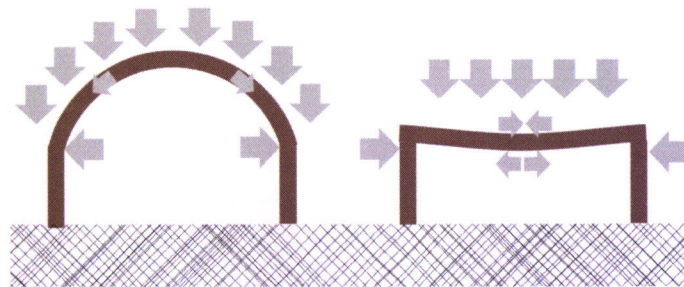


FIG. IV.13 – Comparação entre o Arco e o Trílito.

Apesar de ser possível vencer um vão com um arco, e nele não existirem tracções, acontece que os apoios do arco têm tendência em afastar-se, denominando-se este esforço de impulsão, que neste caso é centrífuga. Para anular esta tendência, aumenta-se a compressão exercida nos apoios do arco de tal modo que anule o deslizamento dos mesmos, e que forças das cargas sobre a estrutura sejam encaminhadas para o solo.

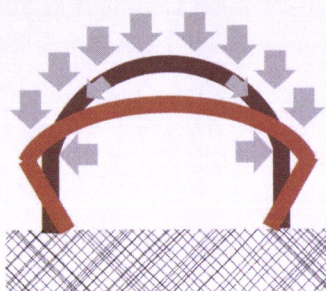


FIG. IV.14 – Falência do arco por cedência dos apoios.

Os arcos, têm no entanto formas distintas, que os identificam. Podem ter origem desde a justaposição de duas peças, originando o arco cónico, até outros mais complexos que resultam de curvaturas de ordem e génese diversas.

Assim, os arcos com expressão nos sistemas construtivos em terra crua identificam-se como: cónicos; ogivados; catenários; semicirculares; abatidos; segmentados; e arcos em consola.²



FIG. IV.15

Arco Cónico
Resulta da sobreposição directa de dois elementos rectos.



FIG. IV.16

Arco Ogival
Resulta da intersecção de dois elementos curvos com centros de curvatura diferentes.

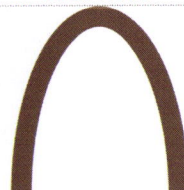


FIG. IV.17

Arco Catenário ou Parabólico
Resulta da inversão da curvatura plana designada de catenária, a qual tem origem na posição de equilíbrio dada por um fio pesado, homogéneo, inextensível e suspenso pelas extremidades.



FIG. IV.18

Arco Semicircular ou de Volta Perfeita
Arco que resulta de metade de um círculo. O centro da circunferência é colinear ao início e termo do arco. Arco de 180°

² CASQUILHO, Manuel da Rocha. *MANUAL DE EDIFICAÇÕES*, 3.ª Edição. - Lisboa: Livraria Bertrand, 1974. p.52 a 56.



FIG. IV.19

Arco Abatido, Elíptico ou Asa de Cesto
Arco que resulta de uma curvatura constituída por 3 ou mais centros de curva, de modo a que a superfície do intradorso seja concordante com as paredes de apoio.



FIG. IV.20

Arco Segmentado
Arco que intersecta as paredes de suporte segundo uma aresta que resulta da não concordância das superfícies do intradorso. O centro da curvatura não é colinear com o início e termo do arco.
Arco $< 180^\circ$.



FIG. IV.21

Arco em Consola ou por Cachorrimento
Arco que resulta da sobreposição sucessiva de consolas até ao vencimento de um vão. Também denominado por falso arco, uma vez que na sua estrutura existem peças que têm esforços de tracção.

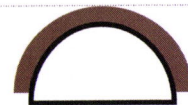


FIG. IV.22

Arco condicionado a cimbria ou estrutura pré-existente.
Arco que resulta do revestimento de uma estrutura.

Existem arcos que pela sua forma não são exequíveis em terra crua, como por exemplo os arcos contracurvados, uma vez que a sua forma origina esforços de tracção.



FIG. IV.23 – Arco contracurvado

B. Abóbadas



FIG. IV.24

Tal como referido anteriormente as abóbadas resultam, de uma forma geral, da translação do arco, e a forma do arco, não só designa o tipo de abóbada, como está contido nas suas secções transversais.

Outra forma de entender a abóbada será admitir o arco como directriz de uma superfície, tendo uma recta como geratriz. Será de referir que existem abóbadas que originam superfícies de dupla curvatura com o mesmo sentido, basta que resultem da rotação do arco com centro exterior a ele, originando por exemplo troços de uma superfície toroidal, ou mesmo uma superfície helicoidal.

No entanto o processo geral de geração de abóbadas orienta-se para vencimento de vãos com superfícies de curvatura simples, o que leva a entender que sempre que seja possível a execução de um arco, é possível a abóbada correspondente.

As abóbadas, derivadas dos arcos citados anteriormente identificam-se como: cónicas; ogivadas; catenárias; semicirculares; abatidas; segmentadas; e abóbadas em consola ou por cachorramento.

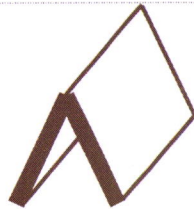


FIG. IV.25

Abóbada Cônica

Resulta da translação do arco cônico ou da sobreposição directa de dois elementos planos. Exemplo do telhado de duas águas.

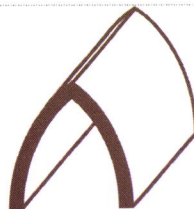


FIG. IV.26

Abóbada Ogival

Resulta da translação do arco em ogiva.

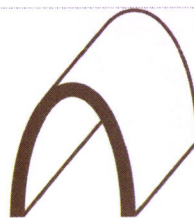


FIG. IV.27

Abóbada Catenária ou Parabólica

Resulta da translação do arco catenário ou parabólico.



FIG. IV.28

Abóbada Semicircular ou de Volta Perfeita

Resulta da translação do arco semicircular ou de volta perfeita.



FIG. IV.29

Abóbada Abatida, Elíptica ou Asa de Cesto
Resulta da translação do arco abatido.



FIG. IV.30

Abóbada Segmentada
Resulta da translação do arco segmentado.

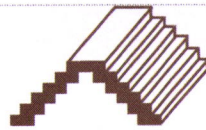


FIG. IV.31

Abóbada em Consola ou por Cachorramento
Resulta da translação do arco em consola ou por cachorramento.

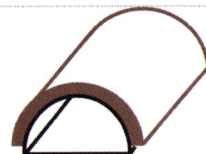


FIG. IV.32

Abóbada condicionada a cimbra ou estrutura pré-existente.
Abóbada que resulta do revestimento de uma estrutura.

C. Cúpulas

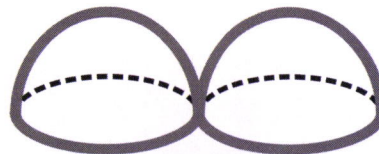


FIG. IV.33

Na sequência do entendimento dos processos de transformação geométrica, as cúpulas têm como gênese a rotação de um arco, sendo este à partida simétrico por reflexão.

Apesar de o conceito da geração da cúpula ser a rotação de um arco, existem outras que têm como gênese a intersecção de abóbadas, ou mesmo a sobreposição de uma ou mais cúpulas ou abóbadas.

Assim, na configuração dada às coberturas, sempre que estas apresentem processos de dupla curvatura no mesmo sentido, resultantes da rotação do arco obtêm-se cúpulas derivadas dos arcos anteriormente analisados.

Os vãos que ora se apresentam resultam em parte da rotação da curvatura de cada tipo de arco em torno de um eixo vertical, originando assim a cúpula.

Cúpulas derivadas da rotação do arco



FIG. IV.34

Cúpula Cônica

Resulta da rotação do arco cônico.

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco.

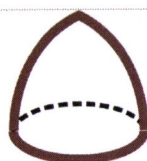


FIG. IV.35

Cúpula Ogival

Resulta da rotação do arco em ogiva.

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco.



FIG. IV.36

Cúpula Catenária ou Parabólica

Resulta da rotação do arco catenário.

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco.



FIG. IV.37

Cúpula Hemisférica

Resulta da rotação do arco de volta perfeita (semicircular).

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco.



FIG. IV.38

Cúpula Abatida ou de Aba de Cesto

Resulta da rotação do arco abatido.

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco.



FIG. IV.39

Cúpula Segmentada

Resulta da rotação do arco segmentado.

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco. Define-se como uma calote esférica.

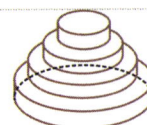


FIG. IV.40

Cúpula em consola ou por cachorrimento

Resulta da rotação do arco em consola ou por cachorrimento.

A rotação tem como eixo uma recta vertical ao centro do arco. Trata-se de uma falsa cúpula.

Existem também outras cúpulas que resultam da associação de processos construtivos de forma a vencer vãos com geometrias planimétricas que não têm origem na geometria do círculo.³

Estas cúpulas resultam na intersecção de abóbadas. Na generalidade denominam-se cúpulas facetadas, existindo no entanto o caso particular derivado do quadrado que tem o nome de Barrete de Clérigo devido à analogia da sua forma.

É usual também que a base onde assenta a cúpula seja de forma poligonal com um número de lados par. Caso seja um número ímpar, a cúpula deriva da intersecção de meias abóbadas uma vez que não existe apoio correspondente no lado oposto do polígono da base.

Cúpulas derivadas da intersecção de abóbadas

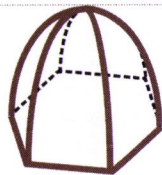


FIG. IV.41

Cúpula facetada com um número de lados par. Resulta da intersecção das superfícies curvas, abóbadas, que contêm dois segmentos de lados opostos. A base tem formato poligonal, usualmente regular. No caso em análise pode ser descrito como a intersecção de três abóbadas.



FIG. IV.42

Cúpula facetada com um número de lados ímpar. Resulta da intersecção das superfícies curvas, abóbadas, que contêm um segmento de cada lado da base. Esta tem formato poligonal, usualmente regular. No caso em análise pode ser descrito como a intersecção de cinco abóbadas (apenas metade aparente).



FIG. IV.43

Cúpula de Claustro ou Barrete de Clérigo Resulta da cobertura de uma base quadrada com superfícies curvas. Este tipo de cúpula pode ser descrito como intersecção de duas abóbadas de secção ogival ou mesmo semicircular. Trata-se de um caso particular da cúpula facetada com o número de lados par.



FIG. IV.44

Cúpula de lunetas ou intersecção de abóbadas Esta cúpula tem origem na intersecção de duas ou mais abóbadas. A sua particularidade reside no facto de a intersecção não terminar nas ogivas (linha de intersecção entre abóbadas). Trata-se da redução da abóbada de cruzeiro aos apoios (pendentes) onde estas se cruzam, ou seja na figura apresentada, a cúpula de lunetas resulta do negativo da cúpula de claustro. Este tipo de cúpula é usualmente utilizada para a abertura de vãos de iluminação/ventilação em coberturas.

³ Op. Cit. (2)

Da derivação de uma cúpula hemisférica, através da sua adaptação a uma base poligonal, obtém-se por secção, as denominadas cúpulas de pendentes. Considerando um polígono inscrito na circunferência da base, produzem-se secções na cúpula com planos verticais cuja nascença se faz a partir do lado de cada polígono. A mais usual tem como base o quadrado, tendo nesse caso a denominação específica de cúpula de boémia. Caso o número de secções seja superior a quatro, identifica-se com o número total de apoios, por exemplo cúpula de cinco pendentes, no caso de se apoiar no pentágono.

Cúpula de pendentes

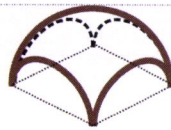


FIG. IV.45

Cúpula de Boémia ou de Pendentes

Resulta da secção da cúpula hemisférica segundo quatro planos que definem em projecção horizontal um quadrado inscrito no maior círculo da referida cúpula.

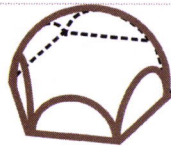


FIG. IV.46

Cúpula de Seis Pendentes

Resulta da secção da cúpula hemisférica segundo seis planos que definem em projecção horizontal um hexágono inscrito no maior círculo da referida cúpula.

A associação de cúpulas, nos conceitos anteriormente citados pode originar situações como as que se seguem:

Associação de cúpulas

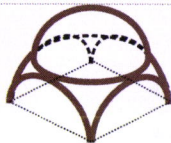


FIG. IV.47

Cúpula Bizantina ou Sobre Pendentes

Resulta da sobreposição de uma cúpula hemisférica sobre uma cúpula de boémia, tendo como nascença os pontos de maior cota das secções produzidas na cúpula anteriormente referida.

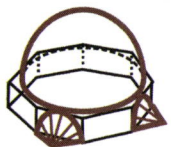


FIG. IV.48

Cúpula hemisférica apoiada em trompas cónicas de base octogonal

A partir de uma planta de configuração quadrada, inicia-se um processo de aumento do número de lados do polígono da base de forma a receber uma cúpula hemisférica. Os apoios necessários para o suporte no octógono na zona em que este permanece fora do alinhamento da base são preenchidos com troncos de cone os quais se denominam de trompas.

As soluções geométricas apresentadas são apenas uma parte de um universo relativamente extenso, salientando-se sempre que o vencimento de vãos com o material terra está sempre sujeito à criação de arcos.

No entanto, salienta-se que sempre que existam curvaturas inversas à do arco, por exemplo curvas catenárias, a aplicação dessas geometrias não tem aplicabilidade no material terra crua, uma vez que este apenas resiste à compressão, e essas formas introduzem esforços de tracção nas superfícies, conforme enunciado no capítulo 1.7.2..

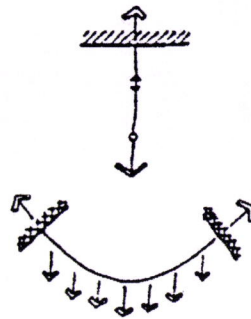


FIG. IV.49 – Família estrutural tipo – Tracção ⁴

Superfícies de dupla curvatura de sentidos contrários

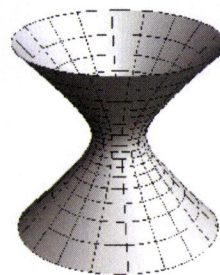


FIG. IV.50– Hiperbolóide de revolução

⁴ Op. Cit. (1)

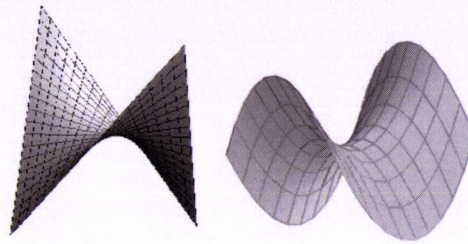


FIG. IV.51 – Parabolóide hiperbólico

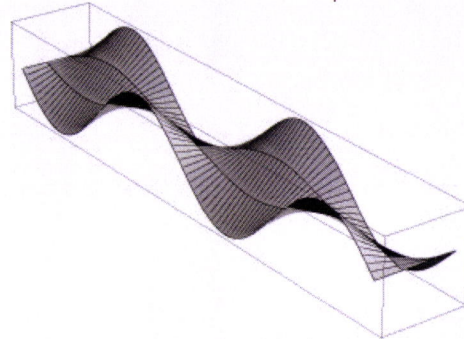


FIG. IV.52 – Cilindroide

Nas figuras apresentadas é patente a existência de curvaturas semelhantes às descritas na figura IV.49 para as famílias estruturais tipo. Apesar de em alguns casos existirem semelhanças formais e conceptuais com as abóbadas e cúpulas, este tipo de superfícies não se inscreve no grupo de formas para os materiais compressíveis. Aliás, as formas apresentadas têm geralmente como materiais de construção associados aqueles que têm características traccionáveis, nomeadamente os têxteis.

Para a prossecução do presente trabalho, ir-se-ão analisar os grupos de classificação dos sistemas construtivos em terra crua, anteriormente expostos, justificando a aplicabilidade ou não do processo construtivo às geometrias identificadas, através das análises planimétrica e tridimensional.

Do ponto de vista operativo, as classificações anteriormente enunciadas surgirão sob a forma de quadros de análise aplicados a cada grupo de sistema construtivo. Dentro dos referidos quadros existirá a divisão entre análise planimétrica e análise tridimensional, sendo que os ícones de identificação respeitam os elementos gráficos produzidos, devidamente hierarquizados.

Legenda dos Quadros de Análise

Análise Planimétrica



Planta Livre



Planta Condicionada



Ao vão



Planta circular



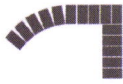
Molde curvo



Molde plano



Combinação de moldes



Planta semilivre

Análise Tridimensional



Arcos



Cônico



Ogival



Catenária ou parabólica



Semicircular



Abatido



Segmentado



Cachorra-
mento



Com
estrutura



Abóbadas



Cônica



Ogival



Catenária ou
parabólica



Semicircular



Abatida



Segmentada



Cachorra-
mento



Com
estrutura



Cúpulas



Cônica



Ogival



Catenária ou
parabólica



Hemisférica



Abatida



Segmentada



Cachorra-
mento



Barrete de
clérigo



Facetada (n)
par



Facetada (n)
ímpar



De Lunetas



De boémia



De
pendentes



Bizantina



Sobre
trompas

4.2 Geometrias de suporte nos processos construtivos

4.2.1 Terra por subtracção terra escavada

Este processo construtivo difere de todos os outros uma vez que é produzido a partir da subtracção de matéria para a criação de espaço. Como principal condicionante tem-se a necessária contenção periférica de modo a que o espaço escavado não entre em colapso.

Na sequência do que foi referido anteriormente salienta-se que neste processo construtivo existe a criação de: plano vertical (parede); de arco/vão; de abóbada; e de cúpula.

Apesar de se tratar de um dos métodos de construção em terra crua, o seu processo geométrico difere dos outros na medida em que a subtracção de matéria para a criação de espaço sempre que utilizada é apresentada segundo um todo.

As paredes dependem da dimensão e configuração do vão, o vão está por sua vez dependente do tipo de solo e das características mecânicas do mesmo. Trata-se de um processo construtivo holístico em que os elementos constituintes se configuram de forma global. A parede e o tecto são um só, e ambos surgem num só momento. Não é possível identificar se surge primeiro a parede ou o tecto.

Análise Planimétrica



FIG. IV.53 – TUNÍSIA, Matmatá

Na imagem IV.53 apresenta-se um pátio escavado de acesso às construções, e apesar de na imagem ser visível um ângulo recto, para este sistema de construção em terra crua a configuração da planta é livre uma vez que não existe vencimento de vão associado. Pode ser no entanto a planta geometrizada de forma a melhorar a utilização do espaço.

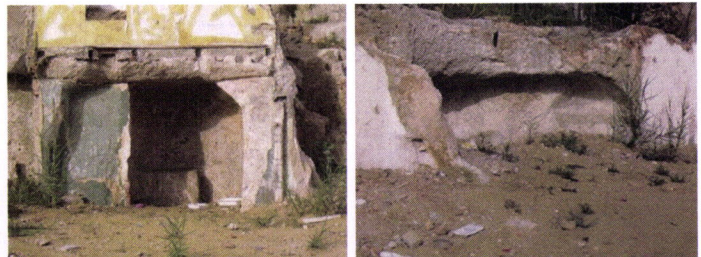


FIG. IV.54 – PORTUGAL – Lisboa

Sempre que se verifique um processo de vencimento de vão (fig. IV.54) a planta está condicionada ao mesmo e a geometria da planta resulta quer da disponibilidade que o terreno apresenta em ser modelado (escavado), quer na capacidade de vencer o referido vão. No entanto não existe condicionante directa à forma conferida pelo processo construtivo.

Análise Tridimensional



A construção dos arcos é possível e encontra-se interdependente com a construção de abóbadas e cúpulas. Este processo inclui todos os tipos de arcos analisados, não existindo no entanto os arcos por cachorrimento e cónico uma vez que este processo construtivo tem um carácter monolítico. (ver observações p. 163)



Na anterior figura IV.54 podem-se verificar o resquício de uma abóbada segmentada e de uma abatida, que pelo facto de estarem seccionadas demonstram o arco.

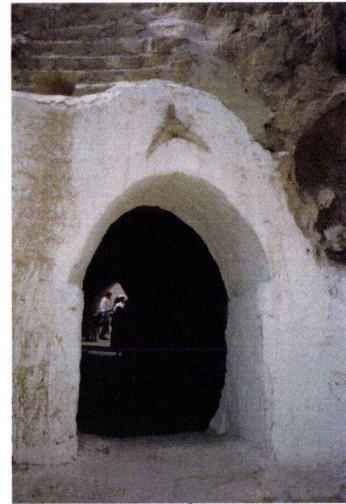


FIG. IV.55– TUNÍSIA – Matmatá



Na sequência da verificação dos arcos, é possível constatar a existência de abóbadas dentro do mesmo princípio que se verificou para os mesmos.

A interdependência formal, conceptual e construtiva é transportada para este grupo de geometrias



Na fig. IV.56 pode verificar-se a existência de mais do que uma abóbada de volta perfeita, bem como as intersecções entre elas (este acontecimento remete para o grupo seguinte da análise de cúpulas).



FIG. IV.56 – AUSTRÁLIA,
Cobber Pedi.⁵



Na figura IV.57 exemplo de uma abóbada do tipo ogival numa habitação. Muito embora na imagem apresentada não se vislumbra de forma clara a aresta da intersecção das duas partes da abóbada, considerou-se estar perante uma abóbada ogival.

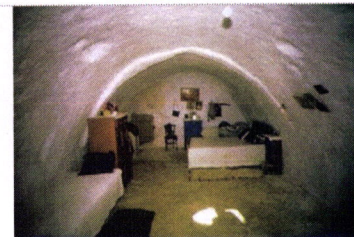


FIG. IV.57– CHINA⁶



Na imagem IV.58, para além do arco catenário existe também uma abóbada do mesmo tipo, resultante da translação do referido arco. Arco escavado na terra de acesso a uma galeria subterrânea.

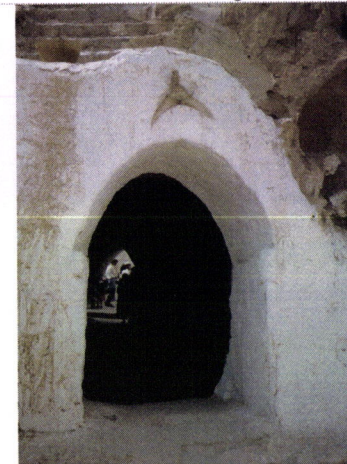
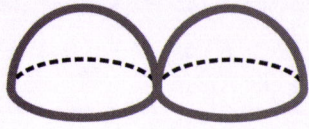


FIG. IV.58– TUNÍSIA - Matmatá

⁵ MAÏNI, Satprem. AUROVILLE EARTH INSTITUTE [em linha] : *Earth as a raw material*. Auroshilpam: Auroville Earth Institute, 2004 [referência de 1 de Setembro de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=2>>

⁶ Op. Cit (5)



Pela aplicação da mesma lógica no que respeita às abóbadas em relação aos arcos, nas cúpulas o princípio é o mesmo. A construção destas é possível dentro das limitações técnicas e do material de construção. Acrescenta-se que nos casos de construção com terra escavada a terminação da abóbada por vezes se faz com uma abside. Esta por sua vez resulta numa cobertura em meia cúpula, o que transporta a forma do arco para a planta.

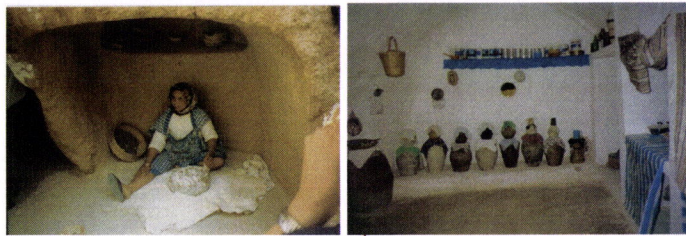


FIG. IV.59– TUNÍSIA - Matmatá

Nas figuras IV.59 exemplifica-se o processo de terminação da abóbada com a meia cúpula.

Observações: Falência do arco cónico e em consola devido às cargas instaladas. Uma vez que toda a envolvente está preenchida por terra, o resultado final do colapso dos arcos será ou o enchimento completo do vão, ou poderá dar-se o fenómeno de o vão fracturar segundo uma curva estável, curva essa definida pelo arco de compressão. Isto é, a fractura dá-se pelo facto de existirem áreas em tracção.

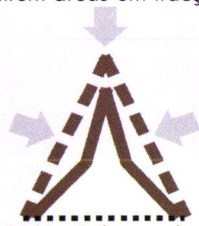


FIG. IV.60– Falência do cone.

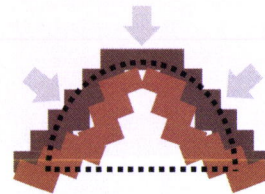


FIG. IV.61– Falência do arco por cachorrimento.

4.2.2 Terra trabalhada manualmente terra modelada

Neste processo construtivo existem limitações estruturais na sua utilização. Essas limitações traduzem-se em escala. As construções, tal como se referiu no capítulo anterior são, de uma forma simples, obras de olaria habitáveis. A principal geometria utilizada em planta é o círculo, por questões de estabilidade e resistência, uma vez que é nessa geometria que se consegue maior eficácia do conjunto.

Análise Planimétrica



Por princípio, e no pressuposto da inexistência de um vão a vencer a planta é livre não havendo condicionante da forma para a sua aplicação.

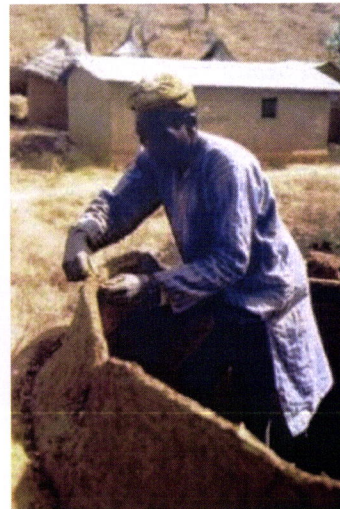
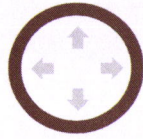


FIG. IV.62 – NIGÉRIA⁷

⁷ Figuras IV.62 a IV.65 – Op. Cit. (5) - Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=9> >

D



A planta circular é a que se traduz numa maior eficácia formal uma vez que as cargas são encaminhadas de forma uniforme. Trata-se, neste caso, de um processo de construção numa escala relativamente pequena.

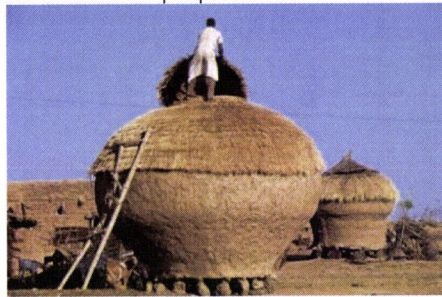


FIG. IV.63 – TOGO

Objecto composto por uma cobertura de configuração hemisférica com um embasamento derivado de um tronco de um hiperbolóide de revolução.

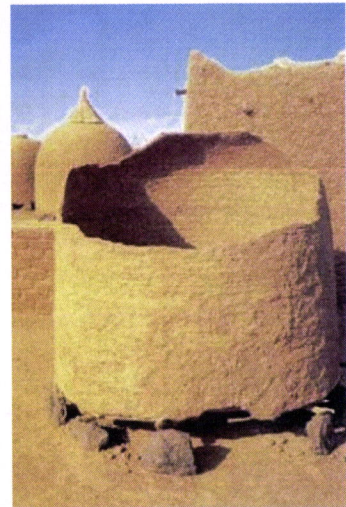


FIG. IV.64 – CAMARÕES.

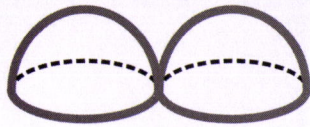
Análise Tridimensional



Os arcos neste tipo de construções estão contemplados apenas no processo de geração das cúpulas, uma vez que não existem abóbadas. Tal facto deve-se à fragilidade das construções.



Não se verificam.



Verificam-se, para este subsistema construtivo, as cúpulas hemisféricas e as ogivais.

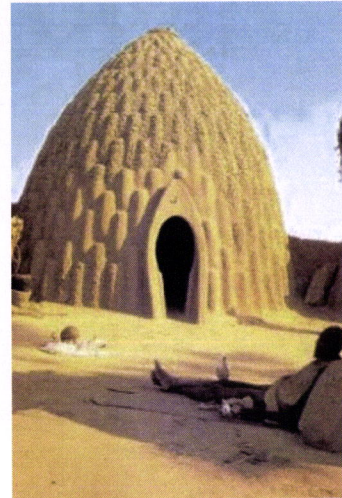
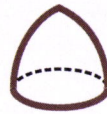


Figura IV.65 – Construção constituída por uma cúpula ogival. Note-se que não existe elemento diferenciador entre o solo e a construção. Tal é possível devido à pluviosidade nula ou quase nula. O aspecto nervurado da superfície, para além do interessante efeito estético que confere à construção, tem a função de aumentar a resistência da superfície criada, estabelecendo elementos de ligação vertical que distribuem as cargas. Desconhece-se se as nervuras cobrem algum tipo de elemento estrutural, como por exemplo troncos.

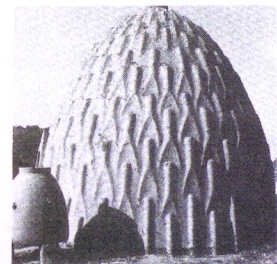


FIG. IV.65– CAMARÕES⁸

⁸ DETHIER, Jean, *ARQUITECTURAS DE TERRA: TRUNFOS E POTENCIALIDADES DE UM MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DESCONHECIDO: EUROPA, TERCEIRO-MUNDO, ESTADOS UNIDOS*. - Lisboa: ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão, trad. Helena Cardoso . FCG, 1993 [D.L. 1995], p. 40

4.2.3 Terra simplesmente empilhada

terra empilhada
torrões de terra
pães de terra

Esta metodologia é utilizada em várias zonas do globo, sendo na Europa usada essencialmente para a criação de alvenaria autoportante. Nos casos africanos e asiáticos é utilizada como um processo global de construção. No que concerne à conclusão da construção e remate com o céu esta faz-se usualmente com a associação de outras técnicas construtivas tais como coberturas em estrutura de madeira ou mesmo coberturas planas com a terra como material de acabamento.

Assim, cabe neste grupo analisar essencialmente a configuração planimétrica, a abertura de vãos nos paramentos, e os casos em que as construções resultantes deste processo construtivo vencem vãos de cobertura.

O estado físico do material utilizado neste sistema, que é entre o estado húmido e o líquido faz com que a criação de vãos e vencimento destes esteja limitada a elementos de grande verticalidade.

Análise Planimétrica

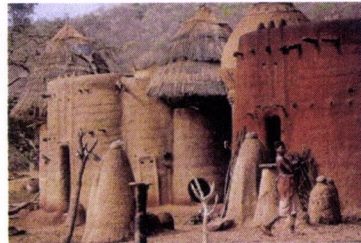


FIG. IV.66 – BÉNIM –
Bètamaribé.⁹



FIG. IV.67 – BURKINA FASO –
Tangassoko.

Nos casos em que a planta não está dependente do vencimento de um vão a configuração desta é livre. Nas figuras IV.66 e IV.67 a aparência orgânica destas é patente, o que indicia um grau de liberdade formal grande. O facto de a planta ser livre não implica necessariamente que esta não tenha uma forma geometrizada.

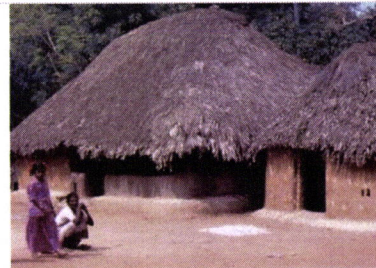


FIG. IV.68– ÍNDIA, Tamil Nadu

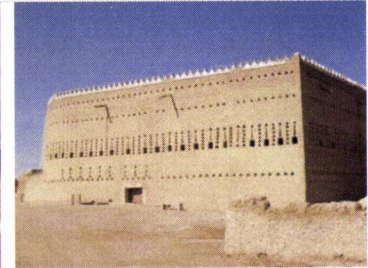


FIG. IV.69– ARÁBIA SAUDITA, Al
Diriyah

Planta livre. Não existe condicionante tridimensional para a construção dos panos de alvenaria. Apesar da aparência altamente geometrizada não existe, neste caso, condicionante formal e estático-resistente. A terra é empilhada e posteriormente aparelhada para lhe conferir o aspecto plano e regrado (gerado por rectas).

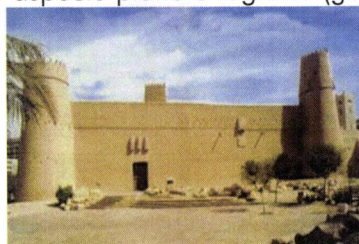


FIG. IV.70– ARÁBIA SAUDITA -
Riyadh

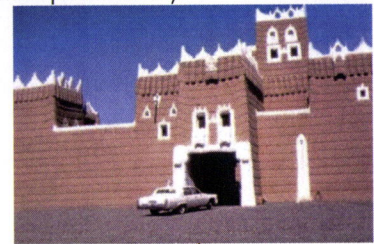


FIG. IV.71– ARÁBIA SAUDITA -
Najran

⁹ Figuras IV.66 a IV.77 – Op. Cit (5) – Disponível na Internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=10>>

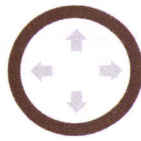
A utilização de elementos curvos como remate de paredes e forma de enaltecer pontos estratégicos da construção.

É utilizado o cilindro em combinação com o plano, seja por aresta ou por concordância de superfícies.



FIG. IV.72 – ARÁBIA SAUDITA - Umaizah.

D



Tal como referido anteriormente, a planta circunferencial é a que se traduz numa maior eficácia formal uma vez que as cargas são encaminhadas de forma uniforme.

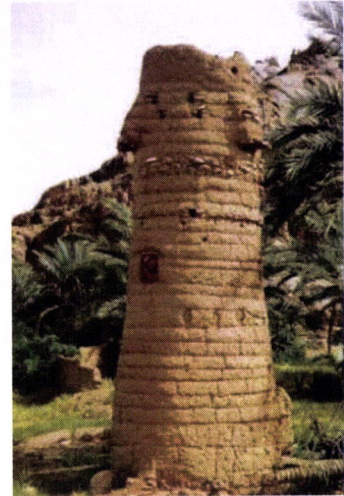


FIG. IV.73– ARÁBIA SAUDITA

Trata-se, neste caso, de um processo de construção numa escala que requer verticalidade (torre de observação) e derivado do estado físico em que o material construtivo é utilizado a forma de se atribuir maior resistência à construção é através do recurso à planta circular. A planta circular é também utilizada como geometria de suporte estável na criação de um elemento isolado e independente. Esta forma está associada a elementos de marcação e qualificação espacial – o mito da Torre.

Análise Tridimensional



Os arcos neste tipo de construções estão contemplados apenas no processo de abertura de vãos em superfícies, uma vez que não existem abóbadas. Tal facto deve-se ao estado físico em que o material é utilizado.

Assim, a abertura de vãos, bem como a construção de cúpulas está condicionada a um alongamento na vertical de forma a ser possível vencer o vão.

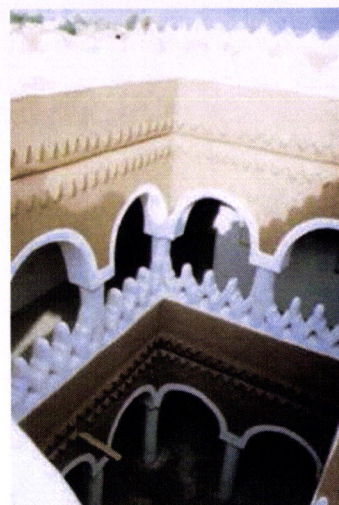
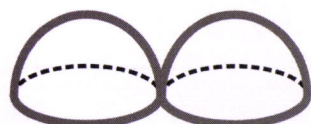


FIG. IV.74 – ARÁBIA SAUDITA - Najran



Não se verificam.



O vencimento dos vãos com a terra empilhada como material de suporte aparece com a cúpula catenária ou parabólica e com a cúpula cónica de configuração muito fechada. Tal deve-se, como já foi referido, ao facto de o material ser utilizado num estado físico menos favorável ao vencimento de vãos sem recurso a cimbrês. Nos casos apresentados constata-se a existência de estruturas de madeira que funcionam como elementos de travamento dos panos das alvenarias.



Na figura IV.75 apesar da secção aparentar ser cônica, existe uma curvatura que leva a interpretar uma aproximação à cúpula em barrete de clérigo.

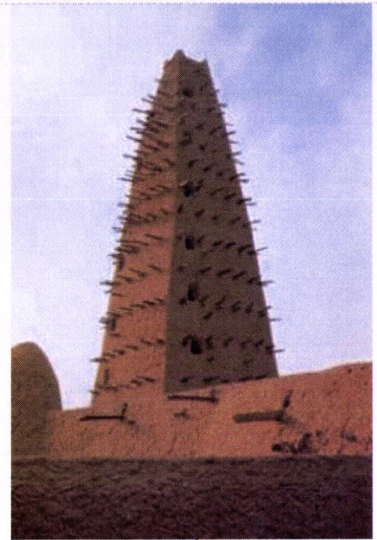


FIG. IV.75 – NÍGER - Agadez



FIG. IV.76 – BURKINA FASO -
Bobodioulasso.

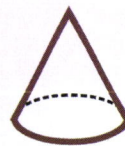


FIG. IV.77 – MALI – Mopti

O vencimento de vãos é usualmente reforçado e atingido através do uso de elementos estruturais auxiliares, quer travamentos dos paramentos, quer nas padieiras. O vencimento de vãos sem auxílio de cimbres faz-se, neste caso em análise, com formas muito alongadas na vertical, e de curta largura. A sua forma mais usual é a cônica, a catenária e o barrete de clérigo.

4.2.4 Terra empilhada com recurso a molde

- terra palha
- terra plástica
- terra de enchimento
- taipa

Na utilização da terra crua com recurso a molde, as geometrias apresentadas estão sempre condicionadas à forma prévia. A forma prévia é dada em negativo pelo molde.

Ora, na produção geométrica de construções com este tipo de material construtivo a forma de maior importância é a do molde, e o grau de dificuldade de produção do molde é que condiciona a aparência de construções com maior ou menor grau de complexidade.

Atendendo a que usualmente os materiais mais utilizados para a produção de moldes são o aço e a madeira, e que para o seu manuseamento estes são utilizados sob a forma laminar, a aparência das construções em terra crua recorrentes a este processo construtivo ficam dependentes do carácter laminar e planificável que estes moldes lhe conferem. É possível criar superfícies de dupla curvatura de sentidos inversos a partir de elementos rectos, mas não a partir de elementos laminares planos, o que condiciona de forma decisiva as geometrias das construções.

Por outro lado não é frequente encontrar casos práticos que utilizem a terra crua com recurso a molde como criação de coberturas (abóbadas e cúpulas), sendo o vencimento de vãos condicionado a um molde que usualmente se repete várias vezes.

Outro processo construtivo que recorre à utilização de molde é, o já anteriormente identificado sistema de terra de enchimento, que deve ser

encarado como um sistema de molde (cofragem) perdido. As mangas de terra ou sacos de terra permitem uma utilização do material terra, devidamente contido em molde, numa vertente muito mais liberal e orgânica. Este processo construtivo resolve vãos em cúpula, especialmente hemisféricos; ogivais; e parabólicos ou catenários, ao contrário do que acontece com os processos recorrentes aos moldes laminares.

Assim, a análise deste grupo de sistemas construtivos divide-se em dois subgrupos: Terra empilhada com recurso a molde laminar e terra empilhada com recurso a sacos e tubos de terra.

Molde Laminar Análise Planimétrica



FIG. IV.78 – PORTUGAL - Serpa

A taipa é produzida por segmentos que dependem directamente dos moldes utilizados. A alvenaria aparece sob a forma plana. Nos casos apresentados existem elementos decorativos que ligam os vários lintéis de terra. A sua função para além da decorativa é também melhorar as uniões entre os troços de terra apiloada. Neste conjunto o taipal é de tábua de madeira aparelhada com enchó.

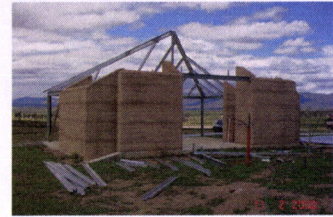
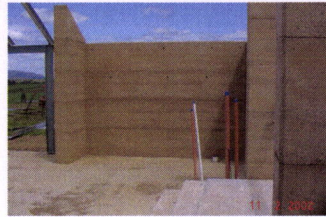


FIG. IV.79– AUSTRÁLIA – Sweetwater.¹⁰

Terra utilizada sob a forma de taipa estabilizada. Foi utilizado no caso em análise cofragem em painel de aço, o que se torna visível nos furos dos esticadores. Salienta-se também o carácter misto da estrutura edificada que recorre ao perfil metálico para construção dos elementos de cobertura. A aparência do material depois de aplicado é muito semelhante ao betão, muito embora com a coloração dependente da terra utilizada e do estabilizante, clareando o material quando se utiliza a cal e escurecendo com o cimento.

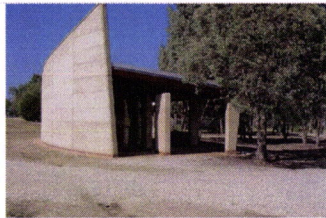


FIG. IV.80– AUSTRALIA - Tidbinbilla¹¹

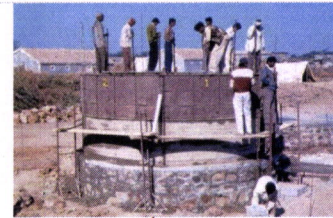


FIG. IV.81– ÍNDIA - Gujarat¹²



Fig. IV.80 a IV.82 – A construção de paredes curvas com recurso à presente técnica construtiva depende de painéis de cofragem curvos, que, pela sua complexidade, são utilizados de forma menos frequente. A combinação de painéis curvos permite a produção de paredes curvas e contra-curvadas, caso a cofragem seja reutilizável.

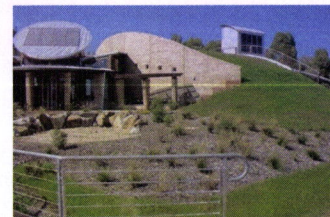
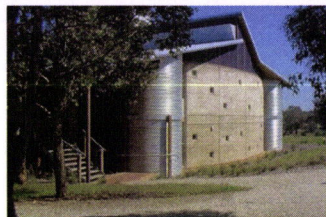


Fig IV. FIG. IV.82 – AUSTRALIA - Tidbinbilla

¹⁰ *EARTH BUILDING RESEARCH FORUM* [em linha]. Sweetwater - Rammed Earth Residence Four Units. - Sydney: University of Technology Sydney, 2004. [referência de 20 Junho de 2003]. Disponível na Internet em: <<http://www.dab.uts.edu.au/ebi/gallery2/sweetwater>>

¹¹ Figuras IV.80 e IV.82 a IV.84 – Op. Cit. (10) Tidbinbilla, Cement Stabilised Pressed Earth Blocks Nature Centre – Disponível na Internet em: <<http://www.dab.uts.edu.au/ebi/gallery2/Tidbinbilla>>

¹² Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em: <<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=7>>

Análise Tridimensional



Os arcos neste tipo de construções estão contemplados apenas no processo de abertura de vãos em superfícies, uma vez que não existem abóbadas nem cúpulas. Tal facto deve-se à dificuldade de produção de moldes que oneram de forma decisiva a construção.

Apesar de na imagem se sugerir a possibilidade de abertura de vãos ogivais, certo é que, uma vez que esta técnica construtiva se faz com recurso a moldes, para a abertura de vãos também é necessária a utilização de negativos na cofragem ou de cimbrês com a geometria que pretender dar ao vão. Está, no entanto, a abertura do vão condicionada ao conjunto de vãos em arco.

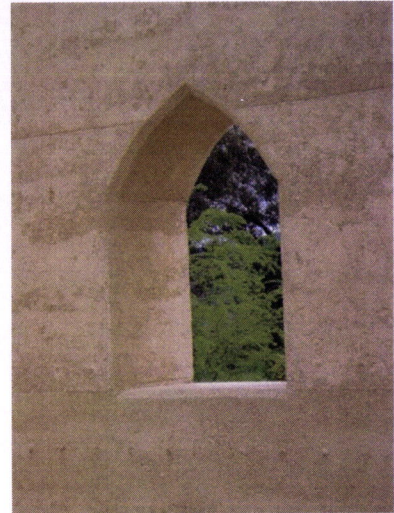


FIG. IV.83– AUSTRALIA - Tidbinbilla

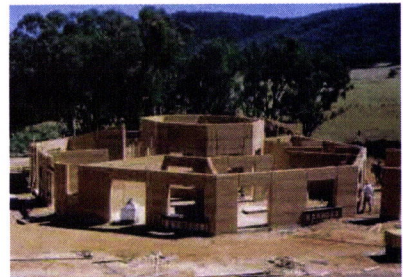
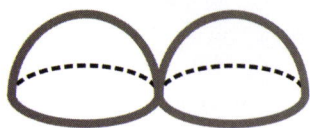


FIG. IV.84– AUSTRALIA - Tidbinbilla



Não se verificam.



Não se verificam.

Observações: Na figura IV.84 os vãos não são vencidos com recurso a um arco, mas sim num processo de padieira em viga. Tal deve-se às boas características da taipa estabilizada, bem como à associação de outros materiais como por exemplo o aço.

Tubos e Sacos de Terra Análise Planimétrica



A utilização dos sacos de terra/magas de terra na construção de edifícios de planta circular. O primeiro conjunto de lintéis destina-se à construção de paredes que se desenvolvem na vertical. Numa segunda fase inicia-se a curvatura para a produção da cúpula.

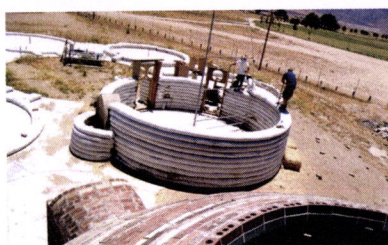


FIG. IV.85- CALIFORNIA - Hesperia¹³

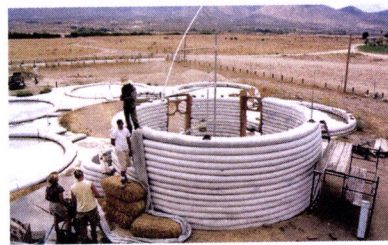


FIG. IV.86- CALIFORNIA - Hesperia

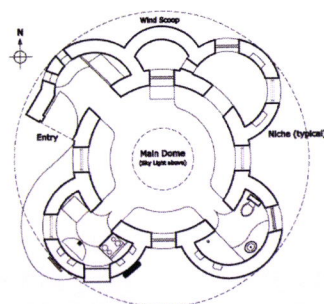
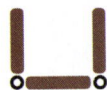


FIG. IV.87- À esquerda - CALIFORNIA - Hesperia - aspecto da planta de génese circular da casa "Moon Cocoon".



Os sacos de terra podem ter a utilização de enchimento de um vão criado, suportado por uma estrutura. O pano de alvenaria pode ser neste caso reticulado.

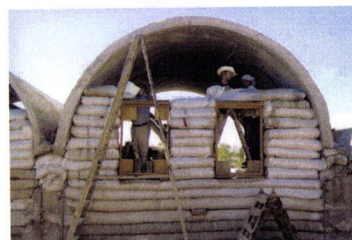
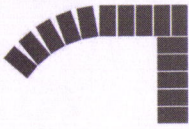


FIG. IV.88- CALIFORNIA - Hesperia

¹³ Figuras IV.85 a IV.99 - CALEARTH [em linha] California Institute of Earth Art and Architecture. Hesperia: Geltaftan Foundation, 2004. [data de referência de 2 de Novembro de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.calearth.org/>>



Na utilização dos sacos e mangas de terra as geometrias de suporte estão dependentes da maleabilidade dos mesmos, pelo que a unidade básica de construção condiciona as geometrias utilizadas, podendo ser possível conferir a uma construção um aspecto orgânico, muito embora controlado.

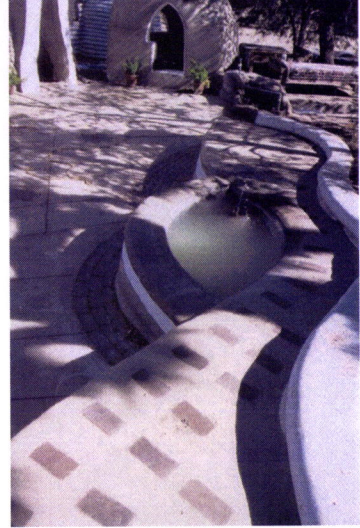
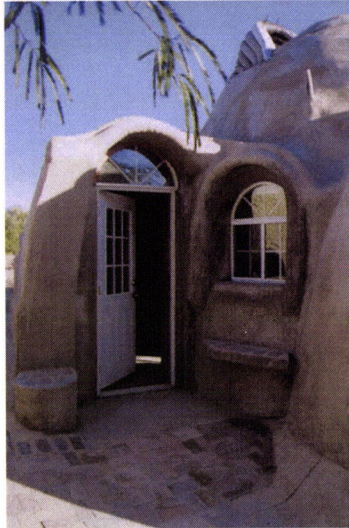


FIG. IV.89- CALIFORNIA - Hesperia

Análise Tridimensional



Com o sistema construtivo de sacos de terra é possível a abertura de vãos, muito embora de forma condicionada ou a um cimbri (fig. IV.88) ou como no caso da figura IV.90 apesar de na imagem o arco ter uma aparência ogival, a sua composição formal corresponde a um arco por cachorrimento.

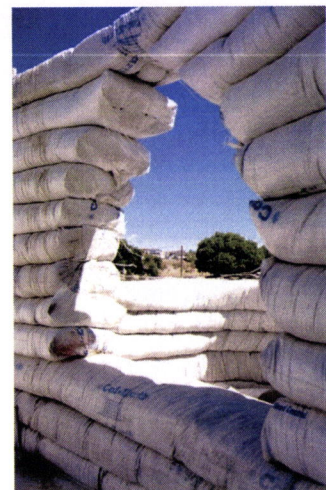


FIG. IV.90- CALIFORNIA - Hesperia



Depois de terminados os arcos e de revestidas as alvenarias, no aspecto da construção é indistinto o processo de criação do vão.

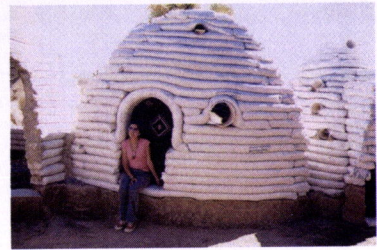
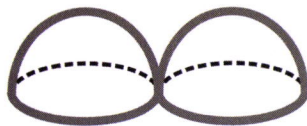


FIG. IV.91- CALIFORNIA - Hesperia



Não se verificam.



Na sequência deste processo construtivo, o vencimento de vãos é realizado com superfícies que derivam da rotação do arco catenário e do arco de volta perfeita. Tal deve-se à construção por sobreposição de lintéis cuja resistência se cinge à compressão, pelo que cúpulas derivadas da rotação de arcos abatidos, segmentados ou outros semelhantes não se aplicam a este processo construtivo. Assim, e por cachorrimento sucessivo dá-se o fecho da cúpula. A geometria das cúpulas recorrentes a este processo construtivo tem geralmente uma acentuada verticalidade.



FIG. IV.92- CALIFORNIA - Hesperia

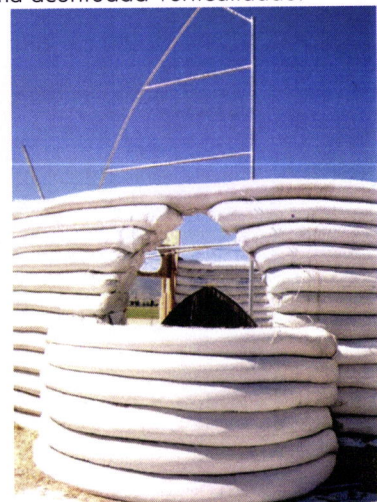


FIG. IV.93- CALIFORNIA - Hesperia

Início da construção da cúpula.

Salienta-se o elemento metálico giratório que serve para conferir o alinhamento da curvatura produzida, ou seja produzir virtualmente a cúpula.

Cúpula com configuração catenária ou parabólica.

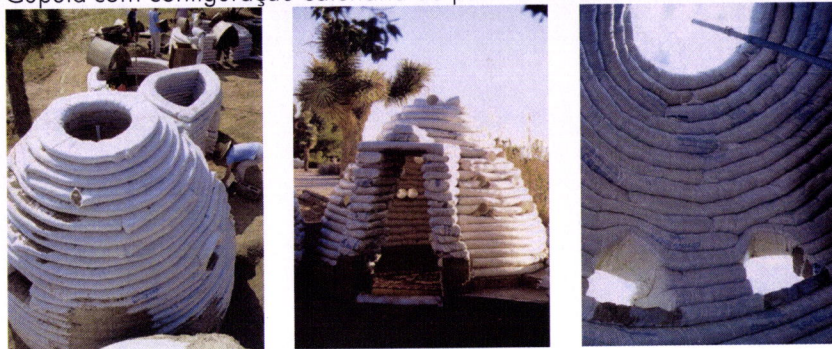


FIG. IV.94 – CALIFORNIA - Hesperia

Aspecto orgânico das construções, muito embora a planta esteja condicionada ao vão criado.

Esta técnica construtiva traduz-se no final num aspecto orgânico, tridimensional, e produz formas variadas. Nos casos apresentados existe inclusive um aspecto antropomórfico das construções, e a sua imagem remonta-nos a universos edificados rudimentares mas ao mesmo tempo futuristas.

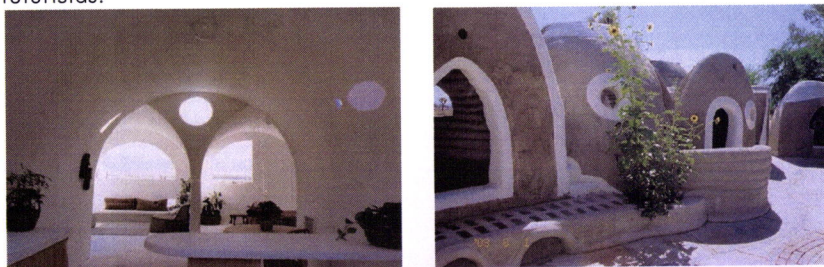


FIG. IV.95– CALIFORNIA - Hesperia

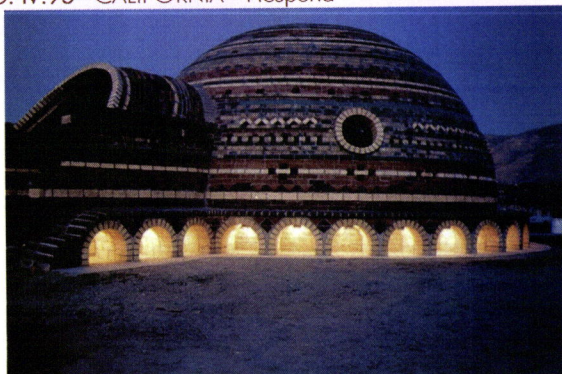


FIG. IV.96– CALIFORNIA – Hesperia – Exemplo de uma cúpula hemisférica.

Observações: Na figura IV.96 está patente uma abóbada, cuja construção não foi executada por sacos ou tubos de terra, mas sim por blocos, pelo que apenas a cúpula recorreu ao referido método de construção.

4.2.6 Terra geometrizada sob a forma de blocos

- blocos de terra cortada
- blocos de terra palha
- blocos comprimidos ou apilados
- adobes
- terra extrudida

Esta técnica construtiva é provavelmente a que maior potencialidade tem no que respeita às geometrias construtivas.

O seu fácil manuseamento, uma vez que a terra se encontra dividida por pequenos blocos, e o carácter potencialmente evolutivo da construção permite que execute quase todo o tipo de vãos apresentados, bem como as respectivas abóbadas e cúpulas.

Neste grupo construtivo, em que os pequenos blocos de terra se assemelham ao tijolo cozido tal como se conhece hoje, existiu a necessidade de encontrar processos de empilhamento do material para que se pudesse vencer vãos de forma a criar coberturas, cuja geometria se traduz no processo anteriormente citado para o vencimento de vãos.

Anteriormente apresentaram-se razões no sentido de apontar ao material terra crua a propriedade de poder ser apenas utilizado em compressão, e para isso foram criadas soluções recorrendo a maior ou menor nível de complexidade consoante o vão pretendido.

O procedimento geométrico de base é exactamente o mesmo que se aplica nos outros processos construtivos em terra crua, muito embora neste subgrupo a sua aplicação seja levada a casos mais elaborados e tecnicamente sofisticados.

Esta sofisticação remonta ao tempo dos egípcios que, ao longo dos tempos mantiveram a arte de construir em terra crua sob a forma essencialmente de adobes fabricados com as argilas extraídas das margens do Nilo.

Análise Planimétrica

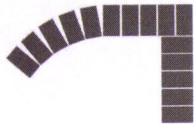


FIG. IV.97– PORTUGAL – Brejos de Azeitão

A construção de alvenarias em terra geometrizada em blocos permite, numa primeira abordagem, construir segundo paredes planas e rectilíneas, bem como é possível a utilização da curva. Assim numa primeira análise planimétrica não existe condicionante à geometria utilizada. Contudo, mesmo recorrendo à curva, este está dependente da unidade básica de organização/edificação que é o bloco.

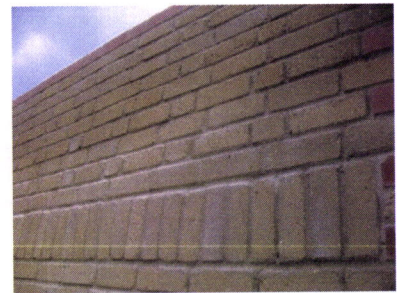
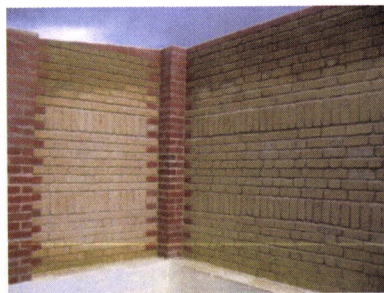


FIG. IV.98– PORTUGAL - Serpa

Utilização do Bloco de Terra Comprimida (BTC) na construção de uma parede exterior. Salienta-se a semelhança formal com o tijolo maciço (tijolo burro), o que leva a que seja possível estabelecer analogias formais entre as obras com os dois materiais. O BTC é um tijolo cru.

D

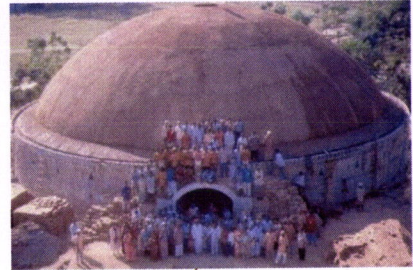
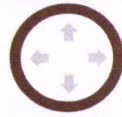


FIG. IV.99 – ÍNDIA - Poondi¹⁴

A planta circular, inserida neste processo construtivo tem especial importância no que respeita à construção de cúpulas, com maior incidência para as que têm como gênese a rotação do arco.



FIG. IV.100– ÍNDIA – Auroshilpam¹⁵

A planta encontra-se fortemente condicionada pelo vencimento do vão e da geometria deste. Tratando-se de abóbadas, a configuração da planta difere da geometria para a construção de cúpulas.

¹⁴ - Figura IV.99– Construção do Templo de Dhyanalinga em Poondi, próximo de Coimbatore, Tamil Nadu, Sul da Índia.- Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=13#photo>>

¹⁵ Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=5>>

Análise Tridimensional



A construção de arcos no sistema de terra geometrizada sob a forma de blocos está geralmente condicionada à utilização de cimbres ou cofragens.

É possível a construção de todo o tipo de arcos dentro dos identificados como executáveis em terra crua.



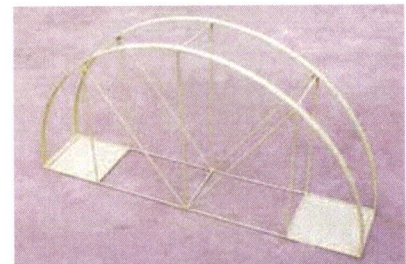
Construção de um arco segmentado com recurso a cimbres.



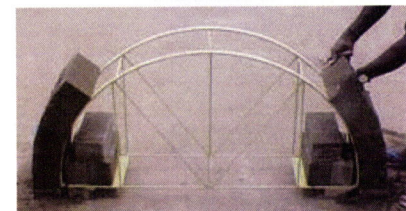
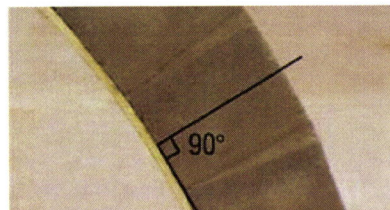
FIG. IV.101– ÍNDIA - Auroshilpam¹⁶



Início do assentamento dos blocos de terra de forma a produzir o arco. O cimbre tem a função de dirigir o assentamento dos blocos sem deformação.

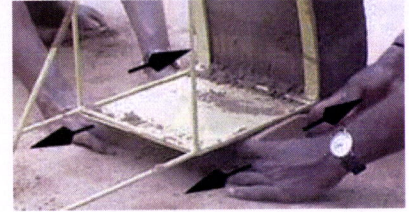


Os blocos à medida que vão sendo aplicados devem posicionar-se com o seu eixo na perpendicular à curva descrita pelo cimbre.

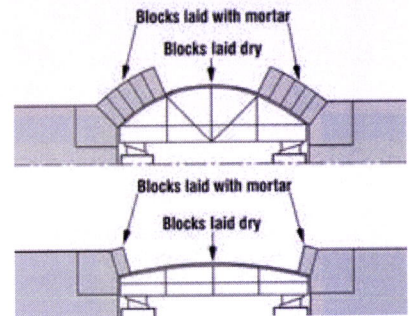


¹⁶ Figura IV.101 (Sequência da construção de um arco) – Op. Cit. (5) Disponível na Internet em: <http://www.earth-auroville.com/maintenance/uploaded_pics/04-AVD-construction.pdf>

O procedimento do assentamento dos blocos faz-se de forma simétrica por reflexão de modo a que no fim o fecho do arco seja garantido por uma peça apenas.



Uma vez que os blocos são paralelepípedicos as juntas de união das peças faz-se de forma triangular de modo a compensar a diferença entre blocos. Depois de completo retira-se o cimbre e o arco está em posição estável.



Na sequência do que se apresenta para os arcos, e entendendo que a abóbada resulta da sua translação, constata-se que este processo construtivo não tem limitações na execução deste tipo de geometrias. Neste sentido, as abóbadas apresentadas no início têm correlação directa neste grupo. Apresentam-se alguns exemplos.



Construção de uma abóbada sem recurso a cimbres. Técnica descrita por HASSAN FATHY no seu livro "Construire avec le peuple", segundo a denominada técnica nubiense (original de Núbia). Trata-se da chamada abóbada egípcia, que ainda nos dias de hoje se constrói desta forma, e que inspirou gerações de construtores e investigadores na área da terra crua que desenvolveram a referida técnica.

O autor descreve o processo de construção que, salienta, se inicia com a representação de arco parabólico desenhado misteriosamente na parede por um ancião que tem a responsabilidade de iniciar a construção. O arco, revestido a argamassa de argila na parede serve de alinhamento para o desenvolvimento da abóbada.

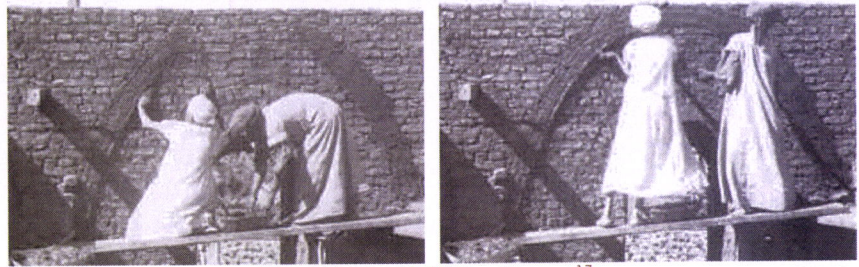


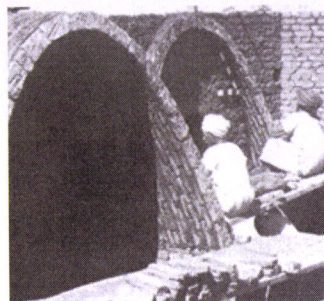
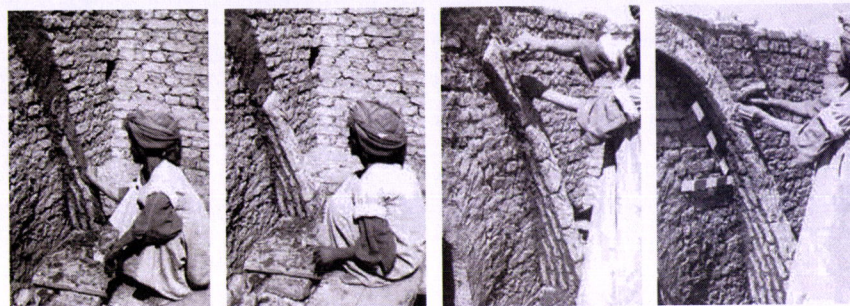
FIG. IV.102– EGIPTO - Gourna¹⁷

Segue-se o assentamento dos primeiros blocos de terra, que se faz de forma oblíqua à parede onde se inicia o assentamento de peças desencontradas umas das outras. As peças ao serem colocadas de forma oblíqua permitem que a abóbada se inicie tendo apenas o esforço de compressão.



À medida que vão assentando os blocos, este começam a inclinar de modo a acompanhar o arco representado em argamassa sobre a parede. As juntas do material são preenchidas com terra argilosa amassada e sob o estado plástico. As plaquetas de terra, descritas por FATHY têm em cada face dois riscos na diagonal, realizados com os dedos indicador e médio para que depois de secas possam ganhar melhor adesividade com a argamassa aplicada nas juntas.

¹⁷ Figura IV.102 (Sequência de figuras de construção de abóbada com a técnica nubiense)
FATHY, Hassan. *CONSTRUIRE AVEC LE PEUPLE: histoire d'un village d'Egypte, Gourna ...*; [Paris]: Sindbad, 1996. Figuras (Planches) 7 a 18



Atingido o topo do arco, inicia-se o processo de translação da curvatura definida.

Iniciada a abóbada, com todas as peças a funcionar em compressão, esta pode-se desenvolver até encontrar a parede oposta ou mesmo outra abóbada que se inicie em sentido contrário.



A técnica apresentada tem aplicação na construção de abóbadas com outras configurações nomeadamente ogivais e de volta perfeita. As imagens apresentadas são de obras relativamente recentes (2001 a 2003) e resultam da investigação do grupo Auroville.

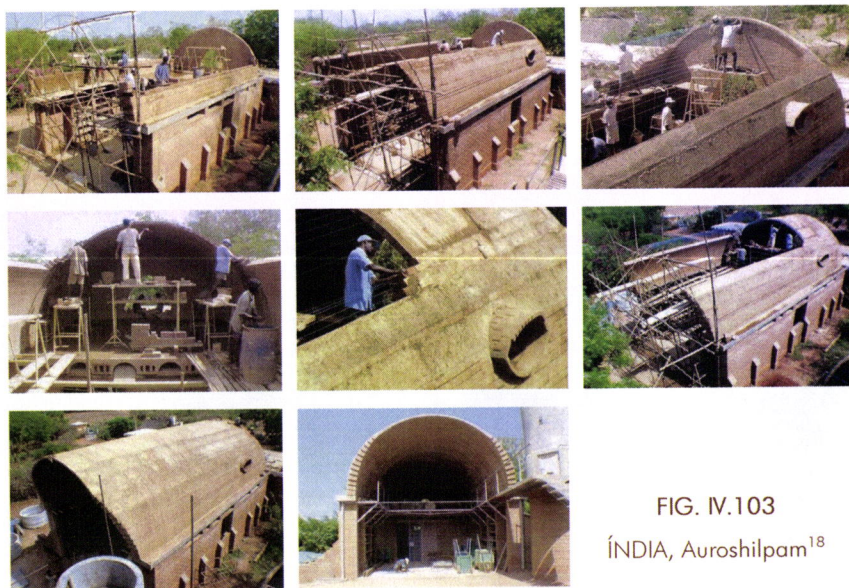


FIG. IV.103
ÍNDIA, Auroshilpam¹⁸

¹⁸ Figura IV.103 (Sequência de construção de uma abóbada de volta perfeita) – Op. Cit. (5)
Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=9> >



A abóbada ogival desenvolve-se nos mesmos pressupostos que foram descritos por HASSAN FATHY, apenas com a diferença em que os apoios laterais da abóbada se constroem em curvatura até ao ponto de perda da sua estabilidade. A partir daí inicia-se o desenvolvimento da cobertura da abóbada segundo travamentos oblíquos das peças de modo a evitar esforços de tracção.



FIG. IV.104 – ÍNDIA - Auroshilpam¹⁹

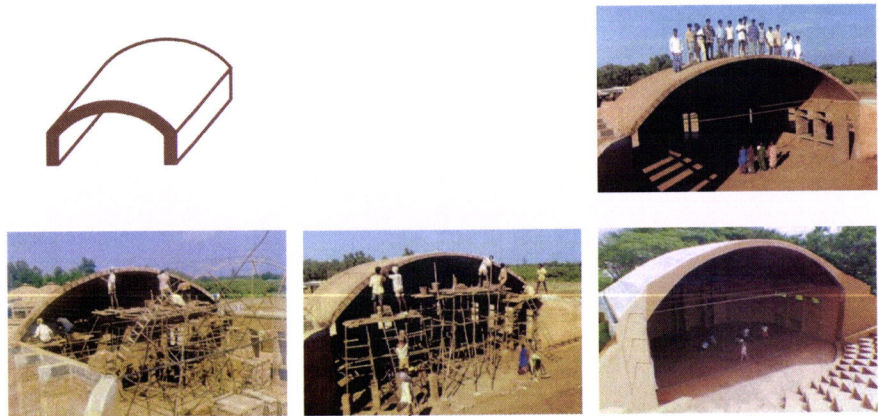


FIG. IV.105– ÍNDIA - Mirramuki²⁰

Construção de um anfiteatro com um vão de 10,35 metros, flecha de 2,25 metros, 6 metros de profundidade, e 17,7 cm de espessura junto aos apoios e de 14 cm a meio vão.

¹⁹ Figura IV.104 (Sequência de figuras da construção de uma abóbada ogival)
Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=11> >

²⁰ Figura IV.105 (Sequência de figuras da construção de uma abóbada segmentada)
Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=>>

Fecho de uma abóbada segmentada depois de encontrados os dois lados da abóbada. A chave ou peça de fecho é cortada de forma a entrar com a configuração de cunha, o que é semelhante às abóbadas em pedra.

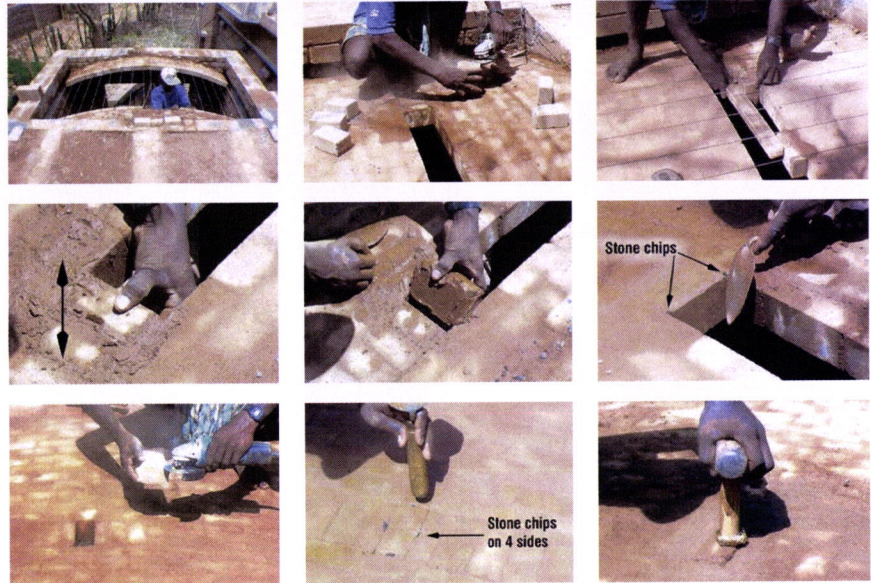
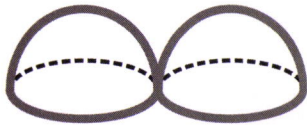


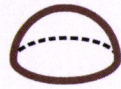
FIG. IV.106 – ÍNDIA - Auroshilpam ²¹



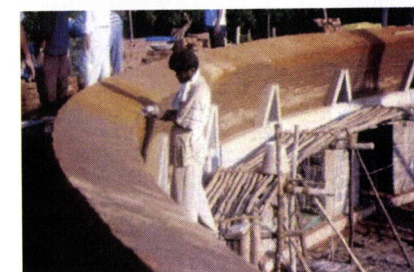
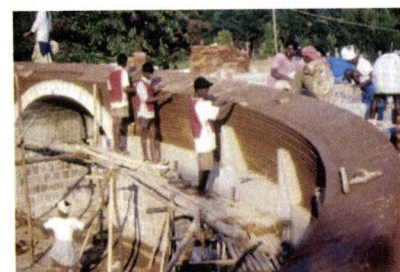
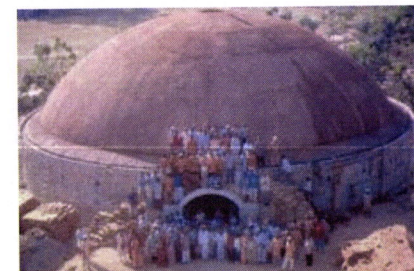
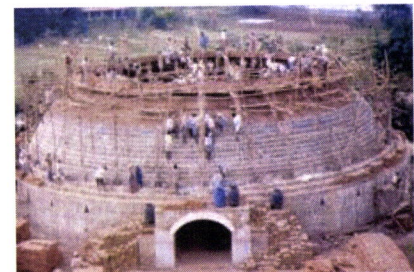
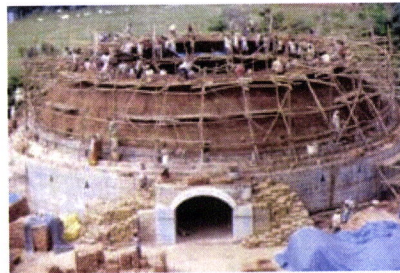
Da análise da aplicação da geometria das cúpulas no sistema construtivo em terra crua, é no subgrupo de terra geometrizada em blocos que se encontra a maior quantidade de exemplares, e de soluções construtivas tecnicamente mais complexas.

Assim, do universo de cúpulas abarcado no início do capítulo, todas são possíveis de executar.

²¹ Figura IV.106– Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=4>>



A cúpula hemisférica é por natureza o paradigma das cúpulas, associada na sua forma a elementos que geralmente estão ligados com o Além e o oculto. A meia esfera é uma forma que está associada usualmente a templos, monumentos, etc., e tem projecção naquilo que rodeia o homem, tal como os astros.



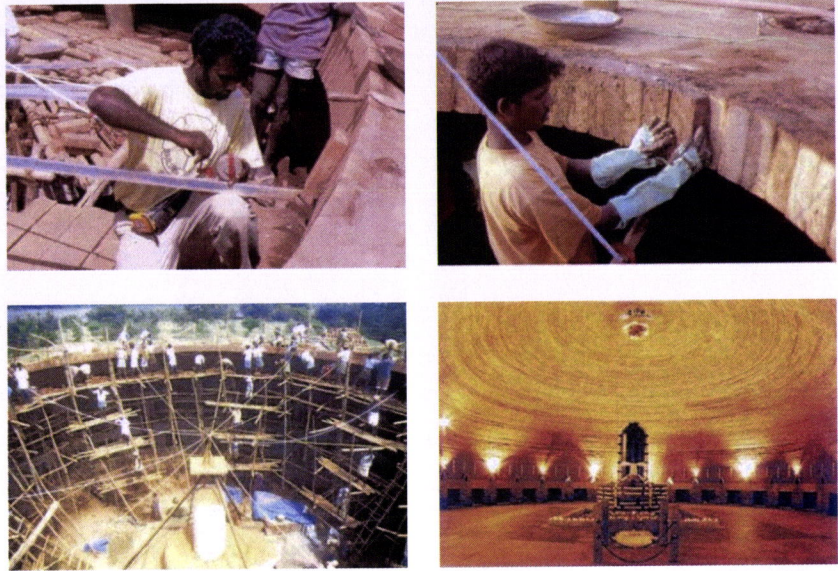


FIG. IV.107– ÍNDIA - Poondi²²

Esta cúpula foi construída em 9 semanas de trabalho, com 25 pedreiros, e tem 22,16 metros de diâmetro, 7,9 metros de altura no intradorso, medidos acima da linha dos apoios, aproximadamente 570 toneladas de terra, e realizada sem recurso a cimbrês, cofragens ou apoios.

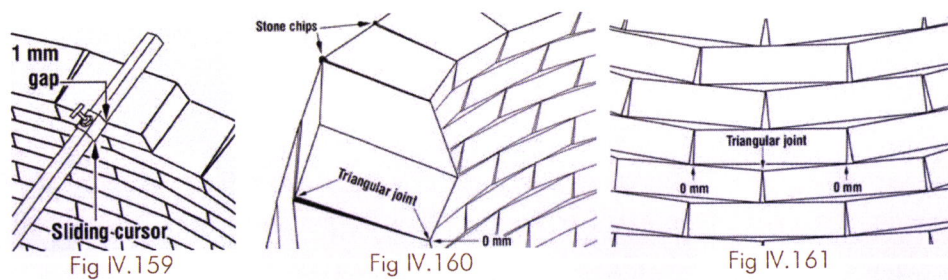


FIG. IV.108 – Estereotomia da Cúpula (por rotação de arco)

²² - Figuras IV.107 e IV.108 – Construção do Templo de Dhyanalinga em Poondi, próximo de Coimbatore, Tamil Nadu, Sul da Índia.- Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=13#photo> >



FIG. IV.109- ÍNDIA – Auroshilpam ²³

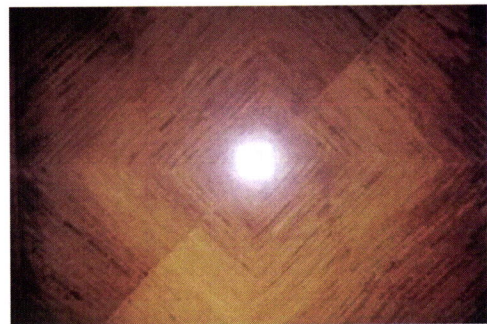
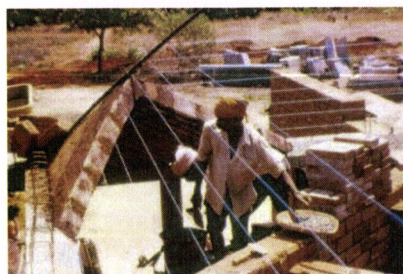


FIG. IV.110 – ÍNDIA – Auroshilpam
Interior de uma cúpula de claustro.

A cúpula de claustro resulta da cobertura de um espaço com planimetria quadrada. No que concerne à sua forma, esta pode ser identificada como intersecção de duas abóbadas ogivais ou mesmo de volta perfeita.



²³ Figuras IV.109 a IV.111 (Sequência de figuras de cúpula ogival)
Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=5>>

Nas imagens apresentadas salienta-se o processo de empilhamento dos blocos que é realizado à semelhança da abóbada egípcia. As peças são colocadas a partir das ogivas de intersecção das abóbadas, e sempre de forma oblíqua ao solo. Através deste processo é possível vencer o vão da cúpula sem que existam esforços de tracção. As peças são encaixadas de forma a produzir travamento nos panos da cúpula, tal como se ilustra na figura.

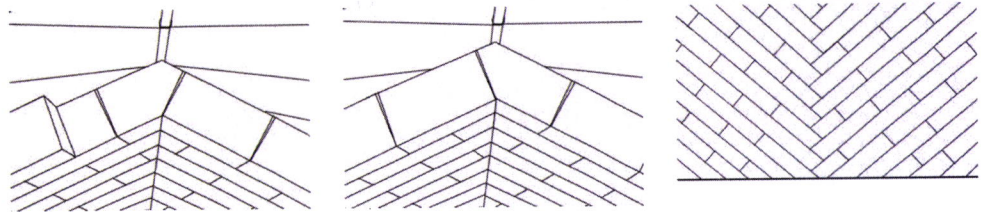
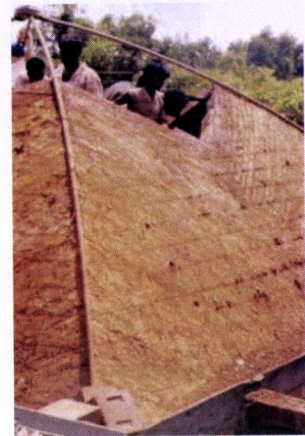


FIG. IV.111 – Estereotomia da Cúpula de Claustro

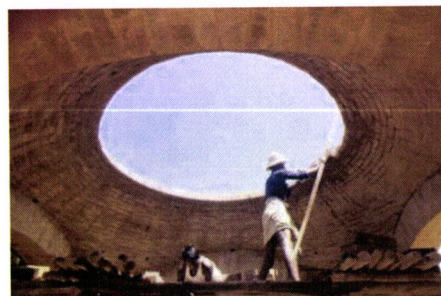
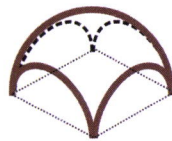


FIG. IV.113 – INDIA – Auroshilpam²⁵
Cúpula em fase de fecho

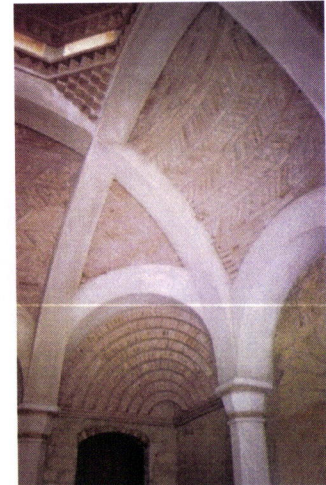


FIG. IV.112 – PORTUGAL – Guia
Cúpula de Boémia ou de
pendentes apoiada em trompas
cónicas²⁴

²⁴ Figuras IV.112 e IV.114 - ALEGRIA, José. *Da paixão... da terra... da arquitectura... = De la passion... de la terre... de l'architecture...* [Albufeira]: DARQUITERRA, D.L. 2000. p. 70 e 71

²⁵ Figuras IV.111 e IV.113 – Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
< <http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=vault&id1=5> >

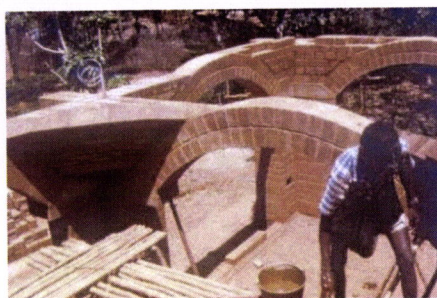
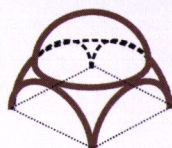


FIG. IV.115 - ÍNDIA – Auroshilpam
Construção do apoio da segunda cúpula
(hemisférica).

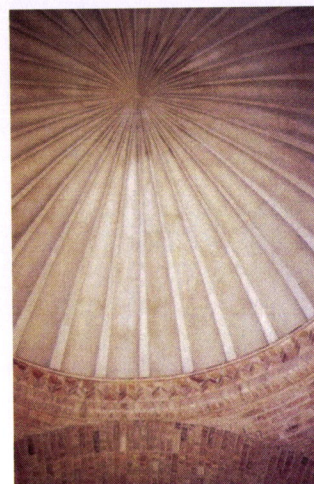


FIG. IV.114 – PORTUGAL – Guia
Cúpula Bizantina ou sobre
pendentes, com nervurado na
parte hemisférica da cúpula

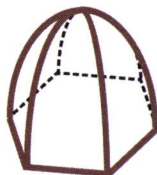
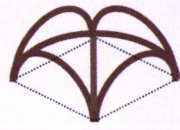


FIG. IV.116– À direita – PORTUGAL – Guia
Cúpula Facetada de base Octogonal²⁶

²⁶ Figuras IV.116 e IV.117 – Op. Cit (25). p. 140 e 141



Na imagem apresentada a cúpula de lunetas não tem a função de iluminação ou ventilação, estando o arco aparente preenchido com uma parede. Trata-se de uma utilização corrente deste tipo de geometria sendo neste caso aproveitado o seu efeito estético.

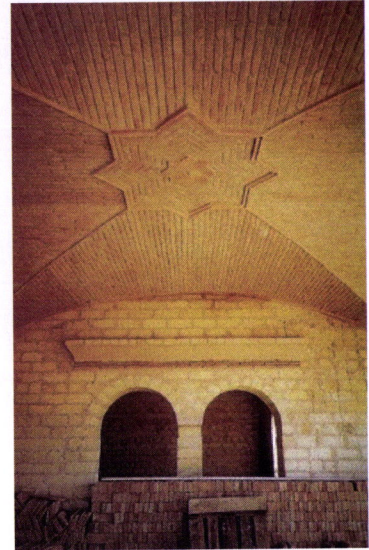


FIG. IV.117 – PORTUGAL – Guia



FIG. IV.118– PORTUGAL – Alfanzina ²⁷
Cúpula Nervurada sobre pendentes com base octogonal em construção.

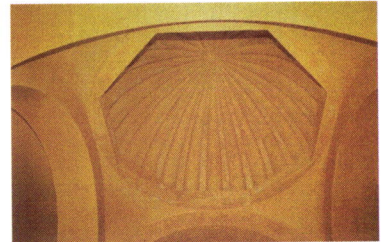


FIG. IV.119– PORTUGAL – Alfanzina
Cúpula Nervurada sobre pendentes com base octogonal depois de concluída.

²⁷ Figuras IV.118 e IV.119 – Op. Cit. (25), p. 70 e 71

4.2.6 Terra como material de acabamento

terra de recobrimento
terra de cobertura
tabiques e terra sobre engradado

Este grupo de técnicas construtivas pauta-se, não por um sistema próprio de construção em terra crua, mas sim por uma participação da terra como elemento constituinte de um todo.

Assim, nos casos de terra como material de acabamento as geometrias utilizadas dependem exclusivamente da estrutura de base que é conferida, não havendo desta forma uma interdependência estático-formal do material terra crua.

Apesar disso, existem grupos tipificados de construção em terra dentro desta subclassificação que correspondem à terra de recobrimento; terra de cobertura; e os tabiques ou terra sobre engradado.

Análise Planimétrica



FIG. IV.120 – FRANÇA – Bresse ²⁸

Na construção de alvenaria não existe condicionante geométrica de base, excepto a aplicação a uma estrutura pré-existente. No entanto esta técnica de construção comporta na sua execução a curva, a recta, a superfície planificável e as superfícies de dupla curvatura de mesmo sentido ou outras, uma vez que se trata de um processo de acabamento.

²⁸ Figuras IV.120 e IV.122 – Op. Cit. (5) – Disponível na Internet em:
<<http://www.earth-auroville.com/index.php?nav=menu&pg=earthworld&id1=14>>

Análise Tridimensional



Atendendo ao factor não autoportante da utilização de terra neste grupo, a abertura de vãos está sempre dependente de uma estrutura auxiliar.

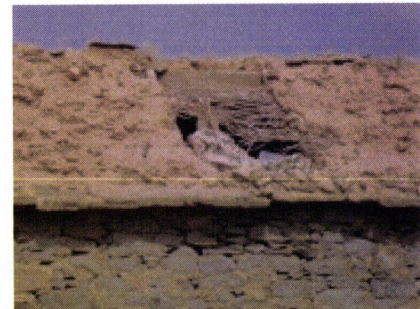
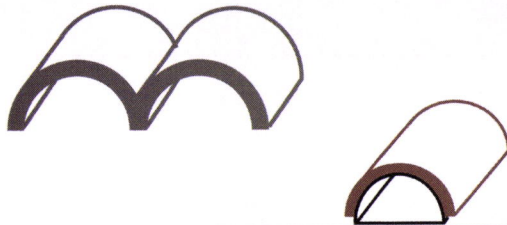


FIG. IV.121 – PORTUGAL – Porto Santo

À terra de cobertura é dada a configuração de base da estrutura. No caso apresentado tratam-se de casas de duas águas, mas esta solução pode ser atribuída a muitas outras construções com configurações diferentes.

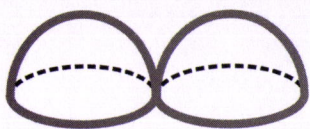


FIG. IV.122 – SOMÁLIA - Genale

A utilização da terra como recobrimento é utilizada em todo o mundo, e a sua aplicação é feita sob a forma de reboco. Trata-se de um processo de acabamento de paredes que tem por finalidade a preservação dos elementos de estrutura. Outra forma de utilização da terra neste grupo é o recobrimento de uma estrutura, e nestes casos também a terra não exerce qualquer condicionamento nas geometrias utilizadas. Os edifícios fazem-se numa estrutura portante própria e a terra é usada com o fim de enchimento, ou seja, sem fins resistentes.

São possíveis de executar todos os tipos de vãos, ficando em todos os casos condicionados à estrutura resistente.

4.3 Resumo Síntese

Em presença do anteriormente exposto, elaborou-se um quadro síntese aglutinador das geometrias de suporte analisadas e verificadas em cada subsistema de técnicas construtivas.

Utilizou-se o mesmo esquema de aplicação de imagens (ícones) para a identificação da análise e da geometria que é configurada a cada método descrito, e a essa análise associou-se o tipo de terra usualmente utilizado para as produzir.

Legenda do quadro síntese

Análise Planimétrica



Planta Livre



Planta Condicionada



Ao vão



Planta circular



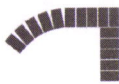
Molde curvo



Molde plano



Combinação de moldes



Planta semilivre

Análise Tridimensional



Arcos



Cônico



Ogival



Catenária ou parabólica



Semicircular



Abatido



Segmentado



Cachorra-mento



Com estrutura



Abóbadas



Cônica



Ogival



Catenária ou parabólica



Semicircular



Abatida



Segmentada



Cachorra-mento



Com estrutura



Cúpulas



Cônica



Ogival



Catenária ou parabólica



Hemisférica



Abatida



Segmentada



Cachorra-mento



Barrete de clérigo



Facetada (n) par



Facetada (n) ímpar



De Lunetas



De boémia





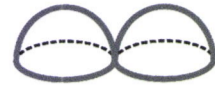














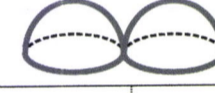






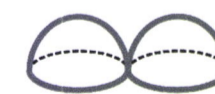



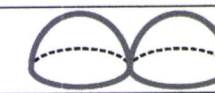



De pendentes



Bizantina



Sobre trompas

Técnica Construtiva	Análise Planimétrica		Análise Tridimensional			Tipo de terra	Observações
			Arcos	Abóbadas	Cúpulas		
Terra por subtração	S					Limoso Argiloso	
	D		Todos os tipos excepto cónico e por cachorramento	Todos os tipos excepto cónica e por cachorramento	Todos os tipos excepto cónico e por cachorramento		
Terra trabalhada manualmente	S		Não se verifica	Não se verifica		Argiloso	
	D						
Terra simplesmente empilhada	S			Não se verifica		Limoso Argiloso; Limoso arenoso; Limoso argiloso; Argila arenosa; Argila limosa.	Os arcos e as cúpulas têm grande verticalidade devido ao estado físico do material.
	D						
Terra empilhada com recurso a molde laminar	D			Não se verifica	Não se verifica	Arenoso pedregoso; Arenoso Limoso (1); Limoso arenoso (1); Limoso argiloso (1); Argiloso; Pedregoso argiloso (2); Argiloso Pedregoso; Argila Limosa (3); Argila Arenosa (1)	(1) apenas para Terra de Enchimento (2) excepto para Terra de enchimento (3) para Terra de enchimento e Terra Palha
			Conicionados a um molde/negativo na cofragem				
Terra empilhada com recurso a molde de tubos e sacos de terra	D			Não se verifica		Arenoso pedregoso; Arenoso Limoso (1); Limoso arenoso (1); Limoso argiloso (1); Argiloso; Pedregoso argiloso (2); Argiloso Pedregoso; Argila Limosa (3); Argila Arenosa (1)	(1) apenas para Terra de Enchimento (2) excepto para Terra de enchimento (3) para Terra de enchimento e Terra Palha
							
Terra geometrizada em blocos	D					Arenoso Pedregoso; Arenoso Limoso; Argiloso Pedregoso; Argiloso; Limoso Arenoso; Limoso Argiloso (1); Argiloso Pedregoso; Argila Arenosa; Argila Limosa (1)	(1) apenas na forma de adobe.
							
Terra como material de acabamento						Argiloso (1); Limoso Arenoso (2); Limoso Argiloso (2); Argiloso pedregoso (2); Argila Arenosa; Argila Limosa	(1) apenas para recobrimento (2) apenas para cobertura
	D				Condicionada a uma estrutura.		

Quadro de classificação das geometrias da terra crua

Capítulo 5

A forma e o método

5.1 A inevitabilidade da geometria

O homem, através de um processo natural de evolução, desenvolveu a capacidade de manipular o meio que o rodeia. Essa capacidade surge como resposta a uma necessidade intrínseca da sua condição que foi, numa primeira fase, a criação de habitat.

Muitos seres vivos desenvolveram também essa capacidade. Sejam as aves com os seus ninhos, sejam os mamíferos como caso dos castores com os diques em troncos de árvore, ou mesmo insectos como as abelhas com as colmeias, etc. Contudo, as construções desenvolvidas pelo homem rapidamente se diferenciaram das construções de todos os outros animais, quer pela geometria utilizada, quer pela dimensão, mas acima de tudo através da atribuição de significado às próprias construções.

A casa, como resolução de um problema quotidiano, que funciona de abrigo, desenvolveu-se através dos tempos desde a caverna, passando pela cabana, até à casa propriamente dita. A par desta necessidade, desenvolveu também capacidade de criar fortalezas, templos, e construções de carácter simbólico, e nestas é que se encontra uma verdadeira forma de diferenciação em relação às outras espécies.

A necessidade que o homem tem em intervir no meio que o rodeia, bem como a tentativa de compreender o universo no qual se insere, expressa-se através de uma manipulação do mundo real, conferindo-lhe imagens daquilo que considera ser uma interpretação do inatingível.

Apesar disso, no desenrolar da história sempre existiram momentos específicos, que registaram a existência de culturas, e que tiveram diferentes formas de expressão, seja pela arte ou pela arquitectura.

A arquitectura apesar de ter sempre um carácter próprio neste contexto, esteve e continua a estar dependente do factor tecnológico. A escala da obra arquitectónica é diferente da escala da escultura, da pintura ou de qualquer outra forma de expressão artística.

Assim, associando a evolução do conhecimento, à manipulação dos materiais de construção disponíveis e às condicionantes físicas da envolvente, respondendo à própria necessidade construtiva do homem, permitiu a este desenvolver geometrias diversas que foram aplicadas às obras de arquitectura, e à forma como este organizava a ocupação do seu território.

À medida que a sociedade se foi hierarquizando, desde a estrutura da família, às ligações entre famílias, às populações, etc., maior se tornou também a estratificação da construção, procurando responder a uma hierarquização



formal da construção em si, e de aspectos de organização urbanística como de localização, orientação, etc.

A todas estas escalas de análise da intervenção edificativa do homem perante o território, houve aplicação de geometrias. A capacidade de exteriorizar a intervenção no meio em que se insere, proporciona ao homem o sentimento de domínio sobre um meio natural do qual faz parte, mas que na realidade não consegue dominar. Assim, através da antítese às formas orgânicas o homem interveio no território deixando uma marca através das suas geometrias construtivas.

5.2 Da geometria da terra

Após análise das diferentes formas de expressão construtiva com o material terra crua, identificaram-se algumas geometrias aplicadas, que se verificou que se organizavam dentro de parâmetros geométricos formalmente diferentes, mas conceptualmente semelhantes.

Da relação entre as características físicas do material em análise, e da sua aplicação segundo um determinado propósito construtivo, nasceu a respectiva estereotomia. Esta traduz-se no fundo na eficácia formal conferida à terra crua de tal modo a que possa cumprir um propósito construtivo.

A terra, devido às suas propriedades físicas circunscreveu-se num grupo de materiais, cuja aplicação mais favorável seria de acordo com o esforço da compressão. A terra pode ser comprimida e aquando dessa acção comporta-se com alguma eficácia, sendo a acção inversa, a tracção, um esforço dificilmente comportável.

Ora, os materiais que se incluem no grupo de compressíveis, traduzem-se na construção sob a expressão de paredes, pilares, e arcos, como família de grupo estrutural. Essa propriedade mantém-se independentemente da forma como é utilizado observando as diversas técnicas construtivas que existem para o material.

Mesmo existindo diferenças tecnológicas na forma como se constrói com o material em análise, verificou-se também que nem todas as formas geométricas de base analisadas se inseriam integralmente nos processos construtivos. Isto deve-se principalmente a razões como: as características próprias da terra crua em si condicionam à partida a técnica construtiva a utilizar; a técnica construtiva condiciona por outro lado a escala da construção; e a escala da construção associada à técnica construtiva condiciona a capacidade de utilizar um maior ou menor leque de geometrias.

5.3 Interacção das formas da terra crua

Das geometrias analisadas, constatou-se a existência de condicionantes técnicas à aplicação da terra crua como material construtivo. Os parâmetros utilizados, a análise planimétrica e a análise tridimensional, permitiram verificar a potencialidade construtiva de cada método e os procedimentos utilizados para a resolução da construção como um todo.

5.3.1 Vencimento de vãos com terra crua

Da análise anteriormente citada verificou-se que quanto maior a capacidade de vencer vãos através de abóbadas e cúpulas, menor o grau de liberdade na execução de paredes. Isto deve-se essencialmente ao facto de as técnicas

construtivas utilizadas para o vencimento de vãos serem extremamente restritas e condicionadas a uma geometria de base para um arco, abóbada, ou cúpula. A planta nestes casos está dependente do vencimento do vão, ou seja não só tem de existir a capacidade de um vão em ser vencido, como as paredes têm que ser capazes de vencer a impulsão criada pela decomposição das cargas aplicadas ao arco em componente vertical e horizontal.

Para os árabes “o arco não dorme”¹, quer isto dizer que as forças opostas estão sempre em acção e a componente horizontal nunca perde a oportunidade de se fazer sentir, nas fendas que provoca, de maior ou menor expressão, consoante a capacidade que a parede tem de se opor.

Assim dos grupos analisados os que têm maior expressão na construção de arcos, abóbadas e cúpulas são: terra por subtracção e terra geometrizada sob a forma de blocos.

Os dois primeiros processos referidos assumem esta característica devido a factores distintos.

No primeiro processo deve-se ao facto de o terreno ser escavado, e a compactação natural do terreno favorece a estabilidade da construção. Por outro lado, como a terra é escavada a componente horizontal das forças dos vãos é anulada pela componente vertical (compressão), não existe cedência nos apoios.

¹ CASQUILHO, Manuel da Rocha. *MANUAL DE EDIFICAÇÕES*, 3.ª Edição. - Lisboa: Livraria Bertrand, 1974. p.56

No segundo processo, em que a terra é aplicada sob a forma de blocos, trata-se de um procedimento evolutivo da construção, em que facilmente se controla a geometria dos mesmos, e que consoante a construção vai evoluindo podem ser executadas correcções e ajustes à construção. Por outro lado, a manipulação de elementos de pequeno peso e porte (os blocos) facilita o manuseamento em obra, bem como o estado físico em que o material é aplicado, o estado sólido, faz com que o material esteja próximo da sua máxima resistência. Esta técnica construtiva é das que necessita menor número de executantes na fase do empilhamento.

A terra modelada manualmente apesar de ser utilizada no vencimento de vãos, está condicionada por factores como a fonte de matéria-prima, uma vez que a obra nasce directamente do solo, e por outro lado a dificuldade de manusear secções de grande dimensão faz com que a escala da construção seja pequena, associando-se esta técnica à olaria sem recurso à roda.

5.3.2 Aplicação da terra empilhada

Da construção com terra crua, sem que exista grande eficácia no vencimento de vãos, salientam-se os processos de empilhamento de terra com ou sem recurso a molde. Em ambos os casos, o vencimento de vãos é feito com recurso a outros sistemas construtivos, nomeadamente a utilização da madeira como estrutura de suporte de uma cobertura. Deve-se este facto a dois factores distintos:

No processo de terra simplesmente empilhada, o material é aplicado no estado húmido, com alguma plasticidade. Este facto leva a que a secagem do material seja feita in loco depois de aplicado. Ora, no vencimento do vão o material deve estar dotado de boas características na capacidade de resistência à compressão, o que levaria a

períodos de construção muito longos – tempo de aplicação associado ao tempo de cura do material. Por outro lado, esta característica faz com que esta técnica construtiva seja adoptada em zonas onde é possível a utilização de outros materiais de construção, como a anteriormente referida madeira.

Na utilização da terra empilhada com recurso a molde, o vencimento de vãos está dependente da capacidade de executar o molde. Perante este cenário, a construção de abóbadas e cúpulas fica remetida para segundo plano, assumindo maior importância a construção de paredes, por ser um processo mais rápido e de maior qualidade final. Assume-se que é possível vencer vãos com este processo, muito embora seja mais simples transformar o molde em estrutura de cobertura (cofragem perdida).

5.3.3 Terra como material de acabamento

Este grupo deve ser entendido como mais uma potencialidade da utilização da terra como material de construção, e não tanto como um subgrupo de produção de geometrias distintas na construção. Trata-se de uma metodologia em que a terra crua não assume o principal destaque, mas que participa na sua construção.

Assim, o material aqui analisado inscreve-se num cenário de material de acabamento como reboco, um material de isolamento devido às suas boas características térmicas, acústicas, higrométricas e mesmo de isolamento de radiações electromagnéticas de alta-frequência.

5.4 A perenidade da compressão versus a efemeridade da tracção

« Tous les éléments vivant sont éphémères. »²

Este fenómeno é frequente constatar especialmente na arqueologia. Trata-se de um conceito simples de entendimento da duração dos esforços, e a forma como se relacionam com a vida. Esta comparação, entre a perenidade da compressão e a efemeridade da tracção prende-se essencialmente com as características dos materiais que cumprem cada um dos grupos. Geralmente os materiais que resistem à compressão não têm origem animal, mas sim mineral, ao passo que para os materiais traccionáveis é mais frequente encontrar-se resposta no reino animal.

Uma construção com sistemas mistos, por exemplo paredes em pedra e cobertura em vigamentos de madeira, serve como ilustração do conceito exposto, em que a perenidade das paredes contrasta com a efemeridade dos vigamentos (mineral vs. orgânico).

Um ser vivo pode ser entendido como uma estrutura, os músculos têm função essencialmente traccionável e os ossos a função de resistência à compressão. Os músculos decompõem-se e os ossos não.

Assim, numa construção quanto maior o recurso a elementos estruturais compressíveis maior a sua durabilidade, uma vez que estes não se decompõem com facilidade.

² SAMYN, Philippe, *Principes de Construction*, Bruxelles : EBAUCHE, Institut Supérieur d'Architecture Saint-Luc Bruxelles, 1993. p.35

Esta característica assume especial importância no entendimento das escalas das construções, em que no caso em análise se identificam escalas de grande dimensão como as técnicas construtivas de terra escavada e terra sob a forma de blocos, até às construções de menor escala, como a terra de acabamento. Confrontando com os conceitos de efemeridade e perenidade verifica-se que quanto maior o grau de perenidade, menor o recurso a elementos estruturais auxiliares, e que as dimensões dessas construções são também maiores por natureza.

Assim, pode-se assumir que as técnicas construtivas que utilizam a terra como único material estrutural, em cujos casos as geometrias utilizadas são encontradas de forma a dotar a construção de uma maior eficácia formal, são também as construções que apresentam a maior perenidade.

5.4 Da terra ao betão

Como já foi referido anteriormente a terra é um betão magro e numa análise comparativa das tecnologias de construção com terra crua, e da utilização do betão como material construtivo tem-se um conjunto de pontos de contacto no que respeita aos princípios tecnológicos de base, existindo no entanto um ponto de divergência que sobressai em relação aos restantes.

Com o betão é possível construir na forma moldada, empilhada sem recurso a molde, empilhada com recurso a molde, sobre a forma de blocos de betão e como material de acabamento.

Em todas as metodologias apresentadas existe afinidade com o que foi exposto para o material terra crua.

No entanto, existe um ponto no qual se considera o betão como sendo capaz de cumprir esse propósito, mas que não é utilizado. Trata-se da construção de arcos, abóbadas e cúpulas no sistema de betão geometrizado sob a forma de blocos. Se em vez de se utilizar o betão na forma líquida ou plástica se se utilizar sob a forma de blocos secos, o processo formal e conceptual de construção é possível e aparentemente viável.

Apesar disso salienta-se um aspecto que se considera importante, que se prende com a questão económica dos dois processos de construção. Na construção com terra crua o material de construção é gratuito ou muito barato e no caso do betão acontece o inverso, o material é caro. Assim na análise do ratio entre custo do material e a mão-de-obra entende-se que para se obter um custo final igual entre o betão e a terra crua, no primeiro tem que se gastar menos na mão-de-obra, podendo no segundo aumentar o número de trabalhadores.

Nesta visão entende-se que a não execução de construções em betão recorrendo aos métodos descritos para o vencimento de arcos, abóbadas e cúpulas se deve a uma visão economicista, encarando o betão como um material de construção rápido e com baixos recursos de mão-de-obra.

É aqui, na relação entre custo de material e custo de mão-de-obra que reside a principal razão pela qual se considera que a construção em terra crua é um processo viável de construção, e tão mais viável é quanto maior for a oferta de mão-de-obra.

Veja-se nos países subdesenvolvidos, que sistematicamente se endividam adquirindo matérias-primas para a construção como por exemplo o cimento, quando têm mão-de-obra excedentária.

Nesses países, existe a tradição da construção em terra crua, existe o conhecimento da técnica, e, geralmente, de forma enraizada na sua história, mas essa não é a imagem de modernidade que pretendem alcançar.

A modernidade em arquitectura, especialmente desenvolvida com o surgimento do betão armado, alterou profundamente a estética das edificações.

A grande passagem para esta “nova” técnica originou novas formas e sentenciou as antigas. O arco, a abóbada e a cúpula passaram a ser vistas como referências formais do passado, cuja necessidade desaparece com o surgimento do betão. Este altera a família estrutural tipo do grupo da compressão, introduzindo a flexão, originando a viga e substituindo o arco.

Esta transformação, que motivou a maior revolução na construção e na arquitectura, originado movimentos como o modernismo e o estilo internacional, entre outros, arrastou um conjunto de civilizações para uma imagem nova, diferente, mas não comprovada.

Cabe assim, aos países desenvolvidos assumirem a imagem de credibilidade que os processos de construção em terra têm no panorama construtivo contemporâneo e de promoverem a investigação e o desenvolvimento destas técnicas de forma que se possa contribuir para um mundo melhor, menos poluído, com um desenvolvimento mais sustentável, numa nova era da sociedade em que os valores passam a ser o homem, o ambiente e a cultura que une os dois.

“ A arte moderna ensinou-nos a deixar a tradição; isto deve ensinar-nos a romper com a tradição da arte moderna.”

Dieter Kopp³

³ - PORTOGHESI, Paolo, *DEPOIS DA ARQUITECTURA MODERNA*, [Lisboa]: Edições 70, 1985, p. 155

Bibliografia

A

- 1 ALEGRIA, José
DA PAIXÃO... DA TERRA... DA ARQUITECTURA... = De la passion... de la terre... de l'architecture... . [Albufeira] : DARQUITERRA, D.L. 2000.
- 2 AECB: *Association for Environment Conscious Building*. Llandysul : Association for Environment Conscious Building, 2004, [referência de 7 de Outubro de 2004]. Disponível na Internet em: <www.aecb.net>
- 3 ASEG, *Australian Stabilized Earth Group*. Willunga : Australian Stabilized Earth Group, 1999. [referência de 14 de Novembro de 2004]. Disponível na Internet em: < www.aseg.net>
- 4 *ARQUITECTURA POPULAR EM PORTUGAL*. Lisboa : Associação dos Arquitectos Portugueses, 1980.

- 5 ALSINA, Claudi
TRILLAS, Enric
LECCIONES DE ÁLGEBRA Y GEOMETRIA : CURSO PARA ESTUDIANTES DE ARQUITECTURA. 2ª Ed. Barcelona : Gustavo Gili, 1984.

B

- 6 BRAZINHA, Joaquim
DA TRANSMISSÃO DO SABER OPERATIVO EM ARQUITECTURA. In LUSIADA : revista de ciência e cultura. Série de arquitectura, n.º1. Lisboa : Universidade Lusfada Editora, 2001.
- 7 BORGES, Juan
TALLER EN BOCEGUILLAS. [em linha]. Segóvia : 2004. [referência de 20 de Setembro de 2004] Disponível em internet em :
<<http://groups.msn.com/ArquiterraFotos/tallerenboceguillassegovi a.msnw>>

C

- 8 CAMPBELL, Colin D.
EUROPEEN SOIL MAP TEXTURE TRIANGLE, HYdraulic PROperties of European Soils. Aberdeen : THE MACAULAY LAND USE RESEARCH INSTITUTE, 2004 [referência de 11 de Setembro de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.macaulay.ac.uk>>.
- 9 CASQUILHO, Manuel da Rocha
MANUAL DE EDIFICAÇÕES. 3.º ed. Lisboa : Livraria Bertrand, 1974.
- 10 CERQUEIRA, Joaquim M. C.
SOLOS E CLIMA DE PORTUGAL. Lisboa : Clássica Editora, 1992.

- 11 CHAZELLES, Claire-Anne de,
ÉCHANGES TRANSDISCIPLINAIRES SUR LES CONSTRUCTION EN TERRE CRUE, Actes de la table ronde de Montpellier 17 – 18 novembre 2001. [Montpellier] : [Éd. De l'Espérou], 2001.
- 12 CALEARTH [em linha] *California Institute of Earth Art and Architecture.* Hesperia : Geltaftan Foundation, 2004. [data de referência de 2 de Novembro de 2004]. Disponível na Internet em: <<http://www.calearth.org/>>

D

- 13 DETHIER, Jean
ARQUITECTURAS DE TERRA : TRUNFOS E POTENCIALIDADES DE UM MATERIAL DE CONSTRUÇÃO DESCONHECIDO: EUROPA, TERCEIRO-MUNDO, ESTADOS UNIDOS. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão, 1993 [D.L. 1995].
- 14 *DICIONÁRIO DA LÍNGUA PORTUGUESA 2003.* Porto : Porto Editora, 2002.
- 15 *DICIONÁRIO DE FRANCÊS – PORTUGUÊS.* 1.ª ed. Porto : Porto Editora, 1999.
- 16 *DICIONÁRIO INGLÊS/PORTUGUÊS.* Porto : Porto Editora, 1988.

E

- 17 *EARTH BUILDING RESEARCH FORUM* [em linha]. Sydney : University of Technology Sydney, 2004. [referência de 20 Junho de 2003]. Disponível na Internet em <<http://www.dab.uts.edu.au>>

F

- 18 FATHY, Hassan
CONSTRUIRE AVEC LE PEUPLE : histoire d'un village d'Egypte, Gourna [Paris] : Sindbad, 1996.
- 19 FORJAZ, José
ENTRE O ADOBE E O AÇO INOX : IDEIAS E PROJECTOS = BETWEEN ADOBE AND STAINLESS STEEL. Lisboa : Caminho, 1999.
- 20 FLEMING, John
 HONOUR, Hugh
 PEVSNER, Nikolaus
 DICTIONARY OF ARCHITECTURE. 4th ed. London : Penguin Books, 1991.

G

- 21 GAUTHIER, Jean-L.
STÉRÉOTOMIE, ÉTUDE DES ARCS, VOÛTES, ESCALIERS. 3^e éd. Paris : Ecole Nationale Supérieure des Beaux-Arts, 1989.
- 22 GOLDENHÓRN, Ing. Simon
CALCULISTA DE ESTRUCTURAS. 13.^a ed. Buenos Aires : Editorial H.F. Martinez de Murguia, 1973.

H

- 23 *HURSTWIC* [em linha] *VIKING AGE HISTORY*. New England :
HURSTWIC, 2004 [referência de 4 de Agosto de 2004]. Disponível
na Internet em:
<<http://www.hurstwic.org/history/text/history.htm> >.

I

- 24 *IZQUIERDO ASENSI*, Fernando
GEOMETRIA DESCRIPTIVA. 22ª ed. Madrid : Editorial Paraninfo,
1995.
- 25 *IZQUIERDO ASENSI*, Fernando
GEOMETRIA DESCRIPTIVA SUPERIOR Y APLICADA. 4ª ed. Madrid :
Editorial Paraninfo, 1996.

M

- 26 *MAÏNI*, Satprem.
AUROVILLE EARTH INSTITUTE [em linha]. Auroshilpam : Auroville
Earth Institute, 2004 [referência de 1 de Setembro de 2004].
Disponível na Internet em: <<http://www.earth-auroville.com>>
- 27 *MONDUIT*, Louis
TRAITE THEORIQUE ET PRATIQUE DE STEREOTOMIE. Dourdan :
H. Vial, 2002.
- 28 *MOUTINHO*, Mário Canova
A ARQUITECTURA POPULAR PORTUGUESA. 2ª ed . Lisboa :
Estampa, 1979 [D.L. 1985].
- 29 *MORAIS*, António José
*A MORFOLOGIA DAS ESTRUTURAS NA CONCEPÇÃO
ARQUITECTÓNICA*. [Lisboa], Ecosoluções, 1997.

O

- 30 ODUM, Eugene P.
FUNDAMENTOS DE ECOLOGIA . 6ª edição. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2001.
- 31 OLIVEIRA, Ernesto Veiga de
GALHANO, Fernando
PEREIRA, Benjamim
CONSTRUÇÕES PRIMITIVAS EM PORTUGAL . 2ª ed . Lisboa : D. Quixote, 1988.
- 32 OJEDA, Óscar Riera
CASAS NORTE AMERICANAS – INOVAÇÕES NO PROJECTO E NA EXECUÇÃO. Köln : Evergreen, Benedikt Tashen Verlag GmbH, 1999.

P

- 33 PILLET, Jules
TRAITÉ DE STÉRÉOTOMIE. Paris : Librairie Scientifique Albert Blanchard, 1923.
- 34 PINHEIRO, Nuno Santos
TERRA - MATERIAL MILENÁRIO DE CONSTRUÇÃO = Earth - a millenarian building material. Lisboa : N.S.Pinheiro, 1993.
- 35 PINHEIRO, Nuno Santos
UMA REFLEXÃO SOBRE A ARQUITECTURA EM TERRA CRUA. Lisboa: N. S. Pinheiro, 1991.
- 36 PINHEIRO, Nuno Santos
COBERTURAS AJARDINADAS NA ILHA DO PORTO SANTO MADEIRA. Lisboa : Faculdade de Arquitectura, 1998.

- 37 PINHEIRO, Nuno Santos
A ARQUITECTURA REGIONAL E AS TÉCNICAS TRADICIONAIS DA CONSTRUÇÃO EM TERRA AO SUL DO TEJO. Lisboa : N. S. Pinheiro, 1991.
- 38 PINHEIRO, Nuno Santos
A ARQUITECTURA EM TERRA CRUA. In: LUSÍADA : Revista Ciência e Cultura. Série de arquitectura, n.º 1. Lisboa : Universidade Lusíada, 1992.
- 39 PINTO, Alberto Cruz Reaes
A SITUAÇÃO ACTUAL E OS CAMINHOS FUTUROS NUMA ÓPTICA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, in LUSIADA : revista de ciência e cultura. Série de arquitectura, n.º1. Lisboa : Universidade Lusíada Editora, 2001.

R

- 40 RICCA, Guilherme
GEOMETRIA DESCRITIVA – MÉTODO DE MONGE. 2.ª Edição. - Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian, 2000.

S

- 41 SANTOS, João Pereira, [et al.]
CASA TRADICIONAL ALENTEJANA. Serpa : Escola Profissional de Desenvolvimento Rural de Serpa, 2001.
- 42 SCHRECKENBACH, Hannah
BUILDING WITH EARTH [em linha] : *consumer information.*
 Weimar : Dachverband Lehm, 2004 [referência de 4 de Novembro de 2004]. Disponível na Internet
 em: <http://www.dachverband-lehm.de/pdf/DVL_consumerinfo_gb.pdf>.

- 43 SAMYN, Philippe
PRINCIPES DE CONSTRUCTION – EBAUCHE. Bruxelles : Institut supérieur d'Architecture Saint-Luc Bruxelles, 1993.
- 44 SIMARD, Jocelyn Rochefort
MANUEL DE L'AUTOCONSTRUCTION – LA MAISON EN BALLOTS DE PAILLE. Québec : Editions de Mortagne, 2002.
- 45 SARAMAGO, José
O EVANGELHO SEGUNDO JESUS CRISTO. Lisboa: Caminho, 1991.
- 46 SCHMITT, Heinrich
HEENE, Andreas
TRATADO DE CONSTRUCCIÓN. 7ª ed. Barcelona : Ediciones Gustavo Gili, 1998.
- 47 STEDMAN, Myrtle
STEDMAN, Wilfred
ADOBE ARCHITECTURE. 3rd ed. Santa Fe, New Mexico : Sunstone Press, 1989.

T

- 48 TEIXEIRA, Gabriela de Barbosa
BELÉM, Margarida da Cunha
DIÁLOGOS DE EDIFICAÇÃO : TÉCNICAS TRADICIONAIS DE CONSTRUÇÃO. [Lisboa] : Centro Regional de Artes Tradicionais. CRAT, D.L. 1998.



ad præsens ova, cras pulla sunt melliora