



O Solo
como
Material
de
Construção



EDUFBA
Coleção
PRÉ-TEXTOS

Cybèle Celestino Santiago

O Solo como Material de Construção



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Reitor

Heonir Rocha

Vice-Reitor

Othon Jambeiro



EDITORA DA UFBA

Diretora

Flávia Garcia Rosa

CONSELHO EDITORIAL

Titulares

Antônio Virgílio Bittencourt Bastos

Arivaldo Leão de Amorim

Aurino Ribeiro Filho

Cid Seixas Fraga Filho

Fernando da Rocha Peres

Mirella Márcia Longo Vieira Lima

Suplentes

Cecília Maria Bacelar Sardenberg

João Augusto de Lima Rocha

Leda Maria Muhana Iannitelli

Maria Vidal de Negreiros Camargo

Naomar Monteiro de Almeida filho

Nelson Fernandes de Oliveira

Rua Augusto Viana, s/n, Reitoria - Canela, Salvador-Ba. CEP: 40110-060
Tel.: (71) 331-9799 Tel/Fax: (71) 245-9564. e-mail: edufba@ufba.br

Cybèle Celestino Santiago

O Solo como Material de Construção

2ª edição

EDUFBA
Salvador-Bahia
2001

Revisão
Solange Fonsêca
Magel Castilho de Carvalho

Projeto Gráfico, Editoração e Capa
Josias Almeida Junior

Foto da capa
Ana Paula Quadros

Ilustrações
Adamastor C. Santana

Aprovado pelo Departamento de Ciência e Tecnologia dos
Materiais

Ficha catalográfica

Santiago, Cybèle Celestino.

O solo como material de construção / Cybèle Celestino Santiago ;
ilustrações de Adamastor C. Santana. _ 2 ed., rev. Salvador: EDUFBA,
2001.

72p.; il.

ISBN 85-232-0249-8

1. Solos – materiais de construção I. Santana, Adamastor C.
II. Título.

CDU: 624.131.1

EDUFBA
Rua Augusto Viana, s/n, Reitoria - Canela
40110-060 Salvador-BA
Tel/fax: (71)245-9564/331-9799
E-mail: edufba@ufba.br

Este texto foi elaborado no sentido de despertar o interesse dos alunos da disciplina Materiais de Construção IV para as potencialidades do uso da terra como material de construção do futuro, na qualidade de tecnologia alternativa, principalmente em construções para populações de baixa renda. Ele consiste em uma síntese do que vem sendo estudado pelo mundo afora a este respeito. Na elaboração do mesmo contamos com a colaboração do Prof. Evangelista Cardoso Fonseca, ao qual gostaríamos de agradecer.

Cybèle Celestino Santiago
(1996)

Criado para os alunos da disciplina de Materiais de Construção da grade do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFBA, este texto foi revisado e está sendo reeditado a pedido dos alunos que o utilizaram no último semestre. Espero que os integrantes das próximas turmas tirem bom proveito dele, e que adquiram consciência acerca das vantagens e desvantagens do solo como material de construção.

Cybèle Celestino Santiago

Sumário

Parte 1

1 – Generalidades	11
2 – Solo: formação, origem	14
3 – Textura e estrutura dos solos	17
3.1 – <i>Tamanho e forma das partículas (textura)</i>	17
3.1.1 – Identificação tátil-visual dos solos	18
3.1.2 – Análise granulométrica	20
3.1.3 – Designação dos solos	22
3.2 – <i>Estrutura dos solos</i>	23
4 – Composição química e mineralógica dos solos	24
5 – Plasticidade e consistência dos solos	26
5.1 – <i>Algumas noções</i>	26
5.2 – <i>Estados de consistência</i>	26
5.3 – <i>Limites de consistência</i>	27
5.3.1 – Limite de liquidez (W_L ou LL)	27
5.3.2 – Limite de Plasticidade (W_p ou LP)	28
5.3.3 – Limite de contração (W_s)	28
5.4 – <i>Índices</i>	29
5.4.1 – Índice de plasticidade	29
5.4.2 – Índice de consistência	29
5.5 – <i>Gráfico de plasticidade</i>	30

Parte 2

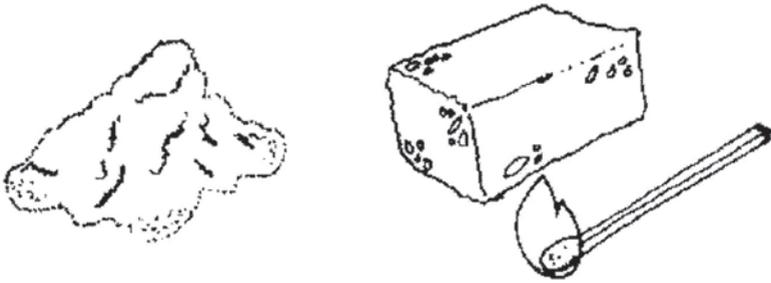
1 – O solo como material de construção na história	31
2 – Adequabilidade dos solos	37
3 – Modos de utilização da terra	37
3.1 – <i>Terra escavada</i>	39
3.2 – <i>Terra de cobertura</i>	40
3.3 – <i>Terra de enchimento</i>	40
3.4 – <i>Terra cortada</i>	41
3.5 – <i>Terra compactada ou comprimida</i>	42
3.5.1 – Blocos compactados	43
3.5.2 – Taipa de pilão	44

3.5.3 – Paredes inteiriças em solo-cimento	45
3.5.4 – Piso em terra batida	46
3.6 – Terra modelada	46
3.7 – Terra empilhada	47
3.8 – Adobe	48
3.9 – Terra derramada	51
3.10 – Terra-palha	52
3.11 – Terra sobre estrutura	53
3.12 – Rebocos e argamassas	55
4 – Características de alguns sistemas	55
4.1 – Terra sem estrutura interna	55
4.2 – Terra com estrutura interna de madeira	56
4.3 – Sistemas inteiriços em geral	56
4.4 – Alvenarias	56
5 – Estado hídrico do solo	57
6 – Estabilização de solos	58
6.1 – Densificação	59
6.2 – Armação com fibras	61
6.3 – Estabilização com cimento (solo-cimento)	63
6.4 – Estabilização com cal (solo-cal)	66
6.5 – Estabilização com betume	68
6.6 – Outras formas de estabilização	69
7 – Causas da degradação das construções em terra	71
Bibliografia	71

Parte 1

1 – Generalidades

Para que possamos iniciar o estudo do solo como material de construção, é necessário que saibamos diferenciar o que é com certa frequência chamado, em arquitetura, *terra crua* daquilo que é denominado *terra cozida* (terracota).



Em ambos os casos, estamos falando em elementos construtivos cujo material básico é o solo, só que quando falamos em *terra crua* estamos nos referindo a elementos construtivos elaborados com solo não submetido a processo de transformação pelo fogo. Assim sendo, construções ditas em *terra crua* são aquelas em que o solo é utilizado de maneira que adquira consistência sem que haja a queima.

Se o material fosse queimado, teríamos a *terra cozida* ou *terracota* (material cerâmico), o que requer como matéria-prima uma argila-arenosa rica em componentes sílico-aluminosos, que serão transformados com a queima. Neste texto, entretanto, vamos nos deter apenas no que diz respeito a construções feitas usando solo não submetido a processo de queima.

O uso do solo como material de construção é muito antigo. Isto é comprovado através de inúmeras construções remanescentes de eras passadas, que são testemunhos da história e cultura dos povos.

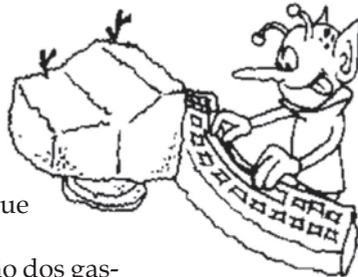
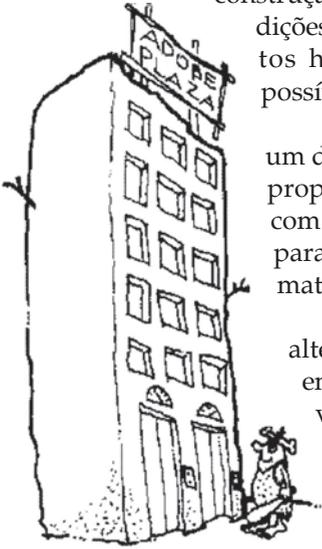
Deste modo, o conhecimento do uso do solo como material de construção é importante para que possamos ter condições de intervir adequadamente em monumentos históricos, restaurando-os sempre que possível.

Por outro lado, o solo já é considerado como um dos materiais de construção do futuro, pois propicia uma redução considerável de custos com transporte, energia e mão-de-obra, se comparado aos custos de uma construção com os materiais de uso corrente hoje em dia.

Além de ser recomendado em construções alternativas para populações de baixa renda em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, o material terra também está sendo adotado atualmente para a elaboração de residências de classe média e alta, não apenas nos países do dito *primeiro mundo*, mas também no Brasil.

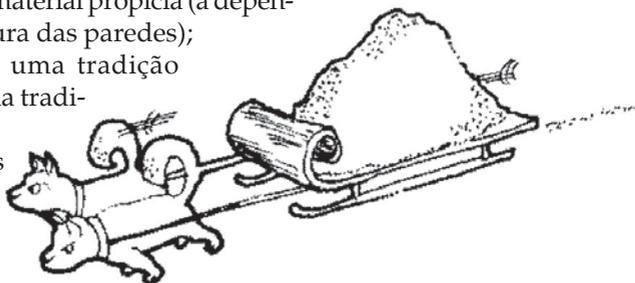
As vantagens concretas das construções feitas usando solo como material de construção são:

- Possibilidades de minoração do problema do déficit habitacional em países pobres, sem causar o endividamento dos mesmos;
- Baixo custo com os transportes;
- Menor poluição ambiental, já que não há necessidade de queima;
- Em locais de clima frio, há redução dos gas-



tos com aquecimento (climatização), por causa da inércia térmica que o material propicia (a depender da espessura das paredes);

- Revelação de uma tradição viva, que é uma tradição de futuro;
- Redução dos custos com a produção, nos casos em que não é necessário operar-se alguma transformação industrial para obter-se o produto a ser utilizado.



São vários os centros de pesquisa espalhados pelo mundo que se dedicam ao estudo do solo como material de construção, verificando suas características e potencialidades, e desenvolvendo novas técnicas para o seu emprego.

De todos estes centros, o mais conhecido é o CRATerre (*Centre International de Recherche et d'Application pour la Construction en Terre*), cuja sede é na Escola de Arquitetura de Grenoble (França), e que é o



responsável pela organização de cursos, por consultorias e publicações diversas sobre o tema, não só na França como também no exterior.

Além do trabalho do CRATerre, merecem destaque ainda as pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Geomateriais da ENTPE (*École Nationale des Travaux Publics de l'Etat*), também na França, e no Instituto Politécnico de Turim (Itália).

No Brasil, mais especificamente aqui na Bahia, o grupo Thaba – que funcionou no CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento) por muito tempo e hoje está instalado na UNEB (Universidade do Estado da Bahia) – há muitos anos vem se dedicando ao estudo do solo, em especial do solo estabilizado com cimento. Outros pesquisadores, em universidades da Bahia, de São Paulo, Santa Catarina, Ceará e Paraíba, também têm se dedicado ao estudo deste material, às vezes conjuntamente com alguns dos supracitados centros estrangeiros.

Neste últimos dez anos, cresceu muito o interesse pelo emprego do solo como material de construção em todo o mundo. Surgiram fabricantes especializados em materiais adaptados à construção usando terra, aumentaram os pedidos de formação na área, assim como a oferta de cursos e encontros nos mais diversos níveis.

Ao contrário do que muitas pessoas aqui no Brasil pensam, não é somente em construções precárias que a terra pode ser utilizada. Ela pode ser empregada em formas bastante variadas e, desde que convenientemente preparada, com as mais diversas finalidades, dentre as quais destacamos: fundações, coberturas planas e inclinadas, paredes, colunas e pilares, embasamentos, pisos, canais e reservatórios, abóbadas e cúpulas, chaminés, mobiliário integrado, pontes e aquedutos, barragens, pistas de aterrissagem, estradas.

Não devemos esquecer, inclusive, que além do solo ser usado para as diversas finalidades referidas, ele é fundamental como base de apoio para a construção, de modo que não haja problemas futuros de recalque ou colapso. Restringiremos, entretanto, o nosso campo de abordagem basicamente ao que diz respeito ao uso do solo em edificações.

2 – Solo: formação, origem

Para que seja possível conhecermos o material com o qual vamos trabalhar, é necessário que tenhamos em mente alguns conceitos básicos.

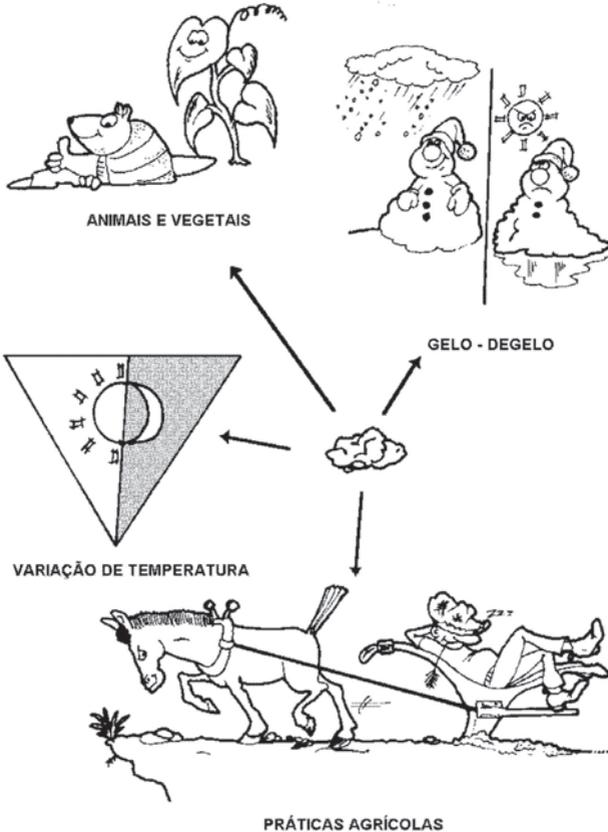
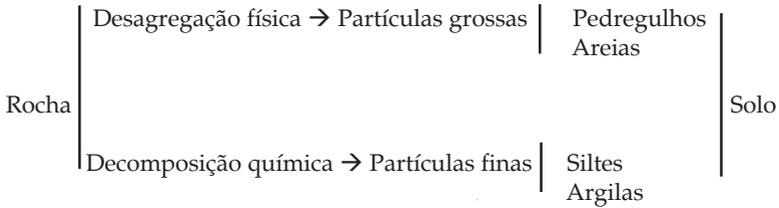
Chamamos de **rocha** o agregado natural constituído por um ou mais minerais. A crosta da Terra é formada por rochas. Através de fatores diversos, tais como da ação do intemperismo (agentes atmosféricos e biológicos), de animais e vegetais e de práticas agrícolas, a rocha se desagrega e/ou se decompõe, originando o **solo**.

O solo é, pois, um material denso e resistente (construímos sobre ele) composto por uma mistura natural de diversos minerais, às vezes contendo matéria orgânica, que pode ser escavado simplesmente com equipamentos manuais ou mecânicos pouco sofisticados.

Podemos *fabricar* um solo, caso necessário, bastando para isto que conheçamos as características do solo que vamos precisar e das jazidas de empréstimo (locais de onde serão retiradas as frações a serem utilizadas na mistura).

O Solo Como Material de Construção

A ação do intemperismo, responsável pela formação do solo, pode ser **física** (desagregação física por ação da temperatura, do calor, por atividade química) ou **química** (decomposição química por oxidação, carbonatação, hidratação). A desagregação física gera os pedregulhos e as areias, enquanto que os siltes e as argilas são formados por decomposição química.

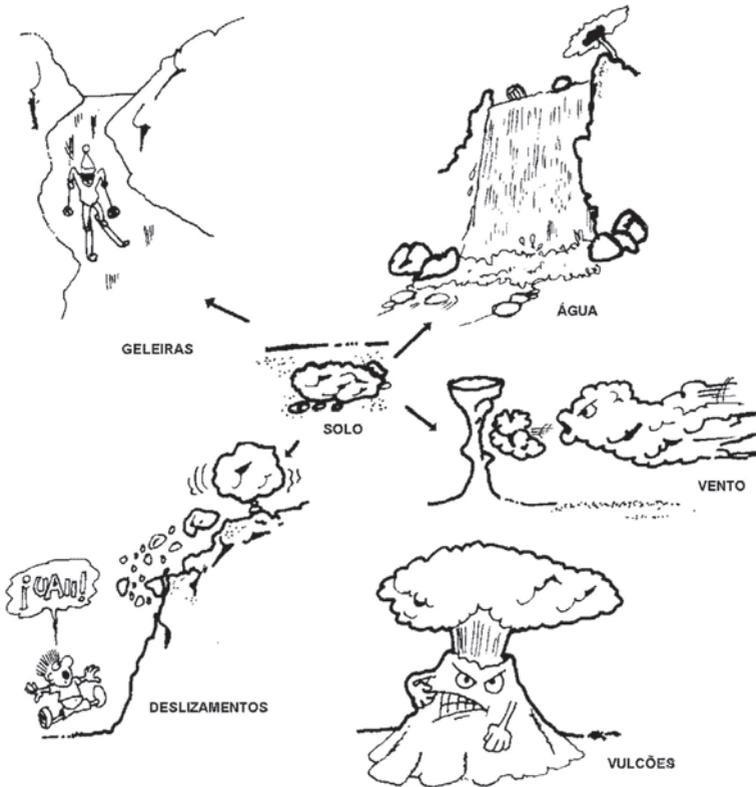


Tipos de solos quanto à origem:

• **Residual** ⇨ É o solo que permanece no mesmo lugar de sua formação, ou seja, sobre a rocha-mãe que lhe deu origem. É bastante comum no Brasil. Como exemplo, podemos citar a terra-roxa, encontrada sobre basalto (região Centro-sul do Brasil) e o massapê, encontrado sobre folhelho (Recôncavo baiano);

• **Sedimentar** (transportado) ⇨ É aquele solo que, após a sua formação, é removido da superfície da rocha matriz por ação de algum agente transportador. Pode receber denominações variadas, a depender exatamente do meio de transporte que o deslocou.

A homogeneidade dos solos sedimentares e o tamanho e a forma das suas partículas estão condicionados à capacidade (intensidade) de transporte dos agentes.



Denominação dos solos	Agente transportador
Eólico	Vento
Glacial	Geleiras
Coluvionar ou talus	Gravidade
Aluvionar pluvial	Água de chuva
Aluvionar fluvial	Água de rio
Aluvionar marítimo	Água do mar

Exemplos de solos sedimentares: areia de dunas, solo de leito de rios, *loess* (depósito eólico, fino e homogêneo, siltoso), bacia sedimentar do Recôncavo.

- **Orgânico** ⇨ É formado pela mistura de sedimentos preexistentes e restos de animais ou vegetais. Um exemplo bem característico é a turfa, que é um solo que apresenta uma quantidade muito grande de matéria orgânica vegetal.

3 – Textura e estrutura dos solos

3.1 – Tamanho e forma das partículas (textura)

A depender do tamanho das partículas, podemos saber se elas foram decorrentes de intemperismo químico ou físico.

- Partículas com dimensões de até cerca de 0,001mm ⇒ Intemperismo físico;
- Partículas menores do que 0,001mm ⇒ Intemperismo químico.

Assim, de acordo com o tamanho de suas partículas, os solos podem ser classificados em:

a) Solos grossos

Apresentam grande percentagem de partículas visíveis a olho nu ($\varnothing > 0,075\text{mm}$), com formas variadas (angulosas, arredondadas, poliédricas).

O comportamento destes solos é determinado basicamente pelo tamanho de suas partículas.

São compostos por:

- Pedregulhos
→ Com dimensões maiores do que



GROSSOS



FINOS

2,0mm (ABNT) ou 4,78mm (DNER), consistem em acumulações incoerentes de fragmentos de rocha. São normalmente encontrados nas margens dos rios em depressões preenchidas por materiais transportados pelas águas fluviais;

- Areias → Suas dimensões variam entre 2,0mm e 0,06mm (ABNT) ou 4,78mm e 0,075mm (DNER). São ásperas ao tato e não apresentam plasticidade.

b) Solos finos

Suas partículas têm dimensões menores do que 0,06mm (ABNT) ou 0,075mm (DNER). Possuem formas lamelares, fibrilares, tubulares ou aciculares, de acordo com o mineral presente. O comportamento destes solos é definido pelas forças de superfície (moleculares, elétricas) e pela água, à qual têm afinidade.

Compõem-se de:

- Siltes → Possuem granulação fina (entre 0,06mm e 0,02mm, conforme a ABNT; entre 0,075mm e 0,005mm, segundo a classificação do DNER), porém pouca ou nenhuma plasticidade e baixa resistência após secagem;
- Argilas → Apresentam granulação muito fina (inferior a 0,02mm, segundo a ABNT; menor que 0,005mm, de acordo com o DNER), plasticidade marcante e elevada resistência (quando secas). A fração argila é a mais ativa dos solos.

Obs.: um solo grosso pode apresentar uma determinada fração fina, e vice-versa.

3.1.1 – Identificação tátil-visual dos solos

A partir de alguns testes feitos rapidamente em uma amostra de solo, conforme indicações a seguir, podemos avaliar se o mesmo é grosso ou fino, plástico ou não plástico, qual a sua cor etc.. Apesar de não ser uma identificação *cem por cento* segura, é feita com muita frequência. Um requisito importante é que a pessoa que vai fazer a identificação tenha certa experiência no assunto.

Para a elaboração de um perfil de sondagem, por exemplo, não são feitos ensaios de laboratório. A partir de um número de furos determinado por norma (que depende da área a ser construída, do número de pavimentos a serem erguidos no terreno e do tipo de solo do local), é identificada pelo menos uma amostra a cada metro de profundidade, a qual é submetida a uma avaliação tátil-visual.

A seguir apresentamos algumas maneiras de efetuarmos uma identificação tátil-visual dos solos:

- Tato ➔ Esfregar uma porção de solo seco nas mãos: as areias são ásperas; os siltes são menos ásperos do que as areias, mas são perceptíveis ao tato (é muito difícil distinguir siltes grossos de areias finas); as argilas parecem com um pó. Concluída esta primeira análise, lavar as mãos: as argilas parecem com sabão e saem com dificuldade das mãos, sendo normalmente necessário o uso de muita fricção para retirar alguns resíduos; os siltes também aderem à pele, porém saem mais facilmente; as areias, por sua vez, saem sem que seja necessária fricção alguma;

- Plasticidade ➔ Moldar pequenas esferas ou cilindros de solos úmidos: as argilas são moldáveis, enquanto os siltes e as areias não são;

- Resistência do solo seco ➔ As argilas são resistentes à pressão dos dedos, enquanto que os siltes e as areias não são: se fizermos uma pequena esfera de argila, ela apresentará fissuras quando seca, porém ganhará uma resistência imensa, o que não ocorrerá se o material for siltoso. Se for arenoso, então, se desmanchará facilmente;

- Desagregação do solo submerso ➔ Imergir parcialmente um torrão de solo em um recipiente com água. Se o solo for siltoso, haverá uma desagregação rápida. Se for argiloso, a desagregação será lenta;

- Dispersão em água ➔ Misturar uma porção de solo seco com água em uma proveta, agitando-a: as areias depositam-se rapidamente no fundo da proveta, os siltes mais lentamente, enquanto que as argilas ficam em suspensão por um longo período (solos arenosos, 30 a 60 segundos; solos siltosos, 15 a 60 minutos; solos argilosos podem levar horas em suspensão). É possível, inclusive, chegar a um percentual estimado das determinadas frações do solo, bastando para isto colocar o solo a analisar dentro de um recipiente contendo água (uma garrafa de refrigerante “PET” – polietileno tereftalato –, por exemplo), medir com uma régua a altura do nível da água, agitar a garrafa e, após um período, medir as diversas alturas correspondentes às frações do solo. Por regra de três, pode-se chegar a um valor estimado das diversas frações, pois elas ficam arrumadas de acordo com a granulometria (as frações mais grossas estão por baixo).

Após realizados estes testes, dá-se o nome do solo, que pode ser, por exemplo, *areia siltosa com pouca argila e pedregulhos*, *argila arenosa com vestígios de silte etc.*, a depender da quantidade de cada uma das frações presentes.

Com relação à cor do solo, a denominação é normalmente dada a sentimento, porém o ideal é que seja feita através da tabela de Munsell, específica para este fim. Através desta tabela, é possível a identificação das cores por códigos e nomes específicos, que serão os mesmos em qualquer parte do mundo. Isto propicia uma classificação fiel do material.

A cor das argilas depende da sua constituição e do ambiente em que foram formadas. As brancas são aquelas que sofreram muita redução (devido à ação da água), enquanto que as mais vermelhas sofreram pouca redução.

3.1.2 – Análise granulométrica

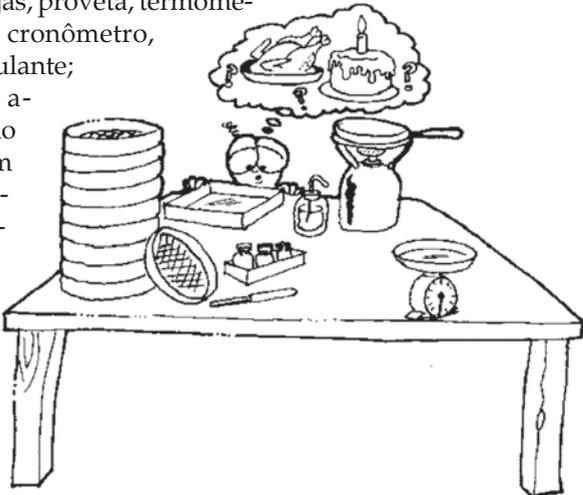
Através da análise granulométrica, que é feita normalmente em duas fases, o peneiramento e a sedimentação, medimos o tamanho das partículas que constituem os solos. Por meio da distribuição granulométrica efetuamos a representação gráfica da medida feita.

Ensaio de granulometria:

- Equipamentos e produtos necessários: quarteador, jogo de peneiras, balança, estufa, destorroador (com mão do gral protegida por borracha), bandejas, proveta, termômetro, densímetro, cronômetro, dispersor, defloculante;

- Preparação da amostra → Coleta do material, secagem ao ar, quarteamento, destorroamento;

- Peneiramento → Consiste na passagem da amostra pelas peneiras e pesagem das quantidades retidas





em cada uma delas. Só pode ser usado para a determinação granulométrica da fração grossa do solo, pois a fração fina, composta por silte e argila, passa pela peneira # 1 0 0 (0,149mm).

Sedimentação

⇒ Retira-se 50 a 100g da quantidade que passa na peneira #100 e prepara-se uma mistura de solo com solução defloculante

em uma proveta com capacidade de um litro. Em geral usa-se como defloculante o hexametáfosfato de sódio.

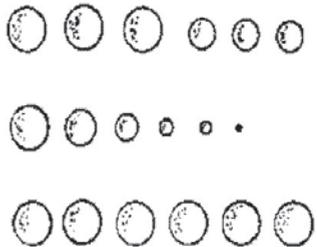
Preparada a solução, efetuam-se, a intervalos de tempo estabelecidos por norma, leituras da densidade e da temperatura da mistura. A velocidade de queda da partícula é determinada indiretamente através da densidade da suspensão. Como há uma fórmula que correlaciona a velocidade de queda de uma partícula com o seu diâmetro, podemos estimar a dimensão da partícula.

Através do ensaio realizado, traça-se a curva granulométrica do solo. Logo, se temos em mãos uma curva granulométrica, é possível conhecer o tipo de solo que foi submetido ao ensaio.

A curva granulométrica normalmente é traçada manualmente. Entretanto, o Laboratório de Geotecnia (DCTM/EPUFBA) desenvolveu um *software* com o qual é possível o seu traçado, bastando que sejam inseridos no computador os dados coletados nas fases de peneiramento e sedimentação.

A curva granulométrica pode ser:

- Descontínua → A graduação do solo é aberta, ou seja, faltam grãos de certos tamanhos. Isto é fácil de notar, pois a curva apresenta um patamar;
- Contínua → O solo possui grãos de todos os tamanhos. É uma curva bem graduada;
- Uniforme → Quando os tipos de grãos presentes no solo apresentam uniformidade de tamanho (possuem dimensão igual);



3.1.3 – Designação dos solos

Os solos podem ser classificados em argilas, siltes, areias e pedregulhos, a depender dos percentuais de cada fração de solo existente na amostra ensaiada. Para tornar mais simples esta classificação, foram estabelecidas na EPUFBA regras práticas, conforme demonstrado a seguir:

Em caso de empate nos percentuais de cada fração de solo, por ocasião da denominação do mesmo, considerar:

1º) Argila 2º) Areia 3º) Silte 4º) Pedregulho

- Com relação à quantidade de pedregulho presente, temos ainda:
 - > 30% → Com muito
 - 10 a 29% → Com
 - 5 a 10% → Pouco
 - 1 a 5% → Vestígios

Em geral, os solos apresentam pouco ou vestígios de pedregulhos.

- Obs.: considerar como *areia* a fração compreendida entre 0,06mm e 2,0mm.

Exemplo 1:

Peneira (#)	Abertura (mm)	% QUE PASSA		
		Solo 1 (%)	Solo 2 (%)	Solo 3 (%)
3"	76,2	----	----	98
1"	25,4	----	100	82
3/4"	19,05	100	95	72
Nº4	4,8	98	88	61
Nº10	2,0	92	83	45
Nº40	0,42	84	62	20
Nº200	0,074	75	44	3

Fração	Solo 1 (%)	Solo 2 (%)	Solo 3 (%)
Argila	44	21	0
Silte	31	23	3
Areia	17	39	42
Pedregulho	8	17	53
Pedra	0	0	2

Solo 1: Argila siltosa com areia e pouco pedregulho

Solo 2: Areia silto-argilosa com pedregulhos

Solo 3: Pedregulho arenoso com vestígios de silte e pedras

Exemplo 2:

Areia = 40%

Silte = 35% ⇨ Areia siltosa com argila

Argila = 25%

Exemplo 3:

Areia = 30%

Silte = 45% ⇨ Silte arenoso com argila

Argila = 25%

Exemplo 4:

Areia = 40%

Silte = 30% ⇨ Areia argilo-siltosa

Argila = 30%

Escalas granulométricas:

DNER (Departamento Nacional de Estradas de Rodagens)

argila	silte	areia fina	areia grossa	pedregulho	pedra	matação
0,005	0,075	0,42	2,0	76	250	1000mm

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

argila	silte	areia fina	a. média	a. grossa	pedregulho	pedra	matação
0,005	0,05	0,25	0,84	4,8	76	250	1000mm

3.2 – Estrutura dos solos

É a maneira com que as partículas de diferentes tamanhos se arrumam para formar o solo. Os principais componentes da estrutura do solo são:

- O tamanho, o arranjo físico e as proporções relativas da estrutura mineralógica;
- O tamanho dos poros e a distribuição das fases fluidas nestes poros;
- A química das três fases do solo, com ênfase para as forças entre as partículas.

Os solos grossos apresentam estrutura mais simples, enquanto que os solos finos apresentam estruturas mais complexas.

A depender da estrutura apresentada pelo solo, podemos classificá-lo, pelo menos, em mais denso, compacto, ou mais solto, fofo. Isto nos dá uma idéia quantitativa de como encontramos o material na natureza ou como o preparamos.

4 – Composição química e mineralógica dos solos

As rochas e, por conseguinte, os solos são constituídos, como já foi dito, por minerais, que são partículas sólidas com formas geométricas, composição química e estruturas próprias definidas. Os minerais, por sua vez, podem ser classificados em **primários** ou **secundários**, de acordo com o seguinte:

- Primários → São aqueles encontrados nos solos e que “sobreviveram” à transformação da rocha;
- Secundários → São os que foram formados durante o processo de transformação da rocha em solo.

Atenção: os minerais presentes nos solos grossos são diferentes daqueles existentes nos solos finos.

a) Solos grossos (areias e pedregulhos)

Os minerais presentes nestes tipos de solos são:

- Minerais silicatados (90%) → Quartzo, feldspato, mica, serpentina;
- Óxidos → Hematita, magnetita, limonita;
- Carbonatos → Calcita, dolomita;
- Sulfatos → Gesso, anidrita.

Destaca-se que o quartzo, que também é conhecido como sílica ou dióxido de silício (SiO_2), é um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre e resiste ao intemperismo que leva à transformação da rocha em solo. É o componente principal da maioria das nossas areias.

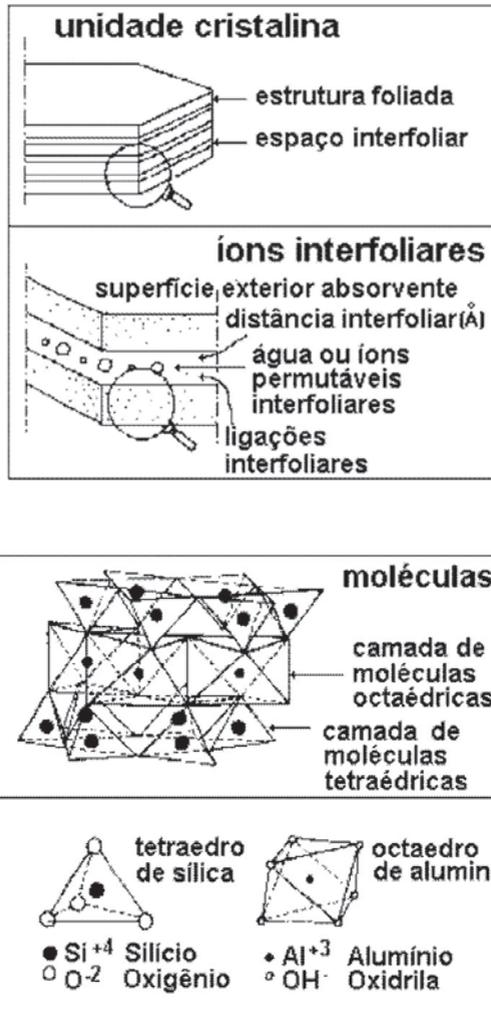
O feldspato, por decomposição química, forma as argilas.

Existem micas de diversos tipos, como a biotita (preta) e a muscovita (branca). São identificáveis a olho nu, pois são brilhantes.

b) Solos finos

Argila → Apresentando complexa constituição química e mineralógica, é formada por sílica (SiO_2) no estado coloidal, alumina (Al_2O_3) e/ou óxido de ferro (Fe_2O_3).

Argilomineral → Sua estrutura é formada a partir de duas unidades cristalográficas básicas (silícica e alumínica), dispostas em forma laminar.



(Fonte: OLIVEIRA, Mário Mendonça de. *Tecnologia da Conservação e da Restauração*, p.10)

Pela associação destas unidades cristalográficas, formam-se os vários tipos de minerais argílicos, dentre os quais três grupos se destacam:

- Caulinita → Por apresentar estrutura rígida, é estável em presença de água;

- Montmorilonita → Sua estrutura é pouco rígida, permitindo a penetração de água. É instável, expansiva;
- Illita → Apesar de apresentar um arranjo estrutural semelhante ao da montmorilonita, seus íons não permutáveis lhe conferem uma maior estabilidade. Isso faz com que ela não seja muito afetada pela água. É, pois, menos expansiva do que a montmorilonita.

5 – Plasticidade e consistência dos solos

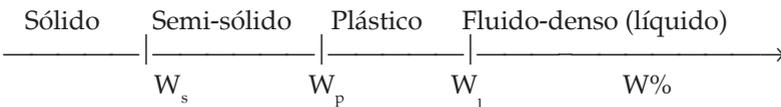
5.1 – Algumas noções

Chama-se de **plasticidade** a propriedade que tem o solo de sofrer rápidas deformações sem que haja variações volumétricas e rupturas significativas. É a capacidade que o solo tem de se deixar moldar. O conhecimento da plasticidade nos solos finos é de fundamental importância. A manifestação desta propriedade em um solo dependerá:

- Do teor de umidade do solo;
- Do argilomineral presente (que determinará a forma da partícula, sua constituição mineralógica, sua atividade).

5.2 – Estados de consistência

A depender da quantidade de água presente no solo, teremos os seguintes estados de consistência:



W_s (LC) = Limite de contração

W_p (LP) = Limite de plasticidade

W_l (LL) = Limite de liquidez

$W\%$ = Teor de umidade

- Estado sólido: não há variação de volume, podendo haver perda de peso quando efetuada a secagem do solo;
- Estado semi-sólido: não é possível moldar inteiramente o solo (aparenta um sólido), podendo haver variações de volume por ocasião da secagem;

- Estado plástico: apresenta a propriedade da plasticidade. É moldável (a forma permanece, se forças externas não agirem sobre ele);
- Estado fluido-denso: o solo está líquido, não apresentando resistência alguma ao cisalhamento.

Obs.: tanto a resistência ao cisalhamento quanto a compressibilidade dos solos variam nos diversos estados de consistência.

5.3 – Limites de consistência

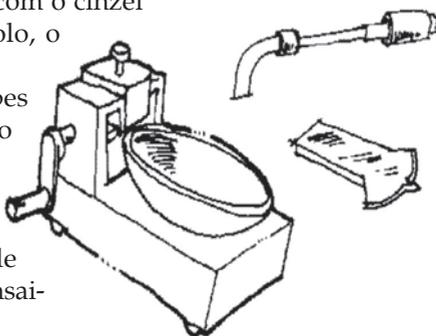
A delimitação entre os diversos estados de consistência é feita de forma arbitrária. Este estudo, **válido apenas para solos com grande percentual de finos**, foi inicialmente feito por Atterberg, culminando com a padronização dos ensaios de consistência, efetuada por Casagrande.

5.3.1 – Limite de liquidez (W_L ou LL)

É o teor de umidade divisor dos estados **plástico** e **fluido-denso** (líquido).

Ensaio:

- Coloca-se na concha do aparelho de Casagrande uma pasta de solo preparada com material que passa na peneira #40 (0,42mm);
- Faz-se um sulco na pasta com o cinzel (a depender do tipo de solo, o tipo de cinzel muda);
- Gira-se a manivela (2 golpes por segundo) e conta-se o número de golpes até o sulco se fechar em uma extensão de cerca de 1cm;
- Determina-se a umidade de uma amostra do material ensaiado;
- Repete-se o procedimento cinco vezes;
- Ajusta-se uma reta passando pelos pontos marcados e determina-se o valor do limite de liquidez do solo ensaiado para 25 golpes.



5.3.2 – Limite de Plasticidade (W_p ou LP)

É o ponto de umidade divisor entre o estado **semi-sólido** e o **estado plástico**. É quando o solo começa a ser moldável.

Ensaio:

- Prepara-se uma pasta com o solo que passa na peneira #40 (0,42mm) e com ela faz-se um pequeno cilindro, rolando-a com a palma da mão sobre uma placa de vidro esmerilhado;
- Quando o cilindro de solo atinge o diâmetro de 3mm (comparar com o padrão, em metal), apresentando fissuras, coloca-se o material (solo) em uma cápsula, fechando-a bem, para determinar sua a umidade;
- Repete-se pelo menos cinco vezes esta operação → O limite de plasticidade será o valor médio dos teores de umidade determinados para as diversas amostras.

5.3.3 – Limite de contração (W_c)

É o limite convencional de umidade entre o estado **sólido** e o estado **semi-sólido**. Este limite pode ser determinado em laboratório a partir da medida da massa e do volume de uma amostra de solo completamente seca, e corresponde à quantidade de água que causa a saturação dos vazios do solo.

Muitos solos, quando secos abaixo do limite de contração, não apresentam redução de volume, porém continuam perdendo peso à medida que são submetidos ao processo de secagem.

Ensaio:

- Molda-se na forma de uma pastilha uma amostra de solo passado na peneira #40 e com teor de umidade igual a 25 golpes no aparelho de Casagrande (ou seja, com uma umidade correspondente ao limite de liquidez);
- Seca-se a amostra à sombra e depois em estufa, pesando-a em seguida;
- Em uma cápsula de vidro, através do deslocamento do mercúrio, mede-se o volume seco da amostra. O limite de contração é determinado pela expressão:

$$W_c = \left(\frac{V_s}{M_s} - \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \right) \times 100$$

5.4 – Índices

Após determinados os valores dos limites de consistência, vários índices podem ser definidos. A seguir, apresentamos os mais utilizados:

5.4.1 – Índice de plasticidade

É a “região” do estado plástico do solo. É a diferença numérica entre o valor do limite de liquidez e o do limite de plasticidade:

$$I_p = W_l - W_p \quad (\text{ou } IP = LL - LP)$$

É uma maneira de avaliarmos a plasticidade do solo, qualitativa e comparativamente. O valor corresponde à quantidade de água a acrescentar a um solo para que este passe do estado plástico ao estado líquido.

Quantificação:

$$\begin{aligned} I_p = 0 &\rightarrow \text{Não plástico} \\ 1 < I_p < 7 &\rightarrow \text{Pouco plástico} \\ 7 < I_p < 15 &\rightarrow \text{Plasticidade média} \\ I_p > 15 &\rightarrow \text{Muito plástico} \end{aligned}$$

5.4.2 – Índice de consistência

É uma forma de medirmos a consistência do solo no estado em que se encontra na natureza.

$$I_c = \left(\frac{LL - W}{LL - LP} \right) = \frac{LL - W}{I_p}$$

W = Umidade natural do solo

É um meio de situar a umidade do solo entre os limites de liquidez e o de plasticidade. Tem-se verificado, no entanto, que este índice pode não retratar com fidelidade as variações de consistência de um solo.

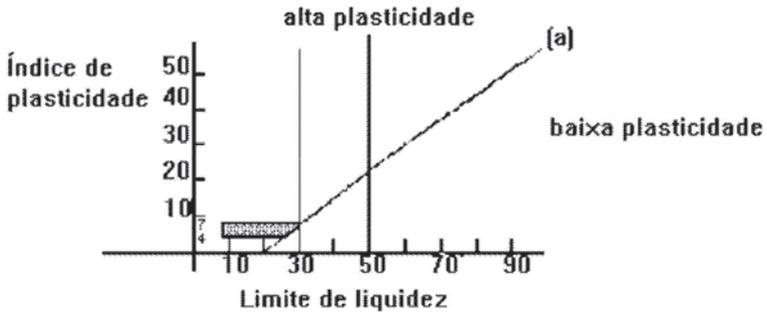
Quantificação:

$$\begin{aligned} I_c < 0 &\rightarrow \text{Fluido-denso} \\ 0 < I_c < 1 &\rightarrow \text{Estado plástico} \\ I_c > 1 &\rightarrow \text{Estado semi-sólido ou sólido} \end{aligned}$$

5.5 – Gráfico de plasticidade

Também denominado de *carta de plasticidade* ou *gráfico de Casagrande*, este gráfico serve para nos dar uma idéia do tipo de solo com o qual estamos trabalhando.

CARTA DE PLASTICIDADE



Parte 2

1 – O solo como material de construção na história

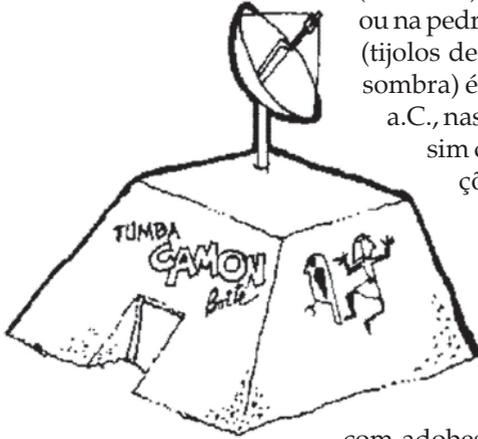


A *terra crua* teve e ainda tem seu uso bastante difundido pelo globo terrestre, tendo sido detectadas inúmeras formas de utilização deste material. Hoje, pelo menos 1/3 da população do globo terrestre habita construções feitas usando a *terra crua* como material principal. Há, inclusive, quem estime em 50% o percentual da população mundial que se vale de uma construção usando terra para se proteger das intempéries. China, Índia, Iêmen, Iraque,

Espanha, França, Inglaterra, Portugal, Dinamarca, Noruega, Suécia, Finlândia, Burkina Faso, Costa do Marfim, Marrocos, Peru, Bolívia, Brasil e Estados Unidos são apenas alguns exemplos de países onde a *terra crua*, sob uma ou mais formas diferentes, é utilizada na construção.

Citaremos alguns destes usos, a título de exemplificação, identificando-os de acordo com sua área de ocorrência ao longo do tempo.

Quando falamos em Egito, por exemplo, imediatamente lembramos das pirâmides e dos famosos templos de Amon, em Luxor (1450 a.C.) e em Karnak (1550-323 a.C.), e do templo de Abu-Simbel (1330 a.C.), todos construídos em pedra ou na pedra. Entretanto, o uso de adobes (tijolos de terra crua, secos ao sol ou à sombra) é constatado desde o ano 5000



a.C., nas primeiras mastabas. Isto, assim como a existência de construções em terra para alojar os operários das célebres pirâmides de Gisé (3733-3566 a.C.), está documentado em iconografias, maquetes e textos antigos, encontrados nas tumbas.

As construções feitas com adobes, com ou sem revestimento, tinham também seu emprego generalizado no Novo Império, o que pode ser verificado pelo fato de ter sido confirmada a existência de casas de artesãos e casas nobres feitas com este material, assim como palácios e templos. Os depósitos do famoso Ramesium de Ramsés II (1330a.C.), por exemplo, tinham abóbadas executadas em tijolos cozidos e adobes.



Ainda na África (região sudeste), na Ilha de Mayotte, na década de 1980, foi executado o maior programa de construção econômica em *terra crua* conhecido no mundo até hoje: foram erguidas 5000 casas, usando unicamente produtos locais.

Também na África, a partir de finais da década de 80 do século XX, foi desenvolvido um programa para a construção de escolas experimentais em terra, perfazendo um total de 2.000 salas de aula.

Além destes programas de construção em massa, podemos encontrar muitas edificações públicas e privadas, em um ou mais pavimentos, em inúmeros países africanos, construídas em diversas épocas diferentes, até os nossos dias.

No Oriente Próximo e Médio, escavações arqueológicas nos mostram indícios da evolução da habitação de terra após o Neolítico. No Iêmen, dentre inúmeros exemplos de construções isoladas, merecem destaque as cidades históricas de Shiban e Sanaa, que possuem suas edificações, muitas das quais desenvolvidas em vários pavimentos, construídas usando o solo como material básico de construção.



Como outros exemplos do uso do solo em construções nesta região do globo terrestre, citamos ainda:

- Há cerca de 10.000 anos existiam casas de planta circular que apresentavam embasamento em pedra e paredes de adobes em forma de pães de forma, modelados a mão;
- Em Muraybet (Síria), eram frequentes as construções de planta quadrada em adobes;
- Foi em Tell Hassuna (Iraque) onde surgiram possivelmente os primeiros tijolos paralelepípedicos;
- Para a execução da arquitetura monumental das cidades da época de Uruk (ca. 5000-3200 a.C.), eram utilizados adobes unidos no estado pastoso, sem argamassa;



• Em Ur, foram encontrados vestígios de casas em adobes com dois pavimentos e com pátios;

• Na Assíria, que dominou o Oriente Próximo até o século VI a.C., temos conhecimento das imensas muralhas de Nínive, completamente executadas em terra, com quinze portas. Sabemos ainda que o palácio de Sargão II, em Korsabad, utilizava adobes aliados a materiais finos de acabamento. Apresentava, inclusive,



galerias abobadadas. A Babilônia, por sua vez, perpetuou a tradição do uso da terra, introdu-

zindo também a técnica da terra armada (cordas e caniços se entrecruzavam e atravessavam as conexões de adobes dos zigurates). Em Ectabana, capital dos Medas, foram utilizados adobes secos com argamassa de argila e pilares de sustentação;

- Em Passárgada (526 a.C.), na Pérsia, surgiram provavelmente os princípios da sala hipóstila, tendo sido utilizada uma combinação de muros de adobes e colunas de pedra;
- Ainda na Pérsia, foi detectado o emprego generalizado de abóbadas de berço com fiadas inclinadas e cúpulas sobre trompas e pendentives. Também foram detectados sítios fortificados, cidades abandonadas e cidades atuais em arquitetura de terra.

Vale a pena ressaltar que os povos mesopotâmicos usavam a arquitetura de terra com muito saber, pois propiciavam uma maior durabilidade da mesma através do emprego de betume ou revestimento com painéis de ladrilhos cozidos, cuja função era proteger a sua degradação pela ação da água.

No Extremo Oriente, é do nosso conhecimento a existência de cidades neolíticas (6000 a.C.) na Índia, assim como de cidades contemporâneas de Ur e Babilônia, edificadas em adobes. Harappa e Moenjo-Daro são exemplos interessantes: a primeira, por ser uma cidade em terra que ocupava uma área de 850.000m², e a última, por ser uma cidade que apresentava um urbanismo único, desenvolvido em dois setores. O setor oeste, fortificado, ficava sobre plataforma de terra batida e adobes, e ali estavam localizadas as construções públicas. O setor leste, destinado às construções de caráter privado, era caracterizado por casas com pátio interno edificadas em adobes, com paredes externas revestidas de tijolos cerâmicos.

Conhecemos também as comunidades neolíticas da China (ca. 5000 a.C.), que consistiam em buracos de planta oval ou circular, com cerca de 3m de profundidade e 2m de largura de base, escavados em solo do tipo *loess*. Em alguns casos, casas semi-enterradas de planta oval, circular ou quadrada, eram executadas em associa-

ção com madeira. O maior dos exemplares foi encontrado em Banpoo, e apresentava 11m de comprimento por 10m de largura. Até hoje o *torchis*, o adobe e a terra-palha são usados naquele país.

Com relação ao uso do solo como material de construção na Europa, foram encontrados na Alemanha vestígios de cabanas de madeira e terra com quatro naves, apresentando dimensões de 25m x 8m. Neste mesmo país merecem destaque os centros de formação criados após a Segunda Guerra Mundial, onde a escassez de materiais e recursos, em oposição ao grande número de desabrigados, levou ao uso de construções alternativas em terra crua para a relocação de pessoas.

Na França, no século XIX, foi muito difundido o uso da taipa de pilão. Hoje, o número de edificações utilizando o solo como material de construção neste país chega a 15% do total. A partir de 1983, deu-se a construção de um bairro experimental de habitação social (“Domínio da terra”) na cidade nova de *L’Isle d’Abbeu*, perto de Lyon, onde foram executados através de um programa do *CRATerre*, 63 edifícios com técnicas modernas distintas, apresentando 3 a 5 pavimentos. O *CRATerre* é ainda responsável pela construção de um edifício experimental no campus de Grenoble (1987) e da “casa do futuro”, em La Villette (Cidade das Ciências e da Indústria).

Em Roma, por ocasião do Império Romano, as cabanas eram, a princípio, em madeira e terra, tendo sido substituídas por adobes antes de serem feitas em pedra. É famosa a frase de Otaviano Augusto – *Encontrei Roma de tijolos e a transformei em pedra* –, datando dos primeiros anos da Era Cristã, que denota claramente o material de construção empregado naquela cidade na época.

O uso da terra como material de construção, porém, não se restringiu à Europa, Ásia e África. No dito Novo Continente temos, também, comprovado o seu uso, como exemplificamos a seguir:

No México, era comum a construção de casas em adobes, casas feitas com tranças de terra recobertas com palha e terra compactada, revestida por pedras. Esta última técnica construtiva foi utilizada tanto pelos astecas quanto por olmecas e maias. As pirâmides que ainda encontramos em sítios arqueológicos mexicanos são feitas deste modo. O que varia é o tipo de rocha que as reveste: na península de Yucatán, o calcário, enquanto que no resto do país, o tufo vulcânico, por vezes recoberto por reboco pintado. Um exemplo é a pirâmide do Sol, em Teotihuacan (300-900 d.C),

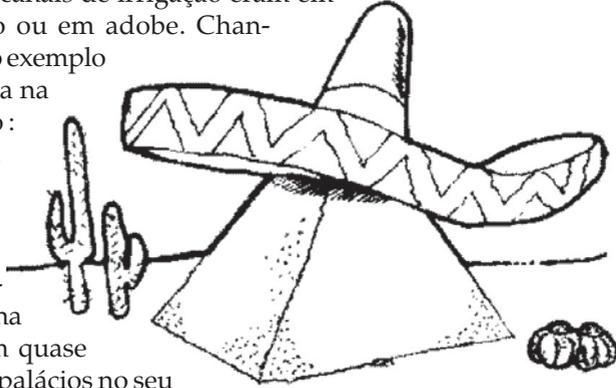
que consiste em uma montanha artificial de 225m de lado de base e 63m de altura, composta por dois milhões de toneladas de terra batida revestida por tufo vulcânico.

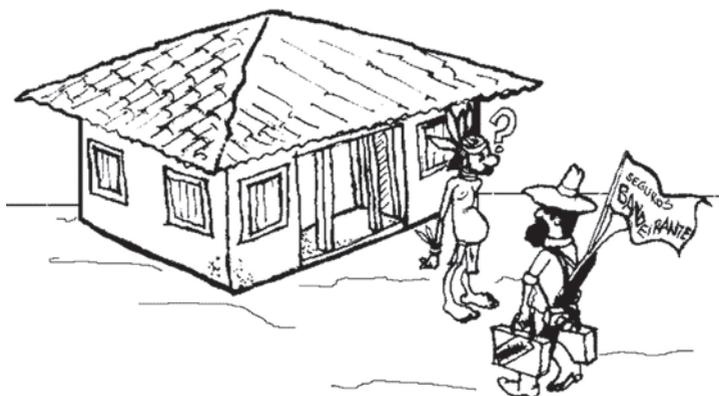
Na América Andina, a arquitetura era predominantemente executada em terra. As construções eram em adobes, revestidos ou não em pedra. Os canais de irrigação eram em taipa de pilão ou em adobe. Chan-

chan é um belo exemplo do uso da terra na construção: consistia em uma cidade de área aproximada de 20Km², cercada com muralha de terra e com quase uma dúzia de palácios no seu interior, também executados neste

material. Ainda hoje, nesta região do globo emprega-se em larga escala a taipa de pilão, o adobe e a quincha, existindo até uma legislação específica no Peru sobre o uso destes dois últimos materiais.

No Brasil, a terra teve seu emprego generalizado até o século XVIII, com maior ênfase em locais onde não havia muita pedra. Só para caracterizar o uso deste material, vale a pena lembrar que as muralhas da cidade de Salvador eram em taipa, assim como a casa forte construída por Caramuru em 1540 (primeira arquitetura mais duradoura levada a efeito no Brasil). A Sé de palha também teria sido edificada em taipa, assim como o hospital que anteriormente existia no local do Hospital Santa Isabel. As grandes matrizes do interior de Minas Gerais, assim como as pequenas capelas daquele Estado também, geralmente, foram erguidas com esta técnica construtiva. Nos arredores de Cuiabá, bem como em São Paulo e Goiás, ainda nos sobram vestígios de arquitetura de terra. Foi, inclusive, nestes dois últimos estados onde houve a maior difusão da taipa de pilão. A casa banderista é um exemplo de construção em taipa de pilão bastante conhecido entre nós, e que pode ser ainda visto em São Paulo, com certa facilidade. Temos notícia de um exemplar no Ceará, porém este é de acesso mais difícil.





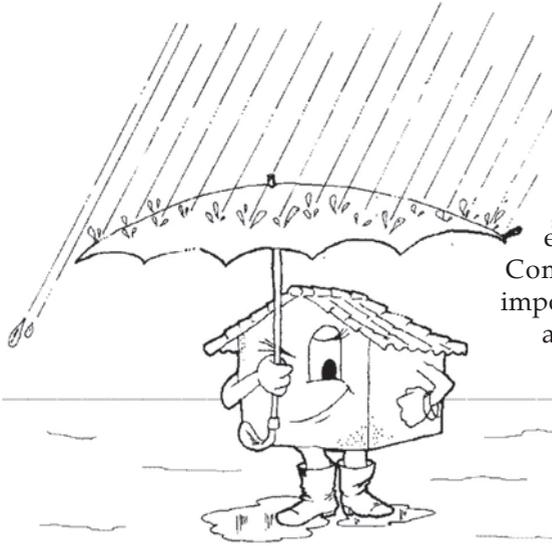
2 – Adequabilidade dos solos

Para que se escolha adequadamente um solo a ser utilizado na construção, é necessário que saibamos, *a priori*, o que vai ser construído, qual o local em que a obra será realizada, qual a técnica a ser empregada, qual a função do elemento construtivo a ser executado e se existem meios disponíveis para a estabilização, caso ela seja recomendada. Em geral, toda terra com boa coesão é adequada à construção, desde que tenhamos todos os meios para usá-la.

A boa escolha da terra determina economia na realização da obra, desde quando o projeto seja adequado. Isto significa que de nada adianta dispormos de uma boa terra se o projeto não for feito pensando no material "solo". Um bom arquiteto sempre deve projetar pensando nos materiais que irá usar para executar a sua obra, e não fazer primeiro o projeto e depois ir especificando materiais sem conhecer as características dos mesmos, pois a durabilidade das edificações depende fundamentalmente do uso consciente dos materiais.

3 – Modos de utilização da terra

Qualquer que seja o sistema construtivo em terra escolhido, devemos nos lembrar que é fundamental afastar o imóvel da água. Por isto, uma construção cujo material básico é o solo tem que ter uma boa cobertura e uma proteção eficiente na sua base. Beirais largos e paredes afastadas do solo sobre o qual estão apoiadas são, pois, requisitos importantes.



É impossível estudar o material de construção *terra* sem conhecer as diferentes técnicas construtivas que podem ser executadas com ela. Como é de fundamental importância para um bom arquiteto o conhecimento do material com o qual vai trabalhar, serão identificados a seguir alguns dos modos de utilização mais correntes. Tais modos de utilização

são associados a três grandes famílias de soluções construtivas, a saber:

- Construções **em** terra ➤ Terra escavada, terra cortada;
- Construções **com** terra ➤ Terra sobre estrutura, terra de enchimento;
- Construções **de** terra ➤ Terra compactada, adobe, terra modelada, terra empilhada, terra derramada, terra palha;

Vale a pena lembrar que nem todos estes modos de utilização do solo existem em todas as áreas do nosso planeta, e algumas vezes podem ser encontradas edificações utilizando mais de um deles associados.

Os mais difundidos modos de utilização são: terra cortada, terra compactada, terra modelada, terra empilhada, adobe, terrapalha e terra sobre estrutura.

Entretanto, se quisermos, podemos adotar outras formas de classificação das construções feitas usando solo:

- Construções com terra não processada ➤ A terra é usada como se encontra na natureza, ou seja, no estado seco, sólido (compactado naturalmente). Este é o caso da terra escavada, dos torrões de terra cortados e dos blocos cortados;

- Construções com terra processada ➤ A terra tem que ser trabalhada antes de ser empregada, podendo se encontrar em estados hídricos diferentes (ver item 5). É o caso da terra derramada,

modelada, empilhada, sobre estrutura, terra-palha, adobe ou terra de enchimento.

3.1 – Terra escavada

Depende da natureza do solo (solos macios, *loess*, lava argilosa) e do clima (quente e seco). São encontrados exemplos

na Espanha na Turquia, em Marrocos, na Tunísia e na Líbia.

Este tipo de construção protege o interior da edificação do calor diário, reduzindo as variações térmicas. Era comum quando faltavam materiais construtivos, tempo e recursos.

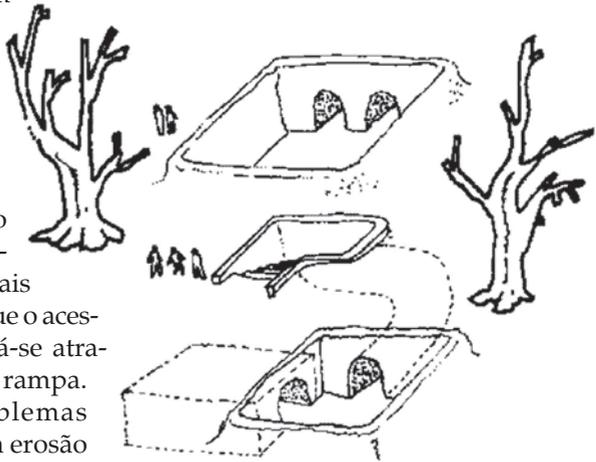
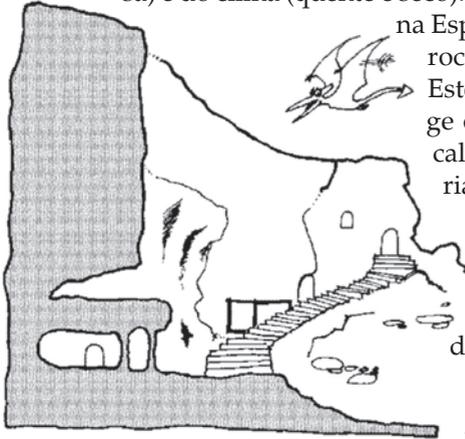
Podem ser executadas de duas formas diferentes:

- Escavação horizontal ⇨ Consiste em uma série de habitações intercomuni-

cantes ou, mais raramente, em casas isoladas com um ou mais níveis executadas em montanhas por comunidades trogloditas, e com fachadas dissimulando a escavação;

- Escavação vertical ⇨ A escavação é feita em locais planos, de modo que o acesso à construção dá-se através de escada ou rampa. Os maiores problemas apresentados são a erosão e a drenagem de águas plu-

viais. Como exemplos, citamos casas na Tunísia e na China, com 9 a 10 metros de profundidade e pátio de iluminação e ventilação com área de 200 a 250m².



3.2 – Terra de cobertura

Neste caso, a terra é utilizada apenas para recobrimento de telhados em habitações tradicionais, ou nas casas enterradas, que apresentam estrutura independente, feita de qualquer outro material (caso da sede da UNESCO, em Paris). Em certos casos, usa-se também uma associação de terra com estrutura metálica (França, Espanha, Estados Unidos).

As casas recobertas de terra já existiam na China há cerca de 4.000 anos, em Banpoo, no intuito de propiciar conforto térmico aos seus habitantes. Podem ser encontradas atualmente tanto em zonas de clima quente e úmido (Tanzânia, Etiópia, Nigéria), quanto em zonas muito frias (Islândia, Noruega), onde é freqüente o uso de coberturas de terra contendo gramíneas.



Torrões de 40 a 50cm de espessura de terra usados em cobertura chegam a propiciar uma redução de 50 a 90% das perdas de calor por isolamento, além de propiciar um melhor isolamento acústico. Este processo de isolamento térmico é recomendado, hoje, em arquitetura bioclimática.

O maior problema apresentado por esta forma de utilização da terra é conseguir drenagem, proteção e estanqueidade adequadas.

3.3 – Terra de enchimento

Como a própria denominação já diz, consiste no uso da terra para encher elementos ociosos, dando uma maior rigidez e um melhor isolamento termo-acústico às paredes. Para evitar problemas futuros com a umidade e também com a existência de vazios no interior das paredes, recomenda-se uma terra seca, pulverizada.

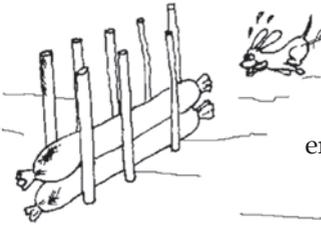
É uma técnica de rápida execução, que dispensa mão-de-obra especializada e que custa relativamente pouco. Serve para a elaboração de construções emergenciais ou, até mesmo, em alguns casos, para a construção de habitações para populações de baixa-renda,

aproveitando elementos ociosos diversos, como por exemplo pneus velhos. Os pneus, por não serem biodegradáveis, são geralmente queimados, gerando gases tóxicos e poluindo o ambiente. A sua adoção como material de construção traria, pois, um benefício duplo.

No caso do emprego dos pneus, basta empilhá-los, enchê-los com terra e revesti-los com gesso (internamente) ou com a própria terra (externamente).



Além de solidez, a casa apresentará como característica a boa inércia térmica (devido à espessura das paredes).

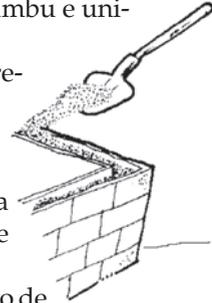


Outros exemplos de terra de enchimento:

- Sacos de juta cheios de terra seca, empilhados;
- Cordões de tecidos de algodão cheios com areia, fixados sobre armadura rígida de bambu e uni-

dos com leite de cal;

- Blocos vazados de cimento cheios de terra (apresentando estrutura vertical em concreto armado nos ângulos);
- Bolsas gigantes em tecido, cheias de terra;
- Telas ou grelhas de madeira, ou de madeira revestida com tela metálica (execução simples e rápida, mas temos que protegê-las bem).



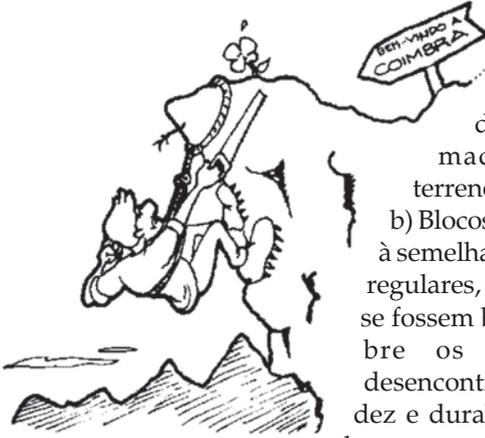
Há registro, em textos do século XVIII, do uso de sacos de terra para a construção de parapeitos de fortificações.

3.4 – Terra cortada

O solo é usado sem precisar ser trabalhado, ou seja, é apenas cortado e usado exatamente como ele se encontra, em torrões ou pedaços cortados. Podem ser usados: solos superficiais, orgânicos ou minerais, de boa coesão natural; terra orgânica vegetal, rica em raízes; solos de regiões áridas, ricos em aglomerações carbonatadas que lhes dão coerência química. No caso da utilização de solo rico em raízes, assentar os blocos com a superfície original voltada para baixo e rebocar, de modo a evitar o crescimento de vegetais.

Formas de utilização da terra cortada:

- a) Torrões de terra ➔ Cortados em camada de terra vegetal úmida ou turfa seca, retirada em várias camadas de acordo com a espessura disponível. Este sistema era utilizado nos Estados Unidos, seguindo um modelo indígena aperfeiçoado, mas caiu em desuso. Apresenta, entretanto, possibilidades de voltar a ser utilizado. No Brasil, também são usados cascarões de barro, formados por secagem de terrenos argilosos (tijuco);



- b) Blocos cortados ➔ São extraídos à semelhança de rochas, em formas regulares, e depois assentados como se fossem blocos cerâmicos (uns sobre os outros, com juntas desencontradas). Apresentam solidez e durabilidade apreciáveis. Podem ser encontrados, por exemplo, na Líbia, no México, nos Estados Unidos, em

Burkina Faso.

3.5 – Terra compactada ou comprimida

A redução do percentual de vazios em um solo, quando comprimido, leva a uma redução de porosidade e conseqüente diminuição da sensibilidade à água, uma maior resistência à compressão e uma massa unitária mais elevada.

Os mecanismos de compressão possíveis são:

- Compressão estática ➔ Aplicação gradual de uma força, por meio de uma prensa. Neste caso, há uma limitação da ação em profundidade devido à fricção interna do solo, ou seja, o atrito entre as partículas não permite uma boa compressão em grande profundidade. Como a prensa tem limitações, só serve para a confecção de elementos isolados;
- Compressão dinâmica ➔ Pode ser por impacto (técnica antiga, manual, cansativa; difícil de controlar-se a espessura de cada camada de material socado; boa para muros inteiros) ou por vibração (mais rápida e eficiente, porém consome energia e o equipamento necessário custa caro e nem sempre é encontrado com facilidade).

3.5.1 – Blocos compactados

As unidades isoladas são compactadas e, posteriormente, assentadas normalmente com argamassa, o que propicia uma grande variedade de formas de utilização. É uma técnica mais moderna do que a taipa de pilão. O apiloamento pode ser manual ou mecânico (prensas), sendo feito dentro de moldes, que podem também ser simples ou múltiplos, como no caso dos adobes. O solo, como na taipa de pilão, deve ser apenas úmido.

Sua produção é assegurada em todas as estações, mediante cuidados especiais para estocagem nos primeiros dias de cura em zona de regimes climáticos rudes, muito chuvosos ou muito quentes.

Os blocos compactados podem ser encontrados com formas e características diferentes. Como exemplo, citamos:

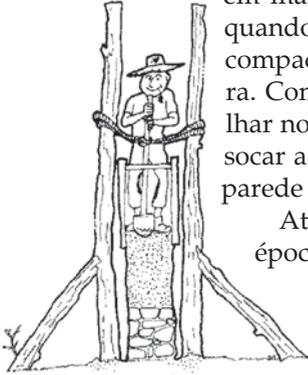
- Maciços (usos diversificados);
- Vazados, apresentando 15 a 20% de vazios, o que lhes conferem melhor aderência e menor peso;
- Com reentrâncias e saliências, dispensando argamassa ou utilizando uma quantidade ínfima deste material ➔ Os moldes usados neste caso são mais sofisticados e a pressão é relativamente mais elevada;
- Para-sísmicos ➔ São blocos que apresentam orifícios, através dos quais passam peças estruturais que travam a estrutura. Esta maior integração aos sistemas estruturais confere às paredes um melhor comportamento quando da oscilação do terreno onde estão implantados;
- Alveolares ➔ Mais leves, são executados em moldes mais sofisticados e requerem pressões maiores do que as necessárias à moldagem de um bloco normal;
- Especiais (aplicações específicas).

Os blocos compactados também podem ser feitos com solo misturado com cimento, com cal, com fibras.

Com relação à execução de uma parede utilizando blocos compactados, recomenda-se que não seja assentada uma faixa muito grande de blocos no mesmo dia, para evitar o esmagamento da argamassa. Além disto, todas as paredes devem ser levantadas simultaneamente, de modo a assegurar-se um perfeito travamento das mesmas nos cruzamentos.

3.5.2 – Taipa de pilão

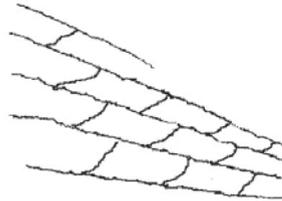
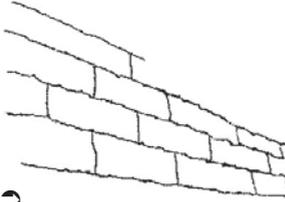
A taipa de pilão consiste em uma técnica simples, onde a terra (arenosa, com pedregulhos e levemente argilosa) é apiloada manual ou mecanicamente dentro de formas, normalmente executadas em madeira. Cada faixa de parede apresenta, quando pronta, altura variante entre 40 e 80cm, compactada em camadas de 15 a 20cm de altura. Como, geralmente, um homem deve trabalhar no interior da forma, de modo a conseguir socar a terra uniformemente, a largura de uma parede de taipa é de pelo menos 60cm.



Atenção: a produção deve ser evitada em épocas chuvosas ou com calor excessivo.

Com relação à diversidade de formas de execução, a taipa de pilão apresenta as seguintes variantes:

- Com junta reta ➔ Se a forma utilizada apresentar as extremidades fechadas por ocasião da execução da camada, quando a parede tiver sido concluída apresentará juntas verticais;
- Com junta oblíqua ➔ Caso as extremidades da forma não tiverem sido vedadas por ocasião do apiloamento das camadas, as juntas resultantes serão oblíquas;
- Sem juntas verticais ou inclinadas ➔



Se as paredes da edificação forem levantadas simultaneamente, em toda a sua extensão, no final só existirão as juntas horizontais;

- Com o uso de cal entre as diversas faixas de terra compactada;
- Com forma perdida ➔ Pelo menos uma das faces da forma (geralmente a externa) é executada com um material que permanecerá no lugar (pedra, tijolos, bambu, madeira) após a confecção da parede;
- Com tela metálica ➔ Caso o solo a ser empregado seja expansivo, deverá ser usada uma espécie de caixa feita em tela metálica, para minorar os problemas decorrentes da expansão.

Com relação à maneira de execução das aberturas, temos:



- Deixando-se os vãos das aberturas desde o início da obra;
- Abrindo-se os vãos de portas e janelas no final da obra, desde quando a estrutura dos mesmos seja prevista inicialmente.

Além das variantes acima indicadas, a tampa de pilão pode:

- Ser moldada em formas especiais, em estruturas de tamanhos variáveis, que serão montadas por engaste;
- Apresentar acabamento áspero (grãos mais grossos no exterior, o que dá uma melhor aderência ao reboco), ou fino;
- Apresentar ou não rejuntamento feito com argamassa.

3.5.3 – Paredes inteiriças em solo-cimento

O solo, já devidamente misturado com o teor de cimento adequado, é misturado com a quantidade de água necessária apenas para ficar úmido (é impossível trabalhar com o solo seco ou com ele molhado demais). Feito isto, é socado em camadas sucessivas, em formas pré-fabricadas armadas nos locais das paredes. Conseqüentemente, este é um sistema duplamente estabilizado de construção, já que temos a densificação por compactação associada à estabilização por cimento.

Existem detalhes construtivos e recomendações importantes que podem ser verificados no Manual da Construção com Solo Cimento, do CEPED, e em outros textos específicos sobre o assunto, de modo que não vamos nos deter em detalhes. Mencionamos apenas que a espessura mínima conseguida no caso da execução das ditas paredes é de 12cm, e que não é recomendada a construção de mais de um pavimento, pois o impacto do soquete pode gerar fissuras na parede do térreo.

Esta técnica tem sido empregada na construção de conjuntos habitacionais para populações de baixa renda, mas também se presta a obras de grande porte. Ela foi utilizada, por exemplo, na construção do Hospital Adriano Jorge (10.800m²), em Manaus, em 1950.

3.5.4 – Piso em terra batida

Muito comum em casas de pessoas de baixa renda, o piso em terra batida é simples e fácil de limpar. É executado batendo-se a terra com o auxílio de um pilão por 20 a 30 minutos durante alguns dias seguidos, cada vez que as fissuras começarem a aparecer. O acabamento pode ser feito usando um solo arável misturado com excrementos de gado bovino, o que fará com que o solo fique mais flexível e quebre menos.

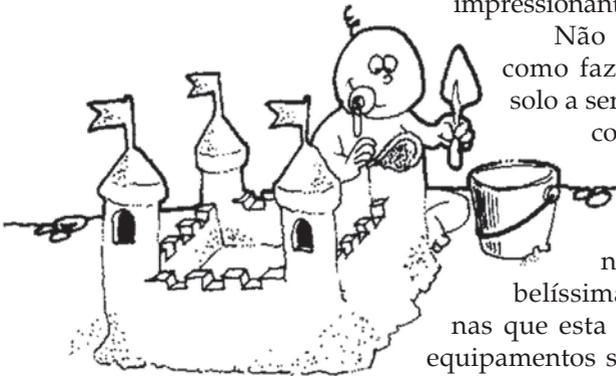
De acordo com o depoimento de um artesão francês, em uma casa de terra batida não se precisa limpar os pés, os animais podem comer no chão, a água pode cair. Ainda de acordo com este artesão, uma casa bem mantida se conhece pelo chão, plano, ligeiramente brilhante, limpo.

O piso pode ser reintegrado com facilidade, transformando-se em um verdadeiro mosaico, como também pode ser substituído na íntegra. A receita para a execução de um piso depende muito do operário.

Também podemos usar o piso em terra batida em praças públicas, estacionamentos e vias, porém nestes casos é recomendada a estabilização com cal ou com cimento.

3.6 – Terra modelada

A terra, no estado plástico e misturada ou não com fibras (palha, pêlo de animais, casca de vegetais), é trabalhada manualmente, como se o produto resultante desejado fosse um pote cerâmico ou uma escultura. Em assim sendo, a construção pode adquirir formas impressionantes.



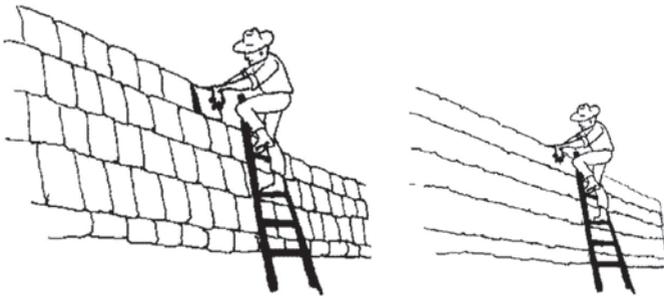
Não se sabe ao certo como fazer o controle do solo a ser usado. É preciso conhecer a tradição (no Iêmen e na África o povo realmente conhece e faz obras belíssimas). Sabe-se apenas que esta técnica dispensa equipamentos sofisticados e usa mão-de-obra reduzida, o que confere baixo custo à construção.

A espessura das camadas pode ser bem diferente, a depender da variante técnica adotada: a modelagem direta gera paredes finas (5 a 7cm de espessura), enquanto que se forem usados grandes bolas de terra, trabalhadas em camadas (que devem secar antes da camada sucessiva), as paredes resultantes apresentam espessuras maiores.

No México foram identificadas, também, construções feitas com tranças de palha envolvidas com argila.

3.7 – Terra empilhada

Técnica simples e muito interessante, de rápida execução e secagem longa, pouco conhecida ainda hoje, consiste no emprego de solo no estado plástico, com desengordurantes que melhoram sua coesão e sua resistência à tração. É encontrada em habitações rurais simples, no Afeganistão, e em construções de vários andares, no Iêmen. Seu uso em habitações de baixa renda seria bastante indicado, reduzindo em muito os custos de execução e propiciando inércia térmica.



O material utilizado, a depender do local e da variante técnica adotada, pode ser um solo siltoso com argila misturado com casca de grãos ou palha trançada (que neste caso deve ser mais rígida), até solos muito arenosos, com pedregulhos e levemente argilosos. A dosagem é feita a olho, sendo o traço aproximado 1:1 (solo, palha), em volume. Pode-se, em alguns casos, comprar o material pré-misturado.

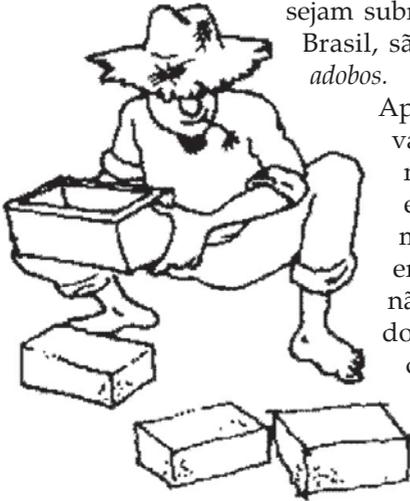
Amassado por antecipação, o material é trabalhado em bolas empilhadas ou jogadas umas sobre as outras com força, com a ajuda de um garfo. A parede consistirá, pois, em uma estrutura inteiriça, executada em camadas espessas (40-200cm), com cerca de três palmos (66cm) de altura, cada uma sendo regularizada com uma peça

de madeira e depois com a mão (no dia posterior ao da moldagem). A camada seguinte, a ser executada após 2 ou 3 semanas, deve apresentar bordo para servir de proteção contra as águas pluviais.

No Brasil, há uma variante desta técnica, conhecida pelo nome de **barroca**, onde os excedentes são aparados a faca antes da secagem completa da camada.

3.8 – Adobe

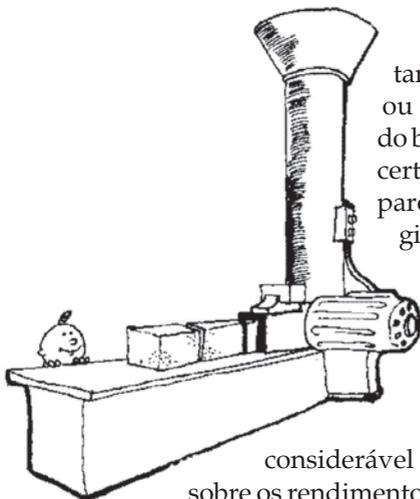
Denominação pela qual são conhecidos os tijolos de barro secos ao sol ou à sombra, em locais arejados, sem que sejam submetidos à queima pelo fogo. No Brasil, são chamados com frequência de *adobos*.



Apresentando formas e dimensões variadas, podem ser executados manualmente ou com o auxílio de equipamentos mecânicos, usando moldes simples ou múltiplos, feitos em plástico, madeira (revestidos ou não com fórmica) ou metal e usando-se desmoldante (óleo, areia ou cinzas), ou mesmo sem moldes (com o solo no estado plástico, é possível, inclusive, a extrusão). Já que a moldagem pode ser artesanal ou industrializada, a produção pode variar bastante

(de 100 a milhares de unidades/homem/dia). É impossível a produção em períodos muito quentes ou muito frios.

Com relação específica à extrusão, é um processo de fabricação que surgiu no século XIX, com o desenvolvimento das máquinas. Consiste em utilizar a pressão para fazer sair, por um orifício de forma definida, um cordão contínuo de terra. Este cordão, confeccionado com solo muito argiloso, sem grãos grandes, é lançado pela máquina sobre uma superfície plana, estática, ou sobre uma esteira rolante, sendo cortado em pedaços regulares por elementos metálicos. Os produtos que podem ser obtidos desta forma são tijolos maciços ou furados, tijolos paralelepípedicos estabilizados com asfalto, cilíndricos. Estes últimos, extrudados individualmente, devem ser aplicados úmidos, preenchendo uma estrutura de madeira.



A terra recomendada deve estar no estado plástico e ser argilosa ou siltosa, com bastante areia, sendo bastante coesiva, o que causa uma certa dificuldade de extração e preparo. A granulometria e a mineralogia do solo influenciam no produto final (expansibilidade, capacidade de estabilização, resistência à compressão). Muito pedregulho e muita argila afetam muito na durabilidade.

A produção tem influência considerável sobre a qualidade do produto, sobre os rendimentos e a economia, porém não é só a máquina que garante a qualidade do produto final. É importante a racionalização da produção, observando-se critérios para a otimização da qualidade do produto, a diminuição dos custos e a diminuição da complexidade de produção. Em uma produção artesanal, na qual trabalhe um profissional experiente, pode-se conseguir até 500 adobes por pessoa/dia, a um custo zero, enquanto que em uma produção industrial podemos obter 4.000 adobes por pessoa/dia, porém o custo de implantação é de cerca de US\$300.000,00.

Em linhas gerais, os passos da produção são:

Extração da terra → Transporte → Secagem → Estocagem da terra na área da produção → Seleção → Moagem → Peneiramento → Dosagem seca (em massa ou volume) → Moldagem → Cura → Secagem → Estocagem.

No caso de uso de um eventual estabilizante, temos ainda:

- Após a dosagem: Mistura seca (estabilizante em pó) ou úmida (após a seca, ou no caso do emprego de um estabilizante líquido) → Tempo de reação com o estabilizante → Trituração;
- Após a cura: aspersão (se necessária à hidratação do estabilizante)

Adobes dimensionalmente estáveis devem ter uma alta relação areia/ silte-argila, e uma quantidade mínima de pedregulho. É sugerido usar-se 70 a 80% de areia e 30 a 20% de silte e argila, em iguais proporções, embora, na prática, tenha-se verificado que há muitas diferenças na dosagem do material empregado na fabricação de adobes.

As propriedades físicas variam a depender da composição do

solo e dos métodos de fabricação do adobe. Os adobes apresentam, entretanto, alta condutibilidade térmica (quatro vezes maior do que a do gesso e duas vezes maior do que a do concreto normal). Os efeitos aparentes do isolamento térmico dos adobes devem-se à grande espessura das paredes.

Para se saber, empiricamente, quanto de água é necessário para o preparo do adobe, coloca-se a água *a olho* e faz-se um sulco de 8cm de profundidade na superfície da mistura: se as paredes do sulco tenderem a deslizar uma em relação à outra, a quantidade de água é correta; se ficarem firmes, a mistura está muito seca; se se juntarem, tem muita água.

Os tijolos apresentam dimensões que podem variar de 15 a 120cm, geralmente obedecendo à proporção dimensional 1:2 ou 1:1,5 (largura, comprimento). O ideal é que o peso e o volume permitam a manipulação do adobe por uma única pessoa, sem cansá-la e sem romper o adobe. Isto, entretanto, nem sempre ocorre, como é o caso do nosso chamado “adobão” e do emprego, já constatado, de adobes com 120cm de comprimento.

O uso do adobe é comum hoje em dia em casas de pessoas mais pobres, nos países ditos subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Nos Estados Unidos, entretanto, seu uso é generalizado, sendo inclusive usado na construção de mansões. É símbolo de *status* possuir uma casa construída com este material. Já existem em uso corrente naquele país normas para a confecção de adobes. Em outros países, apesar de ainda não existirem normas para a sua produção, seu uso também já é difundido na construção de habitações para as classes mais abastadas. Será, possivelmente, um dos materiais de construção do futuro.

Além dos adobes simples, feitos com terra não estabilizada, existem aqueles elaborados misturando-se o solo com fibras, excrementos ou cal.

Com relação à aparência, os adobes podem ser lisos ou apresentar ranhuras. Os tipos mais conhecidos são:

- a) Clássicos ➤ São aqueles cuja moldagem, manual ou mecânica, é efetuada com ou sem moldes. Medem de 25 a 60 cm de comprimento. Quando utilizados os moldes, estes podem ser simples, múltiplos ou mesmo moldes grandes, de 4m x 2m (neste último caso, o produto resultante deverá ser cortado após sua confecção).

A evolução do adobe deu-se da seguinte forma: de cônico passou a

cilíndrico, a semi-esférico e a cúbico, para só posteriormente assumir a forma paralelepípedica que conhecemos hoje em dia.

Os adobes podem ser classificados em:

- Piriformes ou cônicos → Apesar de serem os mais antigos que conhecemos, ainda são utilizados na África. Podem ser lisos, mas existem alguns ricamente decorados com motivos geométricos;
 - Cilíndricos → Muito usados na Alemanha, após a Primeira Guerra Mundial, consistiam em pequenos cilindros molhados assentados sobre estrutura de madeira. Para evitar fissuras, pequenos galhos eram colocados entre cada camada de tijolos;
 - Prismáticos → Suas dimensões e peso variam de 11cm x 20cm x 5cm e 2Kg a 30cm x 60cm x 10cm e 30Kg. Sua moldagem é feita sobre o solo, com a terra no estado plástico, usando um molde úmido preenchido em várias camadas, de modo que haja a eliminação do ar, ou em camada única, jogando-se a terra com força e raspando-se o excedente. A desmoldagem deve ser feita imediatamente, e o adobe colocado para secar sobre palha, pó de serra ou areia, para evitar sua aderência à superfície em que está apoiado.
- b) Especiais → São aqueles que se destinam a aplicações específicas (para cúpulas e abóbadas, vazados, decorados, com ranhuras para melhorar a aderência);
- c) Para-sísmicos → Estes tipos permitem a integração com os sistemas estruturais, pois apresentam orifícios por onde passam as peças da estrutura que travarão as paredes.

3.9 – Terra derramada

A terra, com granulometria bastante arenosa, é lançada no estado líquido em um molde ou forma, à semelhança de um concreto.

A princípio, é possível o uso de todos os equipamentos empregados em concreto na execução de um elemento qualquer feito com terra no estado líquido, inclusive bomba de lançamento, porém ainda é necessário que haja um aperfeiçoamento do equipamento, para não ocorrer entupimento.

Consome pouca energia na sua fabricação, presta-se a um grande número de aplicações e não requer mão-de-obra especializada.

Esta forma de trabalhar a terra pode ser utilizada na pré-fabricação de elementos, na execução de muros inteiriços ou de pavimentos.

Sua grande desvantagem é a grande retração na secagem, por causa da



quantidade de água da mistura, o que pode ser minorado através da redução das dimensões dos elementos ou por meio de uma estabilização adequada.

Na fabricação de tijolos, é exigido um grande conhecimento da consistência da terra a ser usada. A produção é artesanal, onde moldes múltiplos ou moldes de grandes dimensões (3m x 3m) são preenchidos com o auxílio de uma pá carregadeira. Podem ser produzidos até 20.000 tijolos por dia.

Para a execução de paredes inteiriças são usadas formas armadas com metal ou bambu. Os problemas de fissuração, entretanto, são graves, por causa da grande retração sofrida na secagem, já mencionada anteriormente.

É fácil a execução de pavimentos em terra derramada. Os pavimentos tanto podem ser em áreas internas, quanto externas, decorados ou não, impermeabilizados com asfalto ou óleo (de linho, de oliva, ou de carro, já queimado), e sempre deverão apresentar juntas. No caso de solo estabilizado com cimento, o material presta-se bem para canais de irrigação ou drenagem.

3.10 – Terra-palha

A barbotina (líquido espesso e homogêneo, feito com terra argilosa, sem grãos graúdos, dispersa em água) é misturada com muita palha de cevada, centeio ou feno, com comprimento variando entre 15 e 40cm.

A massa unitária do produto final oscila entre 600 e 1200kg/m³, a depender da quantidade e do tipo de solo utilizado na barbotina (o que confere à mesma uma viscosidade variável), assim como da perda de material nas formas.

As paredes resultantes podem ser feitas com blocos (seu aspecto é o da palha) ou através do preenchimento de ossatura de madeira.

Não há retração horizontal e a vertical é muito pequena, por causa da presença da palha. De preparo relativamente simples, apresenta boa durabilidade, resistência às intempéries e ao fogo, bom isolamento térmico. É já considerada como tecnologia do futuro, em países de clima pouco úmido (é inade-



quada para locais de clima úmido devido à facilidade de apodrecimento da palha sob a ação da umidade).

Empregos possíveis da terra-palha:

- Elementos isolados (a serem fixos com argamassa de terra) ➔ Boa resistência, fácil execução. Toda a casa pode ser pré-fabricada;
- Paredes ➔ Possuindo em geral 20 a 30cm de espessura, podem chegar a ter 12cm. Quando executadas sobre ossatura de madeira, devem secar por vários meses antes de receber o reboco (boa aderência com a palha). Com a adaptação da estrutura, é possível a construção em vários pavimentos;
- Pavimentos ➔ Devem ser executados sobre base áspera que impeça a ascensão capilar;
- Lajes de piso ➔ Semelhantes a muros, só que na horizontal, são executadas sobre uma trama de madeira. Chegam a suportar até 500Kg/m².

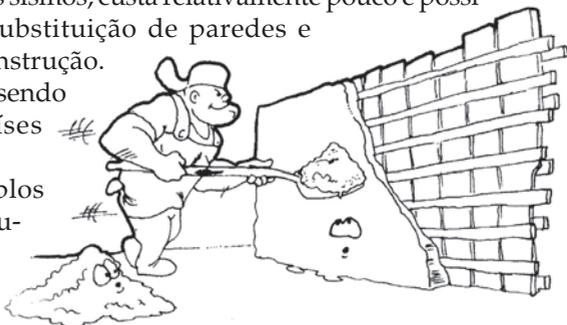
3.11 – Terra sobre estrutura

A terra, no estado plástico e misturada ou não com palha ou outras fibras vegetais, é aplicada manualmente sobre uma estrutura portante. A estrutura independente geralmente feita com madeira, bambu, falsa erva de elefante ou caniços entrelaçados, pregados ou com estrutura de palha trançada ou trama de cesto, deve ser completamente envolvida pela terra, tanto interna quanto externamente. O ideal é que, além disto, a parede receba reboco, para evitar eventuais orifícios que propiciem o alojamento de animais e também sirvam para proteger a estrutura interna.

A terra utilizada deve ser muito argilosa, porém contendo argila pouco expansiva. Apesar de tida como pouco durável, se possuir boas fundações, boa cobertura e for feita com solo adequado, pode durar 50 anos, mesmo em locais com muita chuva e ataque de térmitas e roedores. Resiste bem aos sismos, custa relativamente pouco e possibilita uma fácil substituição de paredes e ampliações da construção.

Atualmente, está sendo utilizada em países industrializados.

Como exemplos notáveis de construções feitas com terra sobre estrutura



temos uma parte do Palácio de Versalhes e a Faculdade de Medicina de Lima.

As variantes mais conhecidas do uso de terra sobre estrutura são:

- Taipa de sopapo (de mão, de sebo ou barro de mão) ➤ Técnica simples, econômica, é muito empregada em zonas tropicais. O guarnecimento em terra, que propicia uma parede com 10 a 15cm de espessura, dura dias. Aqui no Brasil é comum um sistema de mutirão onde o futuro proprietário convida os amigos para a cerimônia da “tapagem”, que consiste na execução das paredes ao som de cânticos populares acompanhados de bebidas e seguidos de uma refeição coletiva. Normalmente a taipa de sopapo é feita com uma mistura simples de solo e água, porém em casos especiais encontramos ainda o uso de fibras, excremento ou mesmo cal;
- Molhos de palha (*torchis*) ➤ São usadas tranças feitas com bastante palha envolvidas por bolas de terra. O aspecto final é semelhante ao da terra-palha;
- *Wattle and daub*, *quincha* ou *bahareque* ➤ Técnica muito antiga, de uso generalizado ainda hoje em alguns países, consiste em aplicar a terra sobre um entramado de caniços com palha trançada (como cestos). Em certos locais, a água é substituída por urina de cavalo, apresentando ótimos resultados;
- Terra projetada ➤ A terra é lançada com o auxílio de bombas, sob forte pressão, sobre a estrutura de madeira. Esta técnica ainda apresenta alguns problemas não resolvidos (consistência adequada do solo, obturação das tubulações). É usada atualmente na Costa do Marfim;
- *Chorizo* ➤ Ao invés da tradicional estrutura de madeira, pode-se usar madeira e fios de arame (na horizontal), nos quais são pendurados cilindros delgados de terra e palha, trançados por ocasião da execução da parede. A estrutura pode ser reaproveitada após eventual retirada dos elementos feitos com terra envolvendo palha. É comum em alguns países da América Latina;
- Painéis pré-moldados ➤ Podem ser feitos em série, modulados, colocados para secar ao sol, e posteriormente utilizados na execução das casas. Prestam-se bem para mutirões, como já demonstrado nas cidades de Itacaré e Brasília.

3.12 – Rebocos e argamassas

Além de poder ser utilizada de todas as formas já citadas, a terra crua também se presta para rebocos e argamassas de assentamento.

Os rebocos devem ser menos rígidos do que a parede, para que não caiam, assim como devem também ser permeáveis ao vapor, de modo que a terra possa respirar e manter sua boa qualidade de isolante natural. Geralmente consistem em uma mistura de silte argiloso, palha e cal aérea, sendo que esta última é usada sob a forma de pasta. Também podem ser feitos através da adição de pelos de animais.

Podem ter superfície regularizada, como um reboco comum, ou texturizada. Inclusive, podem ser feitos com bolas de terra atiradas com a mão.

Em alguns casos, podem ser encontradas paredes revestidas com rebocos de terra de coloração variada, o que pode ser obtido por meio do uso de solos diferentes.

As argamassas de assentamento feitas de solo são usadas para unir elementos também feitos de terra (adobes, por exemplo). Entretanto, uma outra maneira de emprego do solo em argamassas é no caso das chamadas argamassas *bastardas*, nas quais, além da areia e do aglomerante, o solo também é empregado. Este costume vigorava no Brasil desde a época da sua colonização, e pode ser notado ainda hoje, mesmo no caso do uso do cimento como aglomerante.

4 – Características de alguns sistemas

Como foi visto anteriormente, existem formas bastante diferentes de se utilizar a terra como material de construção. Em algumas situações, alguns dos sistemas são combinados para melhorar certas partes ou para economizar tempo ou mão-de-obra. Isto pode, entretanto, levar ao aparecimento de fissuras, gretamentos e diferença de assentamento. Veremos, a seguir, algumas características de alguns dos sistemas aos quais nos referimos.

4.1 – Terra sem estrutura interna

- Bom isolante térmico (pela espessura);
- Suporta temperaturas maiores do que 25°C sem rachar;
- Apresenta boa elasticidade, resistindo bem aos sismos;
- É um material econômico, se disponível no próprio local da obra e usado ao natural ou com estabilizantes econômicos;

- Por apresentar inércia térmica, requer dispositivos especiais de projeto (pátios, janelas, galerias) caso se deseje acelerar o processo de perda de calor;
- É muito sensível à umidade;
- Só trabalha bem à compressão;
- Requer boa distribuição de cargas.

4.2 – Terra com estrutura interna de madeira

- Rapidez de execução;
- Facilidade de uso na elaboração de construções provisórias;
- Independência da estrutura, o que dá uma maior flexibilidade arquitetônica;
- Fragilidade do conjunto;
- Retração;
- Ataque por insetos (na estrutura);
- Riscos de incêndio;
- Pouco isolamento;
- Necessidade de madeira para a estrutura;
- Apodrecimento da madeira devido à umidade.

4.3 – Sistemas inteiriços em geral

- Homogeneidade;
- Realização de grande espessura de uma só vez;
- Ausência de parasitas nos muros;
- Não apodrecimento;
- Uso de pouca madeira;
- Não necessita de local para armazenamento;
- Boa durabilidade;
- Excelente desempenho estrutural, se a fundação for boa;
- Altera-se mais com a água do que se tivesse estrutura interna. É melhor ser rebocado;
- Requer secagem completa antes da realização dos pisos ou do telhado;
- Requer mais gente para a construção de uma casa do que se fossem utilizados elementos isolados;
- Necessita de boa impermeabilização dos pisos para evitar a umidade ascendente.

4.4 – Alvenarias

- Maior plasticidade de formas;
- Possibilidade de realização de cúpulas, abóbadas, plantas circu-

- lares e irregulares;
- Execução mais simples;
- Rapidez de execução;
- Rapidez de aplicação do reboco (não há necessidade de esperar a parede secar, pois os elementos usados na confecção da mesma estavam secos quando empregados);
- Maior facilidade para a execução de aberturas e instalação de elementos de carpintaria;
- Menor homogeneidade;
- Necessidade de uma grande área para a secagem dos elementos isolados;
- Maior fragilidade;
- Riscos de ruptura.

5 – Estado hídrico do solo

O estado hídrico em que se encontra o solo influi na execução da obra. O fato da terra estar úmida ou seca, por exemplo, vai determinar técnicas de moldagens diferentes.

Podemos classificar, pois, os modos de utilização do solo de acordo com os seguintes estados hídricos:

- a) Seco ➔ Nesta categoria tanto podemos incluir as terras compactas, que podem ser cortadas ou escavadas com facilidade, quanto a terra seca, pulverizada, usada como material de enchimento;
- b) Úmido ➔ Terra compactada (bloco comprimido, apiloado, taipa de pilão, solo-cimento);
- c) Plástico ➔ É o estado hídrico em que a moldagem manual do solo é conseguida. Como exemplo, citamos o adobe, a terra-palha (na hora da aplicação), a terra modelada, a terra empilhada, a terra sobre estrutura;
- d) Líquido ➔ A terra é diluída em água, podendo se apresentar como uma massa viscosa mais ou menos líquida ou como uma calda rala (barbotina). Este é o caso da terra derramada e da terra-palha (na fase de preparo).

Ressalta-se que existem autores que fazem uma classificação mais detalhada do estado hídrico dos solos, um pouco diferente da que foi citada anteriormente, mas achou-se isto desnecessário no caso deste texto.

6 – Estabilização de solos

Chama-se de estabilização o processo de introdução de modificações nas propriedades de um solo de modo a conseguir-se melhorar as características do mesmo. Isto é feito através de alteração da estrutura e/ou da textura da terra, e visando adequar o solo a uma aplicação particular.

Os pontos a serem considerados, no caso de se precisar fazer uma estabilização, são:

- As características do solo com o qual se pretende trabalhar;
- As qualidades que se deseja melhorar naquele solo;
- Os custos da obra → Em alguns casos, o custo elevado do processo e o atraso na execução, que pode ocorrer pelo fato de necessitar-se avaliar cuidadosamente os efeitos da estabilização desejada no tipo de solo específico com o qual se pretende trabalhar, fazem com que seja necessário gastar alguns meses em verificações antes de ter-se um resultado satisfatório, e muitas vezes isto não é possível, pois tem-se um cronograma de obras a ser seguido;
- A técnica de execução que se pretende utilizar, pois há métodos de estabilização que não se adaptam a certas técnicas construtivas. Logo, não podem ser utilizados.

A estabilização é muito útil pois, através dela, podemos atingir objetivos diversos, tais como:

- Redução da porosidade, da permeabilidade e das variações de volume da massa de terra;
- Melhoria da resistência mecânica (à compressão, à tração e ao cisalhamento) do solo;
- Melhoria da coesão das partículas do solo entre si;
- Aumento da resistência à abrasão pelo vento e pela chuva.

A estabilização pode ser usada na massa dos muros, na elaboração de revestimentos ou diretamente no terreno, porém **só deve ser feita quando isto for indispensável**, ou seja, no caso do material estar sujeito à ação da água, se houver necessidade de melhorar a resistência à compressão do mesmo ou para modificar a sua massa unitária, tornando-o mais leve ou mais pesado.

Deve-se ter sempre em mente que inexistente um estabilizante milagroso. Há, inclusive, ábacos estrangeiros que servem para auxiliar na escolha do estabilizante adequado, porém os resultados não devem ser tomados como verdade absoluta. Falando-se de estabilização, o ideal é que sejam feitos ensaios de laboratório específicos para que se conheça realmente o resultado que se pode atingir,

especialmente em zonas de solos bastante intemperizados, como é o caso das zonas tropicais.

A estabilização pode ser:

- Mecânica, quando, com o auxílio de algum equipamento, podemos rearrumar as partículas do solo, sem que sejam colocadas outras substâncias no mesmo. Este é o caso da densificação por compressão (compactação), por exemplo;
- Física, quando há intervenção na textura do solo, através da mistura controlada de grãos ou da adição de fibras, assim como por tratamento térmico (desidratação, congelamento);
- Química, quando um produto químico é introduzido, de modo a alterar as características iniciais do solo utilizado, através de reações entre as partículas do solo e o material ou produto usado, ou por meio da criação de uma matriz;
- Mista, quando se utiliza uma combinação de alguns dos tipos de estabilização supramencionados.

Os estabilizantes, ou seja, os produtos a serem utilizados na estabilização (verificar que existem casos em que não é necessária a inclusão de produto algum para se estabilizar um solo) podem ser de naturezas diversas (pós, fibras, plaquetas, pastas, líquidos).

Os solos que serão manuseados podem, a princípio, ter como estabilizantes materiais de qualquer natureza, o que não ocorre em monumentos históricos e solos não trabalhados, que só poderão ser estabilizados por injeção ou impregnação. Neste texto não abordaremos os processos de estabilização de monumentos históricos, pois não é algo tão simples quanto a estabilização de um solo para a execução de uma construção nova.

Os métodos mais usados de estabilização são:

- Densificação;
- Armação com fibras;
- Estabilização com cimento (solo-cimento);
- Estabilização com cal (solo-cal);
- Estabilização com betume.

Entretanto, existem ainda outros métodos de estabilização, aos quais vamos nos reportar mais adiante.

6.1 – Densificação

A estabilização por densificação é conseguida através da eliminação do máximo de vazios existente entre as partículas de solo. Isto pode ser feito de duas maneiras distintas:

- Por manipulação mecânica (densificação por compressão), reduzindo-se os vazios e rearrumando os grãos do solo ➔ A intervenção é feita diretamente na estrutura, não havendo, pois, alteração da textura. O produto final **sempre** apresenta uma massa unitária seca mais elevada (o material é mais compacto) e uma maior resistência à compressão se considerado o solo sem mistura, por causa da redução dos vazios que poderiam favorecer a evolução das fissuras (no caso, por exemplo, de um solo ser misturado com cal e posteriormente submetido à compressão, pode ocorrer, a depender dos constituintes mineralógicos do solo, a redução da resistência mecânica);
- Por gradação (modificação na granulometria do solo), levando a uma redução de vazios e multiplicação de contacto entre os grãos, o que também confere uma maior resistência ao produto final ➔ A intervenção é feita na textura, através do acréscimo ou da eliminação de grãos, seguindo os princípios abaixo indicados:
 - a) Quando a terra for muito rica em **grãos graúdos**, deverá ser feita a eliminação de parte destes grãos por **peneiramento**;
 - b) Quando a terra for muito rica **em finos**, deverá ser realizada uma **lavagem** (parcial ou total) de uma porção da terra, misturando-a com a terra inicial;
 - c) Quando a terra apresentar textura descontínua, teremos duas opções a seguir, a depender do caso: se a curva granulométrica apresentar patamar, deveremos acrescentar aquela fração de grãos que estiver faltando; se a curva apresentar um pico, teremos que excluir parte daquela fração que estiver presente em excesso;
 - d) Quando dispusermos de uma terra muito arenosa e uma muito argilosa, a estabilização poderá ser conseguida através da mistura daqueles dois tipos de solo.

Com relação aos métodos de compressão, temos:

- Compressão estática ➔ Conseguida através de uma prensa;
- Compressão dinâmica por vibração ➔ Conseguida com um vibrador;
- Compressão dinâmica por impacto ➔ Obtida através de batidas frequentes (o caso da taipa de pilão convencional, por exemplo).





Atenção:

- Para cada um dos métodos anteriormente descritos, há um teor de água ideal (W_{ot}) correspondente, para o qual obtemos uma massa unitária seca ideal;
- Quanto maior a energia de compactação, menor o teor de água ideal e maior a massa unitária seca. Entretanto, se a energia de compactação for muito grande, pode ocorrer a laminação do produto final;
- A textura da terra também influi na compactação.

Uma boa compactação causa redução da permeabilidade, da absorção d'água, do inchamento do produto final e da compressibilidade, assim como aumento da resistência mecânica.

6.2 – Armação com fibras



É conseguida através da criação de uma matriz independente da argila, que é formada pela associação do estabilizante (fibra) com a fração arenosa do solo. Sua eficácia depende da qualidade e da quantidade das fibras, que são responsáveis pela modificação do comportamento mecânico do material. As fibras podem ser usadas em adobes, terra-palha, blocos comprimidos, taipa de pilão ou terra empilhada.

A estabilização com fibras tem as seguintes funções:

- Aumento da resistência à tração;
- Redução da movimentação do produto final, induzida por compressão, tração, ação da água, dilatação térmica;
- Redução da massa unitária do material, tornando-o mais leve e melhorando suas propriedades de isolamento;
- Distribuição das tensões de secagem, impedindo a fissuração;
- Aceleração da secagem do produto final, por drenagem ➔ Devemos tomar cuidado, entretanto, pois a existência de fibras em demasia, especialmente se em contato com a superfície do produto, leva a uma maior absorção em presença de água, com sua conseqüente degradação.

Tipos de fibras que podem ser usados:

- Vegetais ➔ Palhas de todas as espécies, cascas de cereais (arroz, trigo), cargas leves (ex.: pó de serra), feno, cânhamo, palha de milho, bagaço de cana, fibra de casca de coco, sisal, capim elefante, fibras de palmeira, de bambu, sobras da tecelagem do linho e do cânhamo etc.;
- Animais ➔ Pêlos e crinas de animais diversos, principalmente de bovinos e equinos;
- Sintéticas ➔ Celofane, aço, fibra de vidro.

Com relação ao preparo do material, destacamos os seguintes pontos:

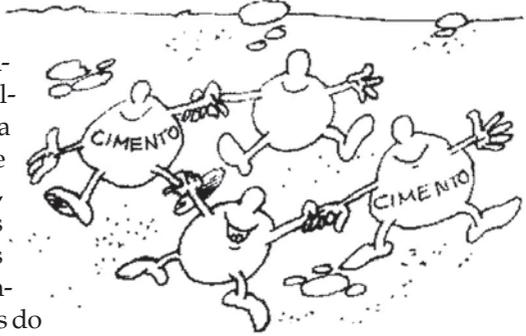
- Utilizar terra no estado líquido ou plástico, de modo que seja possível a sua mistura íntima com as fibras;
- Usar pedaços de fibra com comprimentos variando entre 4 e 6 cm, dispostos em todas as direções. Em zonas sísmicas, no entanto, fibras longas dão melhores resultados (30-40cm);
- Evitar paralelismo e concentração de fibras;
- Evitar deixar a terra úmida por muito tempo em contacto com a palha, pois pode haver formação de ácido láctico, prejudicial à estabilização;
- Fazer moldagem por compressão, se possível.

Aspectos práticos:

- A quantidade de fibras utilizada vai influenciar diretamente na resistência à compressão em blocos (temos resultados satisfatórios a partir de 4% em volume), porém há um limite de fibras, tendo em vista que, se colocarmos muita fibra, vai haver uma redução do contacto fibra-terra, levando a uma menor resistência e aumentando a possibilidade de ingresso d'água por absorção;
- A resistência do material com fibra chega a ser 15% maior do que aquela do mesmo material sem fibra, observada a quantidade máxima de fibras a ser empregada na mistura;
- Blocos com fibras absorvem muita energia a eles aplicada, daí serem recomendados em zonas sísmicas;
- A estabilização com fibra pode ser usada em associação ao cimento, à cal, ao betume (neste caso, misturar a terra e o betume, e só então acrescentar a fibra) e/ou à densificação;
- Apesar de ser recomendada a moldagem por compressão no caso da estabilização com fibras, é comum a moldagem manual de adobes usando este processo, no intuito de melhorar a qualidade do produto final.

6.3 – Estabilização com cimento (solo-cimento)

A estabilização com cimento, assim como a estabilização com cal, com resinas e com colas, é obtida através do preenchimento dos vazios por um ligante insolúvel, capaz de envolver as partículas em uma matriz inerte. Ocorre uma *formação de cadeia*, unindo intimamente as partículas do solo. Os principais fatores que influem nas características do solo-cimento são o teor de cimento, a natureza do solo e a compacidade da mistura.



Os resultados obtidos com este tipo de estabilização são:

- Aumento da massa unitária em terras com compactação medíocre e redução em terras bem compactáveis;
- Menor variação de volume;
- Maior resistência à compressão;
- Maior resistência à erosão.

Obs.: a resistência à tração, tanto seca quanto úmida, é função da massa unitária seca e do índice de vazios.

O mecanismo da estabilização usando o cimento funciona de três maneiras diversas, pois o cimento reage com:

- A água, formando uma massa de cimento puro hidratado;
- A fração arenosa do solo, à semelhança do que ocorre com as argamassas de cimento e areia;
- A argila, o que ocorre em três fases distintas: hidratação, progressão da hidratação e interpenetração do gel de cimento no aglomerado argiloso.

Temos, desta forma, três estruturas diversas misturadas: uma pasta de cimento, uma argamassa de cimento e areia e um argilomineral estabilizado.

Para se conseguir resultados mais eficientes, recomenda-se compactar a mistura de solo com cimento com o material no estado úmido. É possível a estabilização no estado plástico, porém o gasto de cimento é cerca de 50% maior, o que não é economicamente recomendável.

Os solos que propiciam melhores resultados à estabilização com cimento, no que diz respeito à resistência mecânica, são os arenosos e aqueles que possuem pedregulhos, apesar de quase todos os tipos de solos se prestarem a este tipo de estabilização.

O cimento recomendado é o Cimento Portland comum, pois os outros são mais caros e geralmente dão os mesmos resultados. Os de alta resistência, por sua vez, endurecem mais rapidamente, dificultando o trabalho em grandes canteiros.

Cuidados:

- A presença de matérias orgânicas (ácido nucleico ou tartárico, glucose) reduz a velocidade de pega e a resistência do produto final. Se a quantidade de matérias orgânicas estiver entre 1 e 2%, há riscos; acima de 2%, o fracasso da estabilização é garantido;
- Os sulfatos são nocivos, particularmente os de cálcio (gesso);
- Os óxidos e hidróxidos metálicos têm pouco efeito no caso do solo-cimento;
- As águas ricas em matérias orgânicas e aquelas com sais são inadequadas ao processo.

Preparo do solo-cimento:

- a) Pulverização do solo;
- b) Mistura homogênea seca com o estabilizante;
- c) Colocação da água e nova mistura;
- d) Compactação imediata do material preparado, para que a pega não interfira no processo ➔ No caso de terras argilosas, a compactação deve ser do lado úmido do teor ideal de água (W_{ot}), enquanto que no caso das terras arenosas a compactação deve ser do lado seco do W_{ot} ;
- e) A resistência cresce com a secagem, que deve ser de pelo menos 14 dias (o ideal é que seja de 28 dias), em ambiente úmido, ao abrigo do sol e longe do vento, de modo a evitar fissuras por secagem muito rápida.

Aditivos que podem ser acrescentados à mistura, caso seja necessário:

- Para reduzir a sensibilidade à água de certas terras ➔ Acetato de amina, melamina, anilina, cloreto de ferro;
- Para reduzir problemas decorrentes das matérias orgânicas ➔ Cal (também modifica a plasticidade da terra), $CaCl_2$ (também acelera a pega do cimento);
- Para aumentar a reatividade da terra e provocar reações de cimentação complementares àquelas do cimento com terra ➔ Hidróxido, sulfato, carbonato ou silicato de sódio;

- Para impermeabilizar ⇨ Betumes em emulsão aquosa ou então em *cut-back* (fluidificados em querosene, gasolina ou nafta).

Com relação à durabilidade, se executado observando-se as recomendações e tendo-se os devidos cuidados com o projeto, o solo-cimento pode durar bastante, mesmo sendo, em linhas gerais, menos resistente que um bloco cerâmico ou um tijolo maciço de boa qualidade.

A dosagem do cimento depende do tipo de solo utilizado e da forma de preparo do material. Resultados satisfatórios têm sido conseguidos com 3% de cimento, porém critérios de resistência impõem sempre teores mais altos (6 a 12%).

Todos os solos apresentam melhores propriedades mecânicas quando adequadamente misturados com o cimento e compactados. As limitações na utilização deste produto são por razões de trabalhabilidade (facilidade de destorroamento e mistura com aditivos) e consumo de cimento. Por esta última razão, recomenda-se avaliar os custos antes de escolher uma determinada proporção a ser empregada. Por exemplo, solos argilosos apresentados em forma de torrões secos vão requerer tempo e custo adicionais de mão-de-obra, serão difíceis de ser misturados com água e apresentarão aderência ao soquete quando da moldagem e compactação.

Os limites de consistência de Atterberg (limites de liquidez e de plasticidade) expressam as condições de trabalhabilidade do solo. Quanto maiores os valores destes limites, maiores dificuldades no destorroamento, mistura e secagem (quando necessária). É consenso que o limite de liquidez máximo deve estar entre 45 e 50%.

Quanto à granulometria, o consumo de cimento depende fundamentalmente do tamanho dos grãos do solo e da sua uniformidade. Maiores quantidades de silte ou argila, ou ocorrência de grãos muito uniformes requerem maiores teores de cimento. Por outro lado, o solo deve ter uma quantidade mínima de fração fina, pois a resistência inicial do solo compactado deve-se à coesão da fração fina compactada, já que as reações de endurecimento ainda não se teriam processado. Para teores de argila e silte, juntos, inferiores a 20%, não se consegue resistência inicial para compactação imediata. Há, porém, divergências quanto aos critérios de seleção no que diz respeito à granulometria, como pode ser verificado de acordo com os valores recomendados por diversas instituições ou pesquisadores, indicados a seguir:

- ICPA (*Instituto del Cemento Portland Argentino*):

Areia	.....	60-80%
Silte	.....	10-20%
Argila	.....	5-10%
- MERRIL, A.F. (*Casas de tierra apisonadas*):

Areia	> 50%
-------	-------	-------
- HOUBEN, Hugo (*CRATerre, França*):

Areia	.....	40-70%
Silte	.....	0-30%
Argila	.....	20-30%
- CEPED (*Centro de Pesquisa e Desenvolvimento, Bahia*):

Areia	.....	45-80%
Silte + argila	.....	20-55%
Argila	.....	< 20%
LL	.....	< 45%
- CINVA (*Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento, Colômbia*):

Areia	.....	45-80%
Silte + argila	.....	20-55%

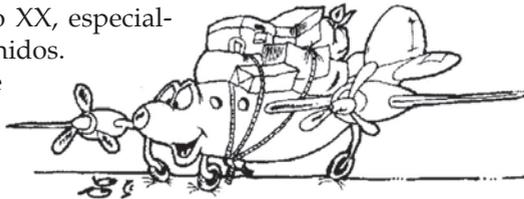
Inexistindo laboratórios que possam fazer uma caracterização adequada do solo, existem alguns testes práticos (do cordão, da fita, do bolo, de resistência seca) que poderão ser efetuados de modo a verificar-se qualitativamente se ele é favorável ou não à estabilização com cimento.

As formas mais comuns de uso do solo-cimento são em pavimentações, em blocos compactados ou paredes inteiriças.

6.4 – Estabilização com cal (solo-cal)

A estabilização com cal é um processo bastante antigo no mundo. Isto pode ser comprovado até mesmo pelos documentos que falam da história da cidade do Salvador, onde há menção ao fato das suas muralhas serem muito altas para terem sido feitas com *terra sem cal*. Na estabilização de estradas, o processo vem sendo empregado mais amiúde desde a década de 20 do século XX, especialmente nos Estados Unidos.

Um exemplo de utilização do solo-cal em grande escala é o Aeroporto de Dallas (Estados Unidos),



onde 300.000 toneladas de cal foram usadas para estabilizar uma área de 70Km². Entretanto, seu uso tem crescido bastante em habitações.

De acordo com os estudos realizados, o processo de estabilização ocorre da seguinte forma:

- a) Após a hidratação da cal, ocorrem trocas catiônicas entre o cálcio da cal e os íons trocáveis (sódio, magnésio, potássio, hidrogênio) do solo;
- b) Há aumento de tamanho das partículas finas do solo, assim como alterações na sua textura e estrutura, devido à floculação e aglomeração por troca de íons e aumento da quantidade de eletrólitos na água intersticial;
- c) A reação de carbonatação consome parte da cal disponível para reações pozolânicas;
- d) A sílica e o alumínio da argila reagem com o cálcio da cal formando silicatos que cimentam os grãos (reações pozolânicas). A manutenção do pH alto favorece a dissolução dos minerais argilosos e a reação de estabilização efetiva.

O percentual adequado de cal depende das características do solo empregado, mas o *CRATerre* recomenda valores entre 3 e 8%. Este tipo de estabilização é indicado para solos com boa fração argilosa, terras ricas em silicatos de alumínio, hidróxidos de ferro, sílica e pozolanas.

Os resultados sempre obtidos com a estabilização com cal são: alteração na massa unitária (para mais ou para menos, a depender do tipo de solo utilizado), redução das variações volumétricas do produto final e variação da resistência à compressão (para mais ou para menos, ou seja **alguns solos, quando estabilizados com cal, têm a sua resistência à compressão diminuída**).

Apesar de poderem ser utilizados todos os tipos de cales no processo de estabilização, a cal extinta é a mais recomendada, bastando não ser muito fina. A cal viva tem seu uso limitado pelo fato de apresentar problemas de estocagem e manipulação. As cales hidráulicas, por sua vez, só devem ser usadas se não tivermos acesso às aéreas.

É possível o uso de aditivos quando se deseja aumentar a reatividade da terra, sua resistência à compressão, a eficácia do processo no caso de terras areno-siltosas, ou quando o objetivo é reduzir o inchamento (devido ao uso de cal viva) ou hidrofugar as terras tratadas.

Preparo do solo-cal:

- a) Pulverização do solo;
- b) Mistura (no caso de terras muito plásticas, a mistura deve ser feita em duas fases: seca, com 24 a 48h de espera, e úmida);
- c) O tempo de espera, por via úmida, é de no mínimo 2 horas (8 a 16 horas quando se desejar alcançar resistências superiores); por via plástica, devemos deixar reagir muitas semanas (este é o caso dos rebocos, que devem ser mais untuosos e colantes);
- d) Por ocasião da compressão, a umidade deve estar próxima do teor ideal (W_{ot}). No caso de emprego de cal viva, como a reação é exotérmica e consome água, temos que adicionar mais água à segunda parte da mistura;
- e) Se prolongarmos a cura de secagem por semanas ou meses, a resistência do produto final será maior. É bom uma cura úmida, com temperaturas elevadas. Para temperaturas superiores a 60°C, os resultados obtidos são melhores.

É possível a associação da estabilização com cal a outros tipos de estabilização, como por exemplo a densificação.

6.5 – Estabilização com betume

A estabilização feita com betume tem o intuito de impermeabilizar o solo, reduzindo a erosão à água e as variações volumétricas decorrentes do contato constante com a umidade. O material submetido a este tipo de estabilização tem sua massa unitária reduzida e sua resistência à compressão alterada (a resistência a seco cresce até determinado ponto, depois cai muito).

A impermeabilização consiste no preenchimento dos vazios com material insensível à água e, quando tiver que ser feita, é recomendada para os seguintes tipos de solos:

- Solos arenosos, volumetricamente estáveis;
- Solos argilosos e siltosos, que requerem mais estabilizante por terem maior superfície específica.

A estabilização com betume é inadequada para terras finas das regiões semi-áridas, onde o pH e o teor de sais dissolvidos são elevados. Ela propicia melhores resultados em terras arenosas ou siltosas.

O uso do betume como impermeabilizante é muito antigo, pois no século V a.C., na Babilônia, ele já era empregado. Na década de 40 do século XX, nos Estados Unidos, a instalação de refinarias levou ao desenvolvimento do produto, tendo sido, inclusive, colocados no mercado tijolos estabilizados industrializados, porém o alto custo do produto tornou a sua produção proibitiva.

Este estabilizante é mais indicado quando se optar por técnicas que requeiram uma grande quantidade de água (adobe, por exemplo).

O percentual de betume que deve ser usado é de 2 a 3%, o que também pouco afeta a coloração final do produto, além de não deixar odor após a secagem. A resistência à compressão é função da dosagem do betume e da demora da secagem.

A aplicação pode ser feita de duas formas distintas:

- *Cut-back* ➔ Betume fluidificado com gasolina, querosene ou nafta;
- Emulsão ➔ Betume disperso em muita água. A emulsão é menos estável que o *cut-back*, pois há riscos de segregação betume-água. Deve ser misturada ao solo já úmido.

Preparo:

- a) Não misturar muito com o solo, para que não haja ruptura prematura da película com conseqüente aumento da absorção de água. No caso de terras úmidas, ter cuidado para não acrescentar solução de água e betume em excesso. Para o teor ideal de água, a mistura é mais difícil, e apesar de uma possível redução da resistência úmida e do grau de impermeabilização, os processos de compactação e desmoldagem são mais simples. Para facilitar o trabalho, misturar o betume com pouca terra, e depois misturá-la com o resto. Se tivermos que misturar areia à terra, misturá-la primeiro ao betume;
- b) Uma compactação adequada aumenta a evaporação do solvente e propicia uma boa massa unitária e arestas vivas no produto final (boa desmoldagem);
- c) É melhor curar o produto final a seco do que em ambiente úmido. Uma cura longa, a uma temperatura elevada, porém menor do que 40°C (acima disto não há vantagens), produz efeitos benéficos sobre a absorção e a expansão (maior perda de elementos voláteis).

6.6 – Outras formas de estabilização

Dentre as inúmeras formas de estabilização conhecidas, vamos citar apenas algumas:

- Estabilização com resinas (em forma de monômeros ou polímeros)
 - ➔ Apesar de terem pega rápida, facilidade de incorporação à terra por causa da sua viscosidade e possibilidade de solidificar solos muito úmidos, apresentam alguns inconvenientes, como custo elevado, tecnologia de produção sofisticada, toxicidade e

manipulação delicada. Exemplos: goma-arábica (maior resistência à compressão, menor absorção), lignina (impermeabilizante), goma-laca (boa resistência às terras arenosas, pouca resistência à água), resinas à base de álcool polivinílico (PVAI) e à base de acetato polivinílico (PVAc – maior coesão), resinas epoxídicas, resinas poliuretânicas;

- Estabilização com produtos de origem animal ➔ Excrementos (de boi, cavalo, dromedário, pombo etc.), provavelmente pela presença de fibras, ácido fosfórico e potassa (KOH); urina de cavalo (elimina a fissuração e aumenta a resistência à erosão, dando resultados ótimos se associada à cal); sangue de animais; colas de chifres, ossos, cascos e peles; secreção de térmitas (tem boa resistência às intempéries e é útil na fabricação de blocos); óleos e gorduras animais (impermeabilizantes);
- Estabilização com produtos de origem vegetal ➔ Cinzas (melhoram a resistência à compressão, sem alterar a sensibilidade à água); óleos e gorduras secativos, que devem endurecer em contacto com o ar e ser insolúveis à água (óleo de mamona, de coco, de algodão, de linho); tanino (maior dispersão, melhor envolvimento dos grãos pelas argilas, menor permeabilidade, destorroamento mais fácil); suco de folha de bananeira precipitado com cal (melhora a resistência à erosão e reduz a capacidade de absorção de água);
- Estabilização com produtos sintéticos (produtos industriais, resíduos industriais ou produtos naturais que exigem transformações sofisticadas) ➔ Por serem caros e apresentarem eficácia por vezes duvidosa, são geralmente pouco usados (ácidos, bases, sais);
- Estabilização com gesso ➔ Interessante para terras arenosas em que falta coesão. Apresenta bons resultados para teores menores do que 15% (para evitar riscos de pega muito rápida, que não deve ocorrer antes da moldagem ou preparo de pequenas quantidades). O gesso pode ser combinado com cal (terras argilosas), mas não com cimento.



7 – Causas da degradação das construções em terra

- Umidade (ascendente, infiltrações, condensação, vazamentos);
- Ventos (chuvas, areias);
- Presença de vegetais;
- Ataque por parte de animais (aves, roedores, insetos, aracnídeos) aos entramados e à terra. Além disto, alguns tipos de animais ali alojados podem transmitir doenças aos habitantes da casa;
- Recalque de fundação;
- Outros agentes naturais (terremotos, maremotos);
- Falta de manutenção;
- Intervenções incorretas (uso de ferro, concreto, cimento).

Bibliografia

- BARDOU, Patrick, ARZOUMANIAN, Varoujan. *Arquitecturas de adobe*. 3ed. México: G.Gili, 1986. 165p. (Col. Tecnologia y Arquitectura).
- CEPED. *Manual da construção com solo-cimento*. Salvador: Arco-Íris, s.d. 132p., il.
- CLIFTON, James R.. Adobe building materials: properties, problems and preservation. *Technology & Conservation*, v.1, n.77, p.30-34, Spring, 1977.
- CLIFTON, James R., BROWN, Paul-Wencil. Adobe I: the properties of adobe. *Studies in Conservation*, n.23, p.139-146, 1978.
- DAVEY, Norman. *A history of building materials*. London: Phoenix House, 1961. 260p., il.
- DETHIER, Jean. *Arquitecturas de terra, ou o futuro de uma tradição milenar*. 10ed. Lisboa: Litografia Tejo, 1993. 224p., il.
- DOAT, Patrice et al. *Construire en terre*. Paris: Alternatives, 1985. 287p. il.
- HOUBEN, Hugo, GUILLAUD, Hubert. *Traité de construction en terre*. Marseille: Parenthèses, 1989. 355p., il.
- LESEIGNEUR, Annie, GUILLUY, Françoise. *L'argile dans tous ses états*. France: Association pour la Valorisation du Patrimoine Normand, s.d. 246p. il.
- MEUNIER, Christine. *Construire en terre-cruie hier et aujourd'hui en Dauphiné, en France, dans le monde*. France: s.e., s.d. 34p., il. com 24 diapositivos.

- MUNSELL Soil Color Charts. Maryland (USA): Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation. 1988.
- OLIVIER, Myriam, MESBAH, Ali. Relations entre fabrication et comportement de la terre compressée. In: 1^{er} SÉMINAIRE INGÉNIERIE TERRE. Marrakech (Maroc), Mai-Juin 1990. p.1-14, il.
- PNUD/UNESCO/ICCROM. *El adobe*. Simposio Internacional y Curso-taller sobre Conservación del Adobe. Lima – Cusco. 10-22/9/83. *Informe final y ponencias principales...* 153p, il.
- SEMINÁRIO USO DE LA tierra y materiales alternativos en la construcción. *Anais...* Asunción: Centro de Publicaciones Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”, 1992. 372p, il.
- 7^a CONFERÊNCIA internacional sobre a conservação de arquitectura de terra – Terra 93. Silves (Portugal), 24-29 de outubro, 1993. *Anais...* Portugal: DGEMN, 1993. il.
- 6th INTERNATIONAL CONFERENCE on the conservation of earthen architecture – Adobe 90. Las Cruces, New Mexico (USA), October 14-19, 1990. *Anais...* Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1990. 469p, il.
- VASCONCELLOS, Sylvio de. *Arquitetura no Brasil: Sistemas construtivos*. Belo Horizonte: UFMG, 1979. Série Patrimônio Cultural, n.º 2. 186p., il.
- VIÑUALES, Graciela Maria. Restauración de arquitectura de terra. Santa Maria de Tucumán: Fac. de Arquitectura y Urbanismo (Universidad Nacional de Tucumán), s.d., 66p., il.
- VITRUVIUS, Marco P. De architectura (Paris: Jean Baptiste Coignard, 1684). *Los diez libros de arquitectura*. Trad. Agustín Blánquez. Barcelona: Iberia, 1955.



