



RED IBEROAMERICANA PROTERRA
REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA

Célia M. Martins Neves
Obede Borges Faria
Rodolfo Rotondaro
Patricio Cevallos Salas
Márcio V. Hoffmann

SELEÇÃO DE SOLOS E MÉTODOS DE CONTROLE NA CONSTRUÇÃO COM TERRA PRÁTICAS DE CAMPO

JANEIRO 2010

Célia M. Martins Neves
Obede Borges Faria
Rodolfo Rotondaro
Patricio Cevallos Salas
Márcio V. Hoffmann

SELEÇÃO DE SOLOS E MÉTODOS DE CONTROLE NA CONSTRUÇÃO COM TERRA – PRÁTICAS DE CAMPO

Documento original publicado em português em maio de 2005, pelo Projeto de Investigação PROTERRA, do CYTED - Programa Ibero-americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento, no Subprograma XIV HABYTED - Vivendas de Interesse Social.

(Disponível também em espanhol, em <http://www.redproterra.org>)

Sugestão para citação deste documento:

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patricio S.; HOFFMANN, Márcio Vieira. (2009). **Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo**. Rede Ibero-americana PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em *dia/mês/ano*.

janeiro/2010



terra

BR

LA

PROTERRA foi criado em outubro de 2001 como um Projeto de Investigação do CYTED – Programa de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento. Em fevereiro de 2006, se conclui o projeto de investigação e se inicia a Rede Ibero-americana PROTERRA, uma coletividade de cooperação técnica que promove a arquitetura e construção com terra em Ibero-américa, através de atividades de capacitação e transferência de tecnologia, entre outras ações, e a geração de diversas publicações.

Coordenação PROTERRA 2001 – 2008: M. Sc. Eng. Célia Maria Martins Neves
(CEPED – Brasil)

Coordenação PROTERRA 2008 – 2011: Dr. Arq. Luis Fernando Guerrero Baca
(UAM-Xochimilco – México)

Conselho Consultivo: M. Sc. Eng. Célia Maria Martins Neves (Rede TerraBrasil – Brasil)
(2009 – 2012) Dr. Eng. Julio Vargas Newman (PUCP – Peru)
Arq. Lucía J. E. C. Garzón (TECNOTERRA – Colômbia)
M. Sc. Arq. Mariana Correia (ESG – Portugal)
Arq. Rodolfo Rotondaro (FADU/UBA – Argentina)

Conselho Científico: **Membros de PROTERRA**
(2009 – 2012) Dr. Eng. Marcial Blondet (Escuela de Posgrado, PUCP – Peru)
Dr. Eng. Obede Borges Faria (FEB/UNESP – Brasil)
Prof. Arq. Rafael Mellace (FAU/UNT – Argentina)

Instituições Amigas de PROTERRA
Prof. Arq. Hubert Guillaud (CRATerre/EAG – Francia)
M. Sc. Jeanne-Marie Teutónico (Instituto Getty – USA)
Dr. Arq. Silvio Ríos (Universidad Nacional de Asunción – Paraguai)

Especialistas externos
Eng. Mónica Bahamondez (ICOMOS/ISCEAH – Chile)
Rest. Carolina Castellanos (Consultora UNESCO – México)
Dra. Nuria Sanz (Oficina de Patrimônio Mundial - Espanha)

SUMÁRIO

Resumen	5
Resumo	5
DO SOLO À TERRA	6
Composição granulométrica	6
Plasticidade	8
Retração	10
Umidade e compactação	11
SELEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA TERRA	11
DO LABORATÓRIO AO CAMPO	15
Amostragem	15
Identificação da amostra de terra	15
Testes Tátil-Visuais	15
Reconhecimento dos diferentes tipos de terra	17
Teste da queda da bola	17
Teste do vidro	18
Teste do cordão	20
Teste da fita	21
Teste de exsudação	22
Teste da resistência seca	23
Identificação de técnicas construtivas em função dos resultados dos testes	24
Teste do rolo (verificação da terra adequada para a taipa)	26
Teste da caixa	26
ALGUNS MÉTODOS DE CONTROLE RECOMENDADOS NA CONSTRUÇÃO COM TERRA	27
Dosagem	28
Homogeneização	28
Umidade	28
Compactação	29
Manutenção	30
COMENTÁRIOS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
NOTAS DOS AUTORES	32
ANEXO – Exemplo de planilha para registro e avaliação dos testes	33

SELEÇÃO DE SOLOS E MÉTODOS DE CONTROLE NA CONSTRUÇÃO COM TERRA – PRÁTICAS DE CAMPO

Célia M. Martins Neves¹
Obede Borges Faria²
Rodolfo Rotondaro³
Patricio Cevallos Salas⁴
Márcio V. Hoffmann⁵

RESUMEN

Este trabajo presenta las propiedades más importantes de los suelos para su empleo en la arquitectura y construcción con tierra, y los respectivos métodos de ensayo utilizados para su determinación en laboratorio. Relaciona los diferentes tipos de suelo con las posibilidades de su empleo y comenta sobre la adición de agentes estabilizadores, tanto de productos naturales como industrializados, para mejorar las propiedades físicas y mecánicas. Menciona los criterios adoptados para la selección de los mejores suelos, el tipo de aglomerante y las técnicas de construcción. Describe, sucintamente, los testes expeditos más usuales para la selección de suelos y relaciona los resultados obtenidos por los testes con las técnicas constructivas más apropiadas. Comenta también sobre los métodos adoptados para el control durante la ejecución de obra. Resalta las condiciones en que se debe optar por ensayos de laboratorio o testes de campo. Concluye confirmando la validez de los testes expeditos para la selección de suelos y el control de ejecución de la construcción con tierra.

RESUMO

Este trabalho apresenta as propriedades mais importantes do solo para seu uso na arquitetura e construção com terra e os respectivos métodos de ensaios utilizados para sua determinação em laboratório. Relaciona os diferentes tipos de solo com as possibilidades de seu uso e comenta sobre a adição de agentes estabilizadores, tanto produtos naturais como industrializados, para a melhoria de propriedades físicas e mecânicas. Cita os critérios adotados para a seleção dos melhores solos, o tipo de aglomerante e as técnicas de construção. Descreve, sucintamente, os testes expeditos mais usuais para a seleção de solos e relaciona os resultados obtidos nos testes com as técnicas construtivas mais apropriadas. Comenta também sobre métodos adotados para o controle durante a execução. Ressalta as condições em que se deve optar por ensaios de laboratório ou testes de campo. Conclui confirmando a validade de testes expeditos para a seleção de solos e o controle de execução da construção com terra.

¹ Eng. Civil, Mestre em Engenharia Ambiental Urbana, ex-coordenadora do Projeto de Investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED e da Rede Ibero-americana PROTERRA, coordenadora da Rede TerraBrasil, ex-pesquisadora do CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, Universidade do Estado da Bahia; Alameda Praia de São Vicente, 40 Vilas do Atlântico 42700-000 Lauro de Freitas-BA – Brasil
Tel: (55 71) 3379 3506 Fax: (55 71) 3336 0268 cneves@superig.com.br

² Eng. Civil; Mestre em Arquitetura, Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental, membro do Projeto de Investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED e da Rede Ibero-americana PROTERRA, professor da Fac. de Engenharia de Bauru/UNESP; Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01; 17033-360 Bauru-SP – Brasil
Tel: (55 14) 9792 5525 obede@feb.unesp.br; obede.faria@gmail.com

³ Arquiteto, membro do Projeto de Investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED e da Rede Ibero-americana PROTERRA, pesquisador e consultor em tecnologia e arquitetura de terra, professor da Fac. de Arquitectura/UBA; Pabellón III, 4to piso, Ciudad Universitaria C1428EHA, Buenos Aires, Argentina
Tel.: (54 11) 45740398 rotondar@telecentro.com.ar

⁴ Eng. Civil, membro do Projeto de Investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED e da Rede Ibero-americana PROTERRA, consultor em tecnologias alternativas INGENIERIA ALTERNATIVA; Av. 6 de Diciembre 2130 y Av. Colón, Edificio Antares, Oficina 604, Casilla Postal 17-15-442C, Quito – Ecuador
Tel/fax: (593 2) 2 502 268 p.cevallos@yahoo.es

⁵ Arquiteto, Mestre em Preservação e Restauração de Patrimônios Históricos, membro do Projeto de investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED, da Rede Ibero-americana PROTERRA e da Rede TerraBrasil, associado do escritório FATO Arquitetura; Rua 13 de Maio, 1816, 13 419-270, Piracicaba, SP – Brasil.
www.fatoarquitetura.com.br Tel: (55 19) 3433 1573 ou 3402 4902 marcio@fatoarquitetura.com.br

DO SOLO À TERRA

No âmbito da engenharia, solo é o termo genérico aplicado a todo material da crosta terrestre, proveniente da decomposição de rochas, constituído por elementos minerais e/ou orgânicos, que dependem da composição química e mineral da rocha de origem, das características do relevo, dos diferentes climas e do tempo de exposição às intempéries. A classificação dos solos, através de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas, é tratada de acordo com os fundamentos da Ciência dos Materiais, tanto no campo da Geologia, da Mecânica dos Solos e Fundações, da Agronomia, como de Estradas.

Conforme a área que o estuda, o solo recebe designações diversas e pode ser denominado como:

- Classificação genética: solo pedogenético, solo saprolítico, solo transportado;
- Classificação granulométrica: arenoso, argiloso, silto;
- Classificação pedológica: horizontes – superficial, subsolo e rocha mãe.

Na Arquitetura e Construção com Terra – denominação dada a toda a produção arquitetônica que emprega o solo como a principal matéria-prima – ele recebe denominações diversas, tais como terra crua, terra sem cozer, terra para construir, porém, o usual e adotado neste trabalho, é o termo **terra**⁶. O termo solo é usado principalmente quando envolve classificações e caracterizações, que também são adotadas em outros campos da Engenharia, assim como os termos solo-cimento, solo-cal e solo estabilizado, entre outros.

Os solos apropriados para a construção geralmente estão situados no sub-solo, também chamado de *horizonte B*, livres de matéria orgânica. Nas zonas semi-áridas e áridas, é possível encontrar solos adequados na superfície, depois de eliminar pedras, raízes e todo material orgânico presente.

As propriedades mais importantes dos solos, visando seu uso na construção, são:

- Na seleção: composição granulométrica, plasticidade e retração;
- No controle da execução: umidade e grau de compactação.

Composição Granulométrica

O solo é constituído basicamente por partículas que podem ser agrupadas de acordo com as dimensões dos grãos. Cada grupo, ou faixa de dimensões, apresenta características próprias, que indicam seu comportamento como material de construção.

As partículas contidas em determinada faixa são classificadas como pedregulho, areia, silte e argila, sendo que a areia também pode ser subdividida e qualificada como grossa, média e fina.

Em geral, a composição granulométrica do solo é representada através do diagrama denominado curva de distribuição granulométrica (conforme exemplo mostrado na figura 1), que mostra a relação entre a quantidade e dimensão das partículas presentes. Ela é determinada através de dois ensaios: para as partículas maiores – pedregulho e areia – se utiliza o processo de peneiramento (figura 2) e, para as partículas mais finas – silte e argila – a análise é feita por sedimentação (figura 3). No *ensaio de peneiramento*, se determina a quantidade porcentual das partículas que passam ou que são retidas em peneiras de aberturas normalizadas; no *ensaio de sedimentação*, se mede a velocidade de decantação

⁶ corresponde ao solo apropriado para construção

das partículas de solo dispersas em água, em função da variação da densidade da solução, calculando-se suas proporções na amostra.

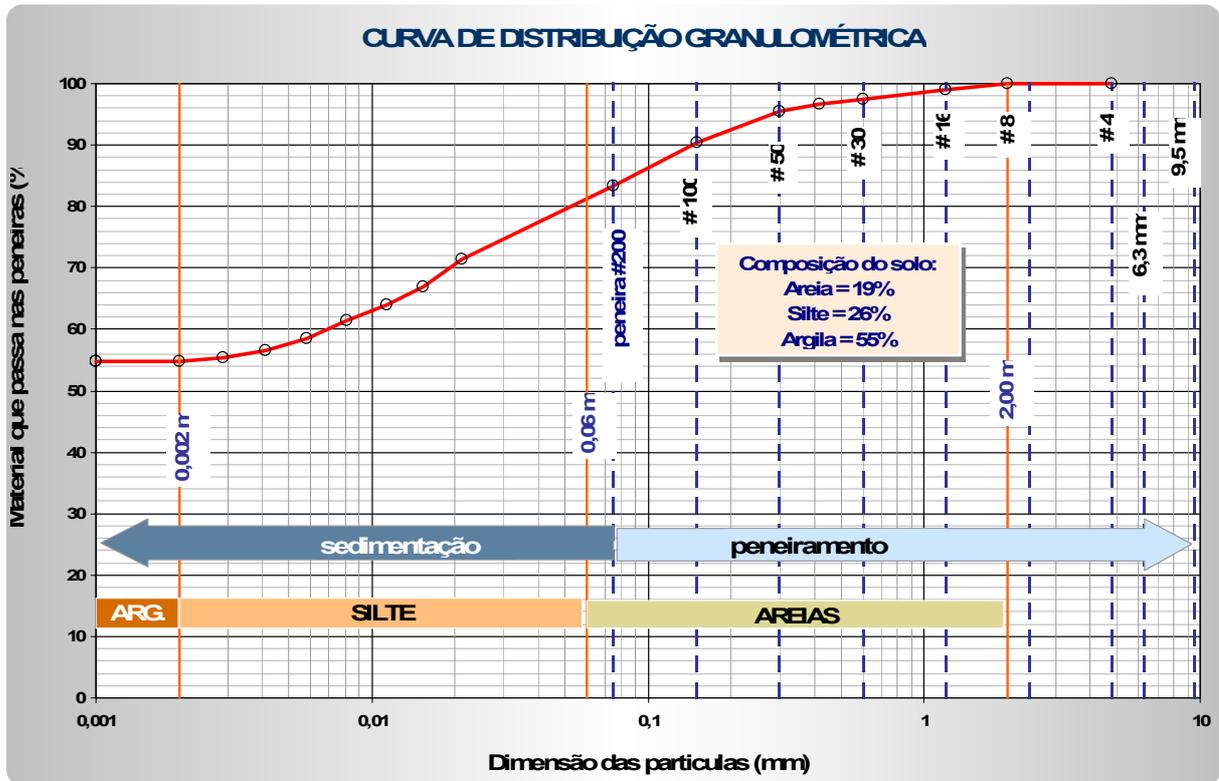


Figura 1 – Exemplo de curva de distribuição granulométrica, com indicação das frações que compõem o solo, além das faixas para ensaio de peneiramento e de sedimentação (adaptado de FARIA, 2002)



Figura 2 – Ensaio de peneiramento: série de peneiras normal e equipamento elétrico para peneiramento

Obede B. Faria



Figura 3 – Ensaio de sedimentação: aparelho dispersor; transferência do solo disperso para a proveta de 1 litro; e, homogeneização da temperatura do densímetro

Os limites das faixas de dimensões das partículas são definidos em normas técnicas e apresentam pequenas variações entre os diversos países. Como exemplo, a tabela 1 apresenta o sistema de classificação granulométrica adotado no Brasil, estabelecido na norma NBR 6502 (ABNT, 1995), e as principais características de cada grupo.

Tabela 1 – Classificação granulométrica dos constituintes do solo (ABNT, 1995)

Dimensão dos grãos d (mm)	Classificação das partículas	Características principais
$2 \leq d \leq 20$	pedregulho	Elemento inerte e resistente
$0,06 \leq d < 2$	areia	Elemento inerte, sem coesão
$0,002 \leq d < 0,06$	silte	Sem coesão, diminui a resistência da areia
$d < 0,002$	argila	Possui forte coesão, sem estabilidade volumétrica, expande na presença de água; apresenta propriedades físicas e químicas bastante variadas segundo sua origem

Plasticidade

Segundo seu grau de umidade, o solo pode ser *líquido*, *plástico* ou *sólido*. O aspecto e a consistência dos solos e, em particular das argilas presentes, variam de maneira muito nítida conforme a quantidade de água que contém. Atterberg (apud Caputo, 1978) desenvolveu ensaios que consistem em medir o grau de umidade do solo nos diversos estados de consistência (figura 4).

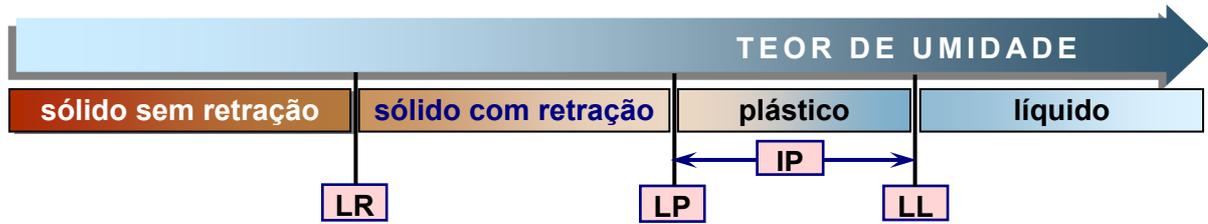
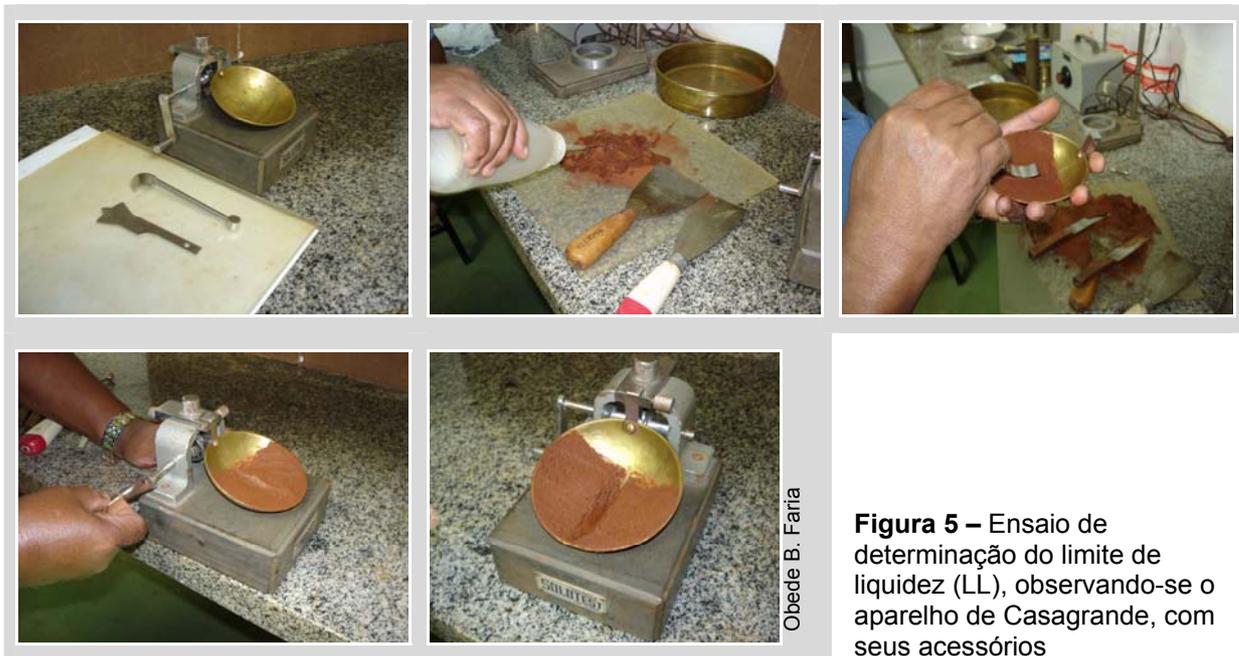


Figura 4 – Estado do solo, em função de seu teor de umidade

A plasticidade do solo e os limites de consistência são determinados através de dois ensaios: *limite de liquidez* e *limite de plasticidade*. Os ensaios de plasticidade são realizados somente com a parte fina do solo, representada pelo material que passa na peneira de abertura 0,42 mm.

O *limite de liquidez* (LL) é o grau de umidade determinado pelo *aparelho de Casagrande*. Ele é constituído por uma concha metálica unida a uma manivela, que a move, fazendo-a cair sobre uma base sólida, um certo número de vezes, até o fechamento de 1 cm da ranhura padrão, feita previamente no solo colocado na concha. O limite de liquidez corresponde ao teor de umidade em que a ranhura se fecha com 25 golpes (figura 5).

O *limite de plasticidade* (LP) é o grau de umidade necessário e suficiente para deslizar uma porção de solo umedecido sobre uma placa de vidro, até formar um pequeno cordão com 3 mm de diâmetro e 12 a 15 cm de comprimento (figura 6). A diferença entre os limites de liquidez e de plasticidade determina o *índice de plasticidade* ($IP = LL - LP$).



Obede B. Faria

Figura 5 – Ensaio de determinação do limite de liquidez (LL), observando-se o aparelho de Casagrande, com seus acessórios

Figura 6 – Ensaio de determinação do limite de plasticidade (LP)



Os limites de liquidez e de plasticidade dependem, geralmente, da quantidade e do tipo de argila presente no solo. O índice de plasticidade, entretanto, é unicamente dependente da quantidade de argila. Na prática, se pode caracterizar o solo por seu índice de plasticidade e seu limite de liquidez, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 – Classificação dos solos, em função dos índices de plasticidade (CRATerre, 1979)

Tipo de solo	IP (%)	LL (%)
Arenoso	0 a 10	0 a 30
Siltoso	5 a 25	20 a 50
Argiloso	> 20	> 40

Retração

A quantidade e o tipo de argila presente no solo, representados essencialmente pelos minerais argilosos, são responsáveis pelos movimentos de retração e expansão, que se observam quando há variação de umidade. Nas paredes de terra, os movimentos de retração e expansão da argila provocam fissuras, que podem gerar lesões internas e/ou superficiais, permitindo a penetração de água e a ocorrência de manifestações patológicas que, conseqüentemente, contribuem para a perda de resistência do material e a degradação da parede.

O *limite de retração* (LR) marca a mudança do estado sólido com retração para o estado sólido sem retração, e é determinado pelo grau de umidade a partir do qual o volume do solo permanece constante, quando se processa a evaporação da água. A evaporação da água abaixo do limite de retração mantém o volume de solo, porém a retração sucede com o surgimento de fissuras (figura 7).

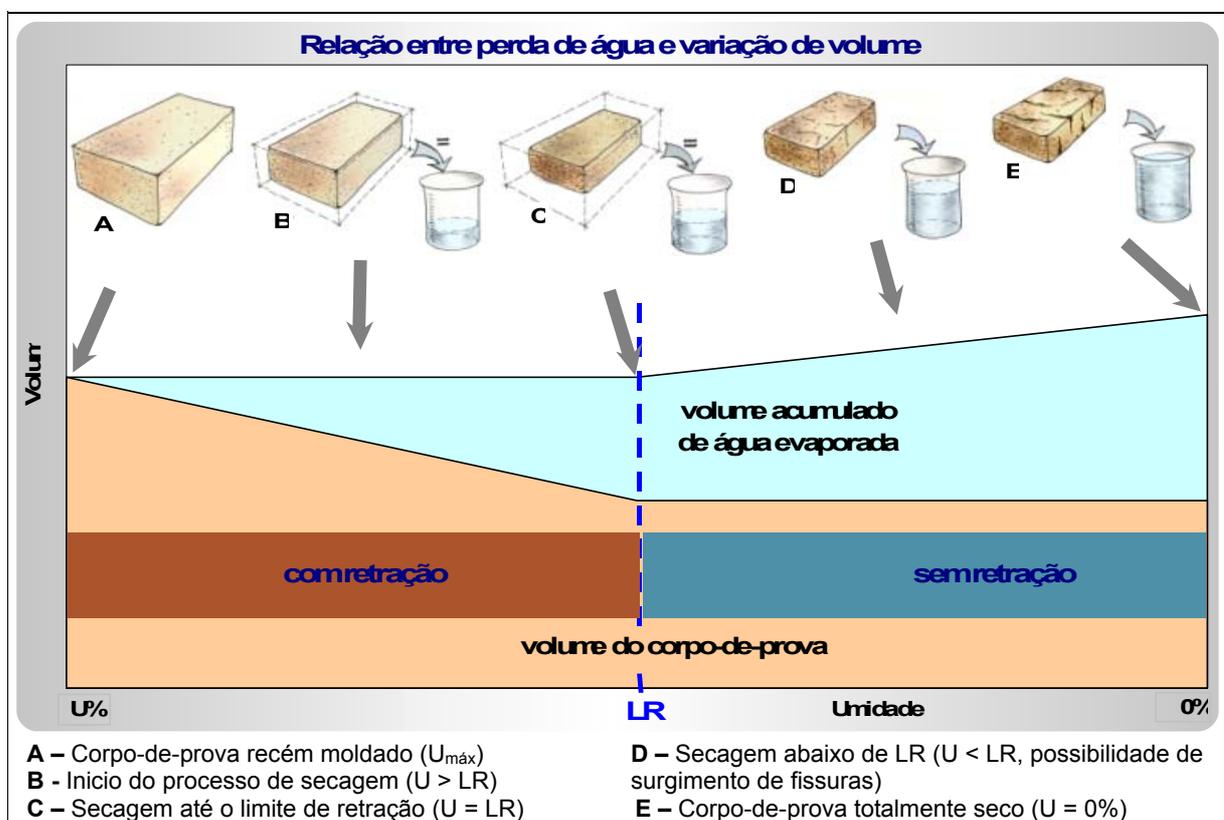


Figura 7 – Diagrama representativo da relação entre o limite de retração (LR) e as variações de volume, da terra e da água evaporada, durante o processo de secagem

Uma forma muito interessante para determinar a retração do solo é através do "teste da caixa", o qual será comentado posteriormente.

Umidade e compactação

A resistência do solo está diretamente relacionada com seu grau de compactação quando é apilado por um determinado esforço. Para cada tipo de solo e para cada esforço de compactação existe uma determinada umidade, denominada *umidade ótima de compactação*, na qual ocorrem as condições em que se pode obter a melhor compactação, ou seja, a maior massa específica seca. Nesta condição, o solo também apresenta menor porosidade, caracterizando assim um matéria mais durável e mais resistente mecanicamente.

A *umidade ótima de compactação* é determinada em laboratório, através da medida da massa específica aparente do solo, para diferentes umidades, quando ele é compactado em um determinado molde (*cilindro de Proctor*). As massas específicas são representadas em um gráfico, em função da umidade, e a máxima massa específica, obtida da curva, define a umidade ótima de compactação do solo, como mostrado na figura 8.

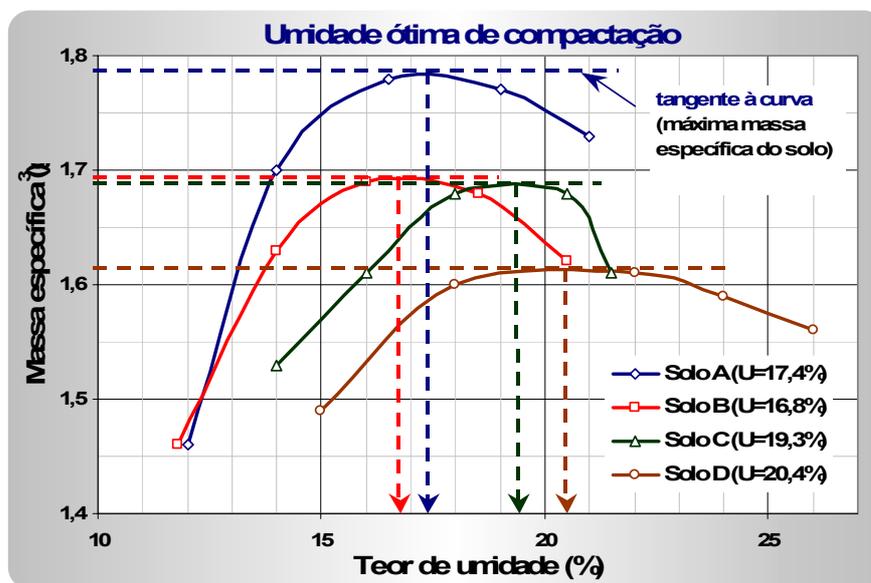


Figura 8 – Resultados de ensaios de compactação, para quatro diferentes tipos de solos

O grau de compactação corresponde à relação entre a massa específica de uma amostra retirada do trabalho executado no campo e a máxima massa específica determinada em laboratório.

Para algumas técnicas construtivas – por exemplo, para produção de adobes – a mistura de solo e água é usada em estado de consistência plástica, com teores de umidade superiores à umidade ótima de compactação, não exigindo energia para sua moldagem. Depois de secar, o solo alcança uma massa específica de valor diferente (abaixo) da máxima massa específica obtida por compactação.

SELEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA TERRA

A terra como material de construção é utilizada, basicamente, de dois modos: embebida em água, constituindo uma massa plástica, o **barro**; ou uma mistura úmida (quase seca), compactada ou prensada, denominada **terra comprimida**.

No primeiro caso, o produto resultante possui uma porosidade elevada, devido à evaporação da água adicionada na preparação do barro. Apresenta propriedades mecânicas e de impermeabilidade diferentes e menores que as do material obtido no segundo procedimento.

Qualquer solo, exceto os altamente orgânicos ou com presença predominante de argilas expansivas, caso da montmorilonita, pode ser utilizado como material de construção. Todavia, existem limitações ao uso de determinados solos por razões da capacidade de trabalho e outras características não desejáveis ao uso proposto: terras muito argilosas, por exemplo, são difíceis de serem misturadas e compactadas, devido à retração elevada, produzem superfícies mal acabadas.

É habitual que sejam priorizados o emprego da terra do próprio local onde se fará a construção e a utilização de somente um tipo de terra. Porém, algumas vezes, a terra resultante de uma mescla de dois ou mais tipos de solo produz melhores resultados. Em geral, a mescla de diferentes tipos de solo ocorre quando a terra do local é muito argilosa, ou muito arenosa, e quando a incorporação de menor quantidade de outro solo melhora as propriedades que lhe fazem falta.

O reconhecimento preciso de solos adequados à construção se faz através de diversos ensaios de laboratório. A grande vantagem destes ensaios é que são normalizados, obtendo-se resultados quantitativos de suas características, o que facilita a comparação com resultados de outras experiências e a identificação da “terra ideal” para sua reprodução.

Os critérios para seleção, em geral, consideram a granulometria, a plasticidade e, em alguns casos, a retração e compactação; levando-se em conta as relações existentes entre composição granulométrica/plasticidade/retração/compactação, é possível elaborar recomendações, com razoável nível de segurança, a partir de um só resultado.

Não existe um critério único adotado no meio técnico, que relacione as características da terra com as técnicas construtivas⁷ porque, em geral, os fatores de decisão estão mais relacionados com a cultura e tradição no processo de construção, do que com o tipo de solo disponível. A responsabilidade do construtor, então, é selecionar as terras mais adequadas, dentre aquelas disponíveis na região.

Alguns autores relacionam a composição granulométrica e as possibilidades de emprego da terra, indicando inclusive o sistema construtivo e a necessidade de adição de aglomerante. Easton (1996), por exemplo, agrupa os diversos tipos de solos em três categorias (solos silto-argilosos, solos pedregulhosos e solos arenosos), em que cada uma é subdividida em vários tipos de solos e, para cada um desses são apresentados os resultados de 5 testes básicos, mais um teste adicional (quando necessário), com comentários sobre sua adequação à construção de casas, o tipo de estabilizante recomendado e comentários especiais.

⁷ São diversas as técnicas construtivas com terra e, em cada região, elas têm uma denominação própria que, muitas vezes, confunde até os mais estudiosos. Como referencia, os autores adotam três sistemas que agrupam a maioria das técnicas construtivas: alvenaria, monolítico, e técnicas mistas. No sistema de alvenaria estão notadamente as técnicas de tijolos e blocos, compactados ou prensados, denominados BTC, e adobe; no monolítico se encontram as técnicas de terra compactada, geralmente em moldes, com as denominações mais conhecidas como taipa, tapial, taipa de pilão, e painéis de solo-cimento; em técnicas mistas se agrupam as técnicas construtivas que utilizam principalmente a madeira como estrutura portante e a terra como material de enchimento dos entramados, estes são geralmente de madeira, em forma de varas, varetas ou peças de pequena seção. Independente do processo de fabricação, as denominações tijolo e bloco são definidas em função das dimensões e área líquida dos componentes, em conformidade com as normas técnicas de cada país.

Em geral, as propriedades mecânicas e de permeabilidade da terra podem ser melhoradas significativamente pela adição de alguns produtos estabilizadores. Desse modo, a mescla de fragmentos de palha, ou outras fibras vegetais, reduz acentuadamente o efeito da retração na secagem do barro; a adição de azeites vegetais e emulsões asfálticas, tanto no barro como na terra comprimida, tem o efeito de diminuir significativamente a permeabilidade, melhorando as condições de durabilidade. A mescla de aglomerantes⁸ - cimento, cal ou outros produtos cimentantes – pode produzir aumentos consideráveis da resistência mecânica, principalmente da terra comprimida.

A expressão estabilização de solos se refere, em seu sentido mais amplo, a todo processo através do qual o solo melhora suas características, adquirindo assim as propriedades necessárias à finalidade a que se destina. A estabilização de solos para adequá-los ao uso que se pretende não é um procedimento recente. Como se sabe, a adição de asfalto natural ou palha na produção de adobes, para diminuir a permeabilidade ou reduzir a retração, é uma prática milenar. O apilado, por compactação ou prensado, a mistura com outros solos para melhorar suas características granulométricas (denominada estabilização granulométrica) e a adição de aglomerantes são tipos de estabilização de uso muito freqüente no campo da Engenharia.

Além da correção granulométrica já citada, Bardou e Arzoumanian (1979) classificam a estabilização do solo em quatro categorias, com as seguintes denominações e características:

- a) **Estabilização por cimentação:** consiste em adicionar ao solo uma substância capaz de solidificar os grãos de areia e as partículas argilosas, de forma a obter um esqueleto interno que faça oposição à capacidade de absorção de água pela argila. Os estabilizantes mais conhecidos são: o cimento Portland; a cal, virgem ou hidratada; a mistura de cal e cimento; ou também uma mistura de cal com cinzas (de coque, de hulha, etc).
- b) **Estabilização por armação:** consiste em agregar ao solo um material de coesão (grãos ou fibras), que permitam assegurar, por fricção com as partículas de argila, uma maior firmeza ao material. Segundo Bardou e Arzoumanian (1979), a resistência mecânica final do material é diminuída, mas se ganha em estabilidade e durabilidade. Não há determinação específica para os materiais a serem empregados, pois depende da disponibilidade e das adaptações locais. Podem ser citadas, principalmente, as fibras vegetais.
- c) **Estabilização por impermeabilização:** consiste em envolver as partículas de argila por uma camada impermeável, tornando-as estáveis e mais resistentes à ação da água. O material mais conhecido (desde os tempos bíblicos) para este fim é o asfalto (ou betume), utilizado em emulsão que, apesar da grande superfície específica da argila, requer uma quantidade muito pequena para obtenção de bons resultados. Um dos inconvenientes do uso deste material é a perda de plasticidade, apesar de ganho de coesão, o que requer a utilização de maior quantidade de água para amassamento e limita as técnicas construtivas a serem utilizadas. Podem ser utilizadas outras substâncias, tais como o azeite de côco, seivas de algumas plantas oleaginosas, o látex e os resíduos da prensagem do azeite de oliva.
- d) **Estabilização por tratamento químico:** consiste em agregar ao solo diversas substâncias capazes de formar compostos estáveis com os elementos da argila. Os produtos químicos variam de acordo com a composição química da própria argila. Portanto, nesse caso, é necessária uma análise química da mesma. A cal, além de agente cimentante, funciona como estabilizante químico, atuando com os minerais

⁸ Material geralmente pulverulento que, ao adicionar água, tem as propriedades de solidificar e endurecer

amorfos ou argilosos do solo, formando os compostos pozolânicos. Outras substâncias de baixo custo também podem ser usadas, por exemplo, a soda cáustica e a urina de gado.

Com relação à adição de estabilizantes, um dos critérios bastante usado é o que relaciona a plasticidade do solo com o tipo de aglomerante. Outro critério relaciona a plasticidade e a granulometria com o tipo de aglomerante (figura 9).

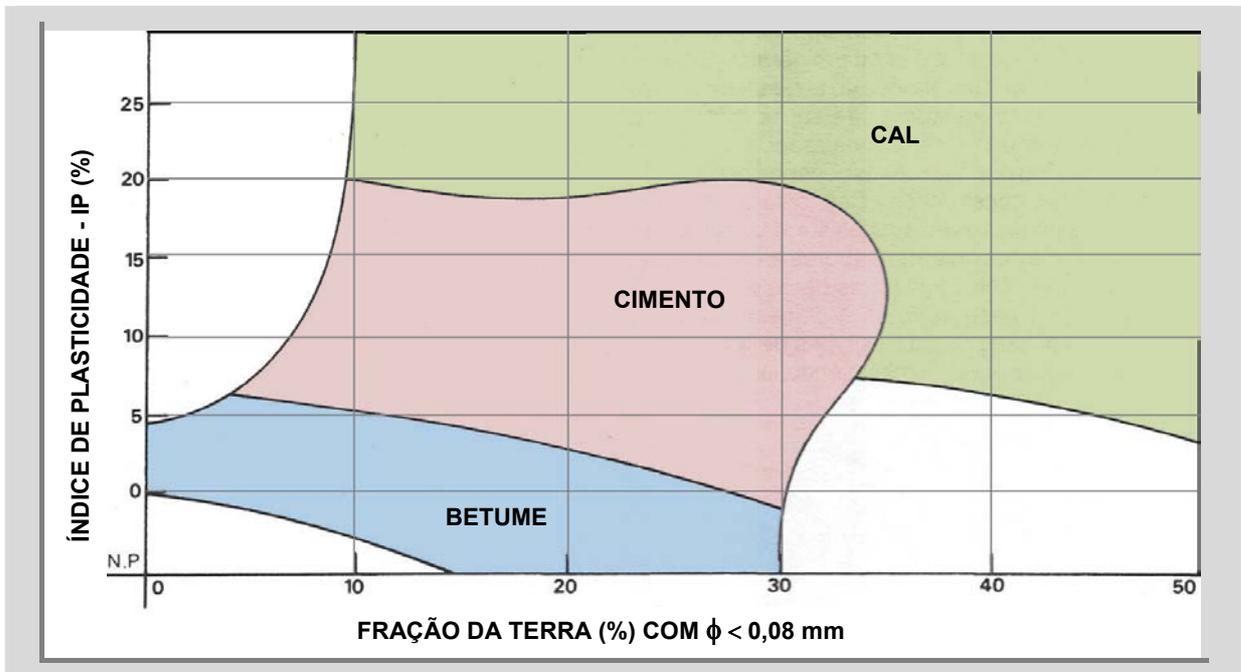


Figura 9 – Seleção do tipo de estabilizante, em função do Índice de Plasticidade (IP) e da granulometria da terra (adaptado de Houben & Guillaud, 1995)

Além do tipo de terra, se deve considerar que existe uma forte interação entre os aspectos sócio-culturais, de eficiência tecnológica (em que se avalia a arquitetura, custos e manutenção), do projeto arquitetônico e do impacto ambiental que definem, com prioridade, a tipologia do edifício, a técnica construtiva e o tipo de intervenção.

Independente da qualificação do solo, através de ensaios de laboratório, o conhecimento popular na arte de construir com terra pode indicar decisões, mesmo empíricas, tão eficientes quanto a qualificação resultante de ensaios normalizados, executados em laboratórios. Os testes de campo, que resultam de uma saudável combinação entre o saber popular e o conhecimento do meio técnico, são, muitas vezes, as únicas provas que se podem fazer para selecionar a terra e construir.

DO LABORATÓRIO AO CAMPO

Há diversas recomendações no que concerne aos procedimentos para seleção da terra no campo. Em geral, se provam diversas terras e, em função dos resultados e da técnica construtiva adequada, se seleciona, por comparação, a terra mais adequada.

Através do tato e observação visual, se faz a classificação inicial, a qual é melhorada através de outros testes expeditos, convenientemente denominados: testes do vidro, do cordão, da fita, de exsudação, da resistência seca, da caixa, entre outros. Estes testes, que indiretamente avaliam a granulometria, a capacidade de trabalho e a retração do solo, verificam a textura e o comportamento da terra em diversas situações e identificam as técnicas construtivas mais adequadas. (CEPED, 1984; CONESCAL 1982; CRATerre, 1979; França, 1975; Hernández e Márquez, 1983; Houben e Guillaud, 1984; Keable, 1996; Merrill, 1949; Minke, 2001; Rigassi, 1995).

Amostragem

Antes dos testes, se deve preparar a amostra da terra que se pretende analisar, de modo que ela seja representativa das características da terra que será usada na construção. Por isso, se coletam porções de terra de vários pontos do lugar aonde se pretende extrair a terra para a construção, totalizando aproximadamente 30 kg. Em seguida, misturam-se homogeneamente as porções e se prepara a amostra para o teste, da seguinte forma:

- Amontoar uma porção da terra coletada e homogeneizada, em forma de cone e, cuidadosamente, dividi-la em quatro porções iguais (por divisão do cone em quatro quadrantes);
- Juntar duas porções opostas em uma única amostra e descartar as outras duas;
- Repetir a operação até obter a quantidade necessária para o teste.

Identificação da amostra de terra

É importante fazer um esboço dos lugares de onde se obtiveram as amostras, registrar em uma planilha os resultados dos testes realizados e a avaliação dos resultados. Além disso, o registro deve informar a data, o local, a identificação da amostra de terra e os responsáveis pela amostragem, ensaios e avaliação. Em anexo, se apresenta um exemplo de planilha para registro e avaliação dos resultados dos testes.

Testes tátil-visuais

A aparência pode revelar alguns dados muito importantes sobre o tipo e as características da terra.

1 – Caracterização por tamanho das partículas

A terra pode ser preliminarmente classificada através do seguinte procedimento:

- Espargir a amostra de terra seca em uma fina camada sobre uma superfície plana;
- Com as mãos, separar as partículas visíveis a olho-nu.

As partículas visíveis a olho-nu correspondem à areia e pedregulho; o que resta, o material fino, corresponde ao silte e à argila (figura 10).

Então:

- Se a quantidade de silte e argila é maior que a de areia e pedregulho, a terra é classificada como siltosa ou argilosa;

- Caso contrário, a terra é arenosa.

No caso da terra arenosa, tomar um pequeno punhado da amostra inteira (não apenas a parte de areia e pedregulho), umedecer, sem colocar muita água, e apertar formando uma bola. Deixar secar ao sol. Se a bola desintegrar-se ao secar, a terra não é apropriada para construção, a menos que ela seja mesclada com outros materiais.



Figura 10 – Aspectos das partículas que compõem a terra. Depois da separação por peneiramento, observam-se as frações retidas em cada uma das peneiras da série normal

2 – Caracterização por cor

Outra característica da terra pode ser revelada em função de sua coloração:

- As cores claras e brilhantes são características de solos inorgânicos;
- As cores café escuro, verde oliva o negro são características de solos orgânicos.

3 – Caracterização por brilho

A presença de argila pode ser avaliada através do brilho, ainda que a areia com quartzo, ou com determinado grau de mica, também apresente aparência brilhante. Então:

- Tomar um pouco de material bem fino e amassar com água até formar uma bola compacta, do tamanho da mão;
- Cortar ao meio e observar as superfícies.

Se:

- As superfícies são brilhantes ou há muito brilho, a terra é argilosa;
- As superfícies apresentam pouco brilho, a terra é siltosa;
- As superfícies são opacas, a terra é arenosa.

4 - Tato

Ao esfregar entre os dedos uma porção de terra seca, se pode identificar os tipos de partículas presentes por sua textura, da seguinte forma:

- A areia raspa (é áspera);
- O silte cobre os dedos com partículas suaves, como se fosse um talco.

Para verificar a presença de argila, umedecer uma porção da terra e moldar uma bola – quanto mais argila presente, mais fácil será formar a bola.

Reconhecimento dos diferentes tipos de terra

A tabela 3 indica genericamente aspectos tátil e visual e as características de cada uma.

Tabela 3 – Identificação da terra, por inspeção tátil-visual

Classificação	Textura e aparência do solo
Areia	Textura granular. Pode-se visualizar o tamanho dos grãos. Flui livremente, se está seca.
Terra arenosa	Textura granular porém com suficiente silte e argila para observar sua coesão. Predominam as características da areia.
Terra siltosa	Textura fina. Contém uma quantidade moderada de areia fina e uma pequena quantidade de argila. Suja os dedos como talco. No estado seco tem uma aparência compacta. Pulveriza com facilidade.
Terra argilosa	Textura fina. Quando está seca, se fratura em pedaços resistentes; em estado úmido, é plástico e se agarra aos dedos. É difícil de pulverizar.
Terra orgânica	Textura esponjosa. Odor característico de matéria orgânica que é mais acentuado ao umedecer ou aquecer.

As denominações areia silto-argilosa, argila silto-arenosa, silte areno-argiloso, etc. são em consequência da quantidade de cada componente na terra, cuja primeira designação corresponde sempre ao componente de maior grau (ou impacto).

Teste da queda da bola

Este teste (figura 11) indica o tipo da terra em função de sua propriedade de coesão e consiste em:

- Tomar uma porção da terra seca;
- Juntar água e fazer uma bola com diâmetro aproximado de 3 cm;
- Deixar a bola cair, em queda livre, da altura aproximada de um metro.

Identificar o tipo de terra avaliando a forma de seu espalhamento:

- Terras arenosas se espalham desagregando-se;
- Terras argilosas se espalham menos e com maior coesão.



Carlos Alberto Moschini

Figura 11 – Teste da queda da bola: aspectos do espalhamento, em função do tipo de terra (argilosa, à esquerda e arenosa à direita)

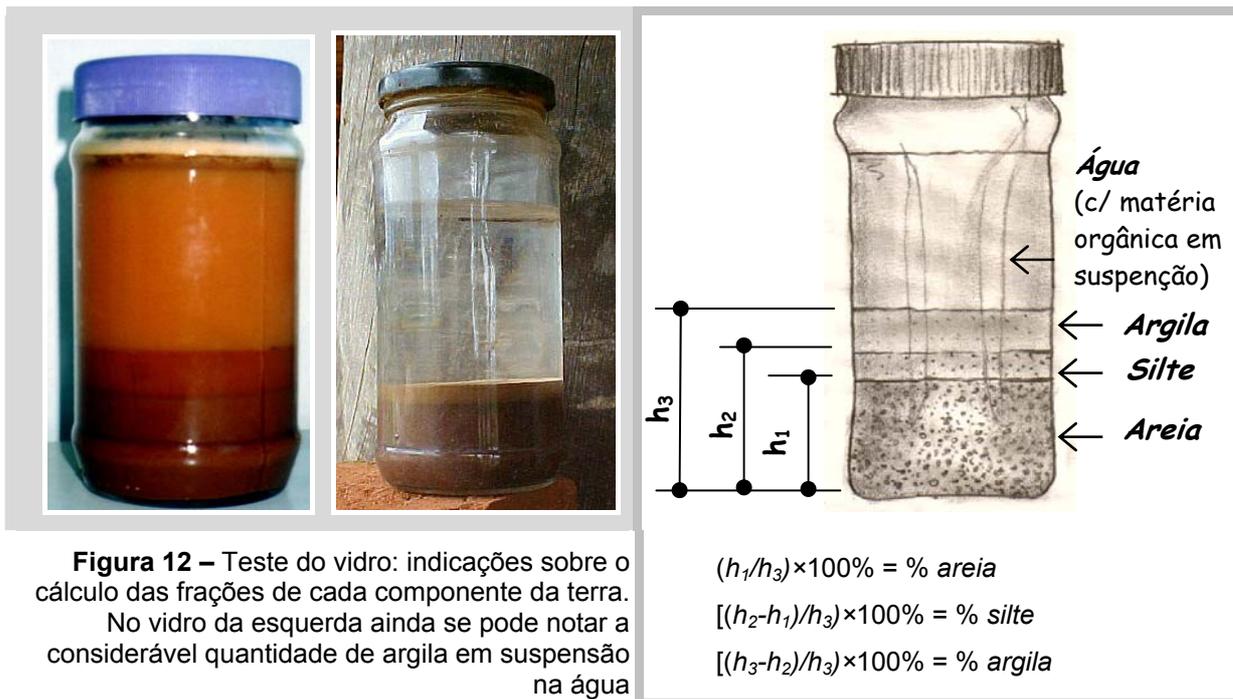
Teste do vidro

Este teste é fundamentado na sedimentação diferenciada dos constituintes da terra (figura 12) e consiste em:

- Colocar uma porção de terra, seca e destorroada, em um vidro cilíndrico, liso e transparente, até cerca de 1/3 de sua altura;
- Adicionar água até 2/3 da altura do vidro, acrescentando uma pitada de sal (o sal ajuda a desunir – ou separar – as partículas de argila, porém, si é utilizado em demasia, pode atuar de forma contrária);
- Tapar o vidro e agitar vigorosamente a mistura, para que haja a dispersão do solo na água;
- Deixar em repouso por 1 hora e, em seguida, promover nova agitação;
- Colocar o vidro em repouso, sobre uma superfície horizontal;

Cada um dos componentes da terra decanta em tempos diferentes, formando distintas camadas, que podem ser visualizadas. O pedregulho e a areia decantam primeiro, por serem as partículas mais pesadas, seguidos pelo silte e, por último, pela argila. Se o solo contém matéria orgânica, esta flutuará na superfície da água.

- Quando a água estiver limpa, medir a altura das distintas camadas.



Com os resultados obtidos, pode-se confirmar a classificação realizada por meio dos testes tátil e visual e identificar a técnica mais adequada para a terra analisada, com auxílio dos quadros apresentados nas figuras 13 e 14.

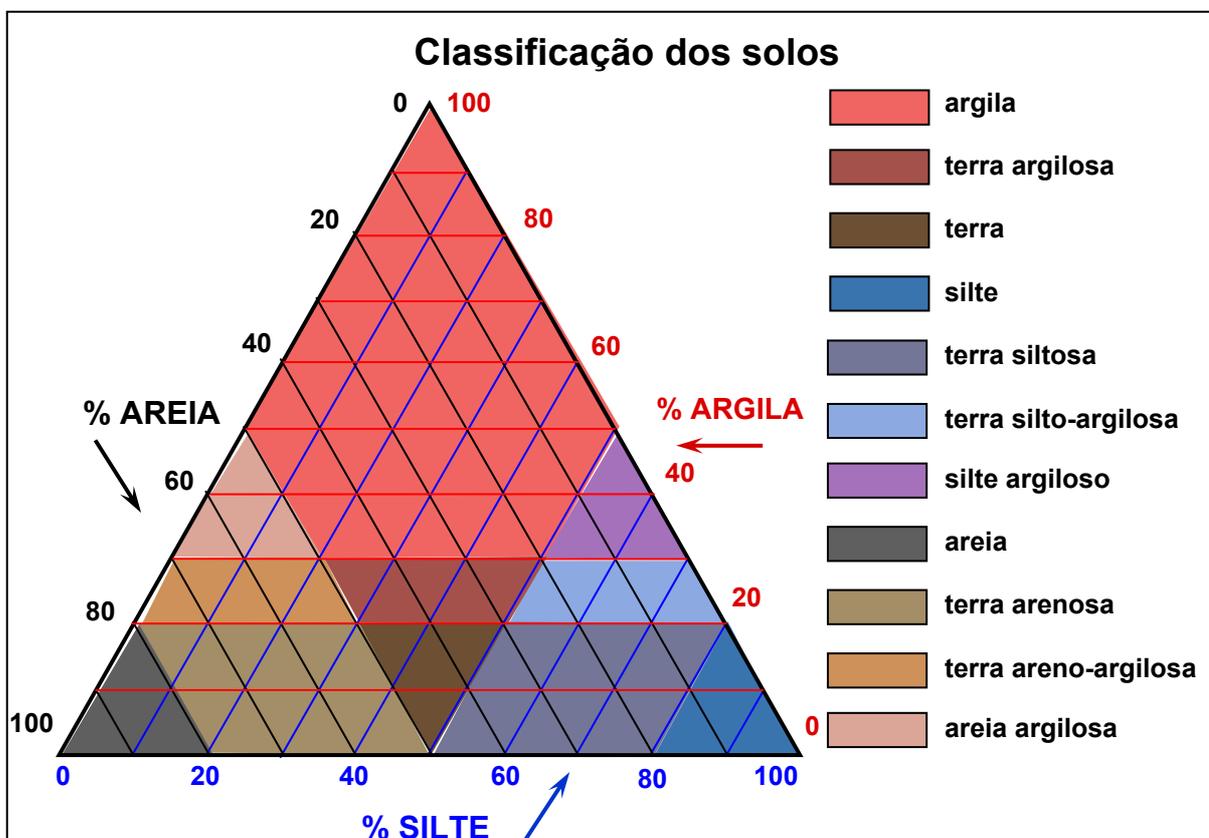


Figura 13 – Diagrama de classificação dos solos, pelo teste do vidro (adaptado de Aid at al (s/d) e Moran, 1984)

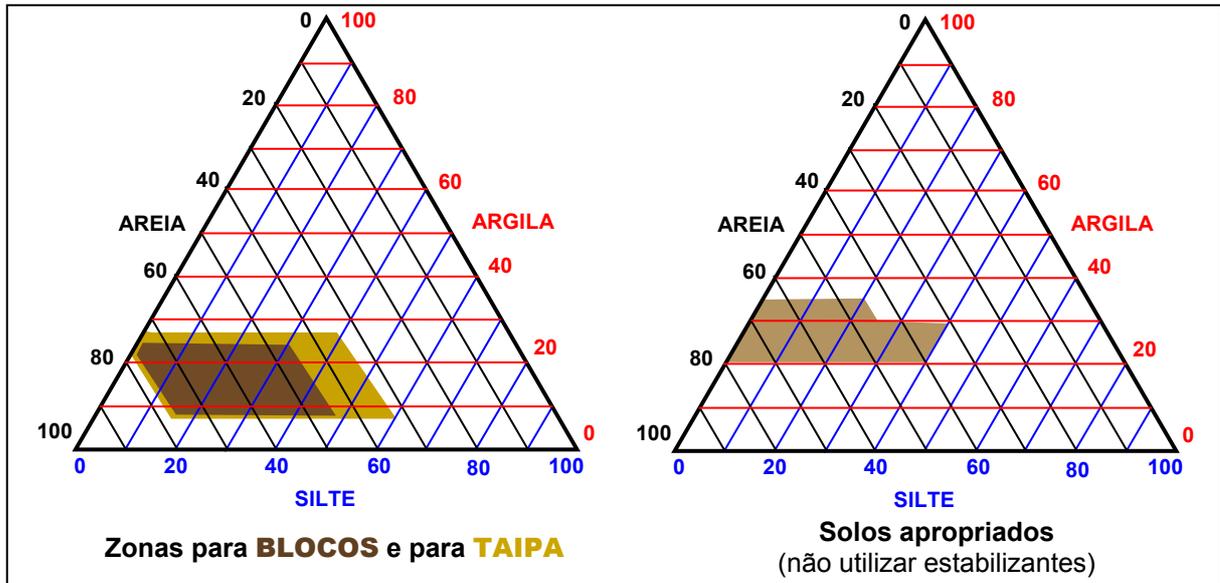


Figura 14 – Diagramas indicativos de uso da terra, pelo teste do vidro (adaptado de Aidat al (s/d) e Moran, 1984)

Teste do cordão

Este teste avalia a coesão e plasticidade da terra em um determinado estado de umidade e a relaciona com o tipo mais provável de terra (figura 15). Ele consiste em:

- Tomar uma porção da terra seca e adicionar água até que, rolando sobre uma superfície lisa e plana, seja possível formar um cordão que se rompa com 3 mm de diâmetro;
- Formar uma bola com a terra nessa umidade e verificar a força necessária para esmagá-la entre o polegar e o indicador;

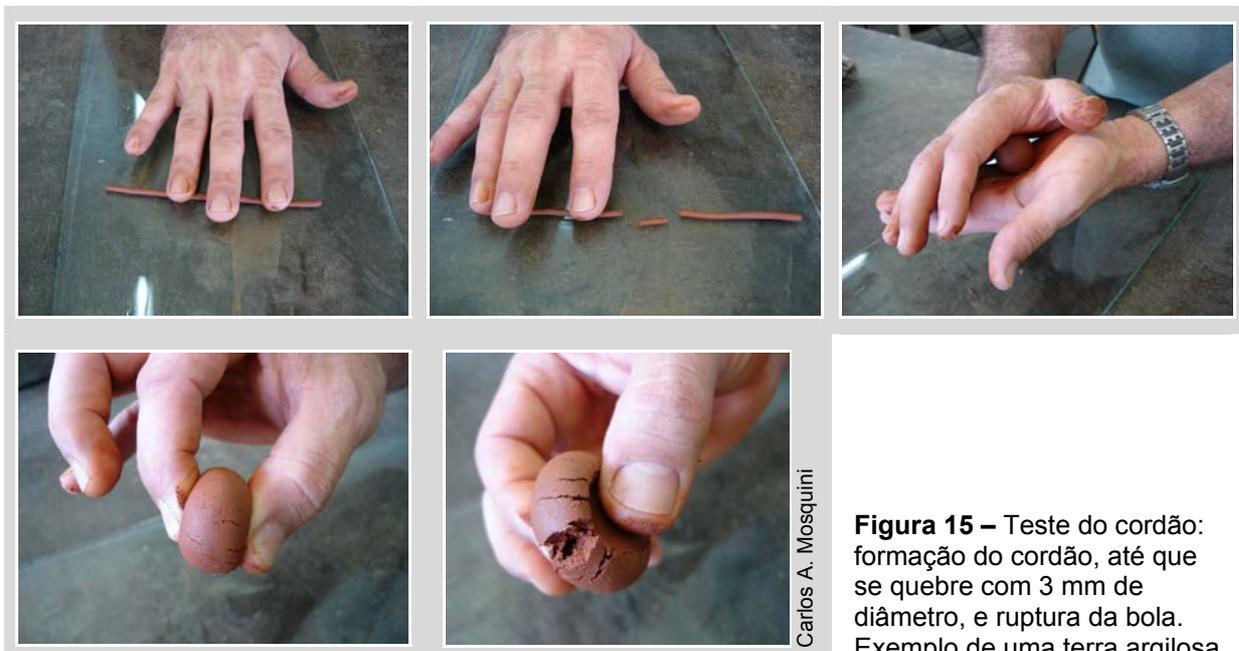


Figura 15 – Teste do cordão: formação do cordão, até que se quebre com 3 mm de diâmetro, e ruptura da bola. Exemplo de uma terra argilosa

A avaliação é feita de acordo com as indicações contidas na tabela 4.

Tabela 4 – Avaliação dos resultados do teste do cordão

Tipo de cordão	Ruptura da bola	Classificação e interpretação
Duro	Só se pode quebrar a bola com muito esforço ou não se quebra	Demasiada argila; terra de alta plasticidade
Suave	Pouco resistente. Fissura e esmigalha facilmente	Terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa; plasticidade mediana
Frágil	Frágil. Não se pode remodelar a bola, devido à sua fragilidade	Bastante silte ou areia e pouca argila; baixa plasticidade
Suave e esponjoso	Esponjosa e suave. Se é comprimida, volta a esponjar-se	Solo orgânico. Não é apto para qualquer tipo de construção.

Teste da fita

Este teste relaciona a plasticidade com o tipo de terra (figura 16), através dos seguintes procedimentos:

- Tomar uma porção da terra, com a mesma umidade do teste do cordão, fazer um cilindro do tamanho de um cigarro comum;
- Com o polegar e o indicador, amassar o cilindro de modo a formar uma fita, com 3 a 6 mm de espessura e o maior comprimento possível.



A avaliação se faz conforme as indicações contidas na tabela 5.

Tabela 5 – Avaliação do teste da fita.

Tipo de fita	Comportamento da fita	Classificação e interpretação
Longa	É possível formar uma fita de 25 a 30 cm, sem dificuldade	Muita argila, terra de alta plasticidade
Curta	É possível formar uma fita de 5 a 10 cm, com dificuldade	Terra argilo-siltosa, arenosa ou areno-argilosa; plasticidade mediana
	Não se faz a fita	Bastante silte ou areia e pouca argila; sem plasticidade

Teste de exsudação

Avalia a plasticidade da terra, em função de sua capacidade de reter água, da seguinte forma (figura 17):

- Tomar uma porção da terra bastante úmida e colocar na palma de uma das mãos;
- Golpear esta mão com a outra, de modo que a água saia para a superfície da amostra, dando-lhe um aspecto liso e brilhante.



Figura 17 – Teste de exsudação: diferença entre uma terra argilosa (à esquerda) e uma terra arenosa (à direita)

A avaliação é feita de acordo com as indicações contidas na tabela 6.

Tabela 6 – Avaliação do teste de exsudação

Tipo de reação	Número de golpes	Efeitos na amostra	Classificação e interpretação
Rápida	5 – 10	A água aflora à superfície da amostra; a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo	Pouca plasticidade. Areia fina inorgânica ou silte grosso inorgânico, terra arenosa ou siltosa
Lenta	20 – 30	A água aparece e desaparece lentamente; a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha	Silte ligeiramente plástico ou silte argiloso
Muito lenta	mais de 30	Não há mudança notável	Terra de alta plasticidade. Argila

Teste da resistência seca

Este teste pode auxiliar na identificação do tipo de terra, em função de sua resistência e, como mostrado na figura 18, consiste em:

- Moldar duas ou três pastilhas de terra bem úmida, com cerca de 0,5 a 1 cm de espessura e 2 a 3 cm de diâmetro;
- Deixar as pastilhas secarem ao sol, por dois ou mais dias;
- Tentar esmagar (ou romper) cada pastilha, pressionando entre o indicador e o polegar.

Carlos A. Mosquini

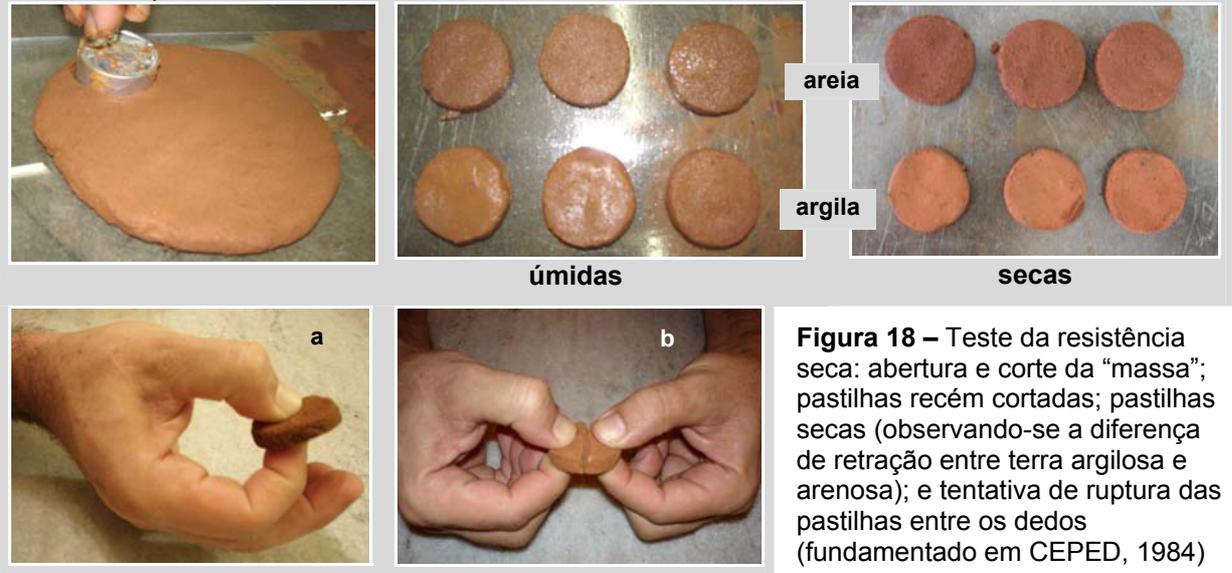


Figura 18 – Teste da resistência seca: abertura e corte da “massa”; pastilhas recém cortadas; pastilhas secas (observando-se a diferença de retração entre terra argilosa e arenosa); e tentativa de ruptura das pastilhas entre os dedos (fundamentado em CEPED, 1984)

Seu comportamento é classificado de acordo com as indicações contidas na tabela 7. Na figura 18 (a e b), nota-se que não é possível romper uma pastilha de terra argilosa da maneira recomendada, ela somente se rompe por flexão e com o uso das duas mãos.

Tabela 7 – Avaliação do teste da resistência seca

resistência	Esforoço de ruptura	Comportamento	Classificação e interpretação
Grande	Resistente	Não se pulveriza	Solo inorgânico de alta plasticidade; argila
Média	Pouco resistente	É possível reduzir os pedaços a pó	Terra argilo-siltosa, terra argilo-arenosa ou areia argilosa. Se for argila orgânica, não usar
Pouca	Não resiste	Fácil desagregação	Falta de coesão. Solo arenoso, siltoso inorgânico ou outro com pouca argila

Identificação de técnicas construtivas, em função dos resultados dos testes

Para cada tipo de terra, pode-se estimar as técnicas construtivas mais adequadas, em função dos resultados dos testes do cordão, da fita, de exsudação e da resistência seca, conforme apresentado na tabela 8.

Tabela 8 – Tipo de solo e técnica construtiva indicada por testes expeditos (adaptação de CEPED, 1984)

Teste do cordão	Teste da fita	Teste de exsudação	Teste da resistência seca	Tipo de terra	Técnica construtiva
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, porém, jamais muito lenta	Pouca a nula, geralmente nula	Arenosa; areno-siltosa; areno- argilosa; silto- argilosa	tijolos prensados, adobe e terra compactada
Cordão frágil a mole	Fita curta	Reação lenta a muito lenta	Fraca a média	Siltosa	Utilização mais difícil que as terras anteriores, mas possível com o uso de aglomerante
Cordão mole	Fita curta a longa	Reação muito lenta ou sem reação	Média a grande	Argilosa com pedregulho; argilo-arenosa e argilo-siltosa	Possível usar para a terra compactada ou tijolo prensado, com aglomerante
Cordão duro	Fita longa	Sem reação	Grande	Argilosa	Possível usar para fabricação de adobes com adição de fibras e barreamento de técnicas mistas

Patricio Cevallos usa, particularmente, as recomendações apresentadas na tabela 9, para analisar os resultados obtidos com os testes. Estas sugerem, inclusive, os estabilizantes mais adequados para cada tipo de terra.

Tabela 9 – Recomendações para seleção da técnica de construção e do estabilizante, em função dos resultados dos testes de campo (adaptado de CRATerre, 1979)

Identificação	Teste do cordão	Teste de exsudação	Teste da resistência seca	Técnica recomendada	Estabilizante mais apropriado
TERRA ARGILOSA E TERRA SILTOSA					
Silte e silte argiloso	Cordão frágil; não faz a bola	Reação rápida a lenta, mas não demasiado lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC	Cimento Portland; pode ser afetado por temperaturas baixas
Silte	Cordão mole, de resistência média; bola frágil, se fissura	Reação lenta a nula	Fraca a média	Evitar usar, se necessário, adicionar aglomerante e revestir a superfície	Cimento Portland ou emulsão asfáltica de baixa viscosidade
Argila c/ pedregulho, argila arenosa e argila siltosa	Cordão mole de resistência mediana; bola frágil, se fissura	Reação muito lenta a nula	Média a grande	Apropriado para BTC e monolítico; necessita aglomerante	Corrigir granulometria Usar impermeabilizante
Argila e argila plástica	Cordão duro; bola não se fissura	Sem reação	Grande	Apropriado para adobe e técnicas mistas	Palha ou outro tipo de fibras
Silte orgânico e argila siltosa orgânica	Cordão frágil e esponjoso; bola esponjosa	Lenta	Fraca a média	Não usar	
Argila orgânica		Reação muito lenta a nula	Média a grande		
TERRA ARENOSA					
Areia siltosa	Cordão frágil; não faz a bola	Reação rápida	Pouca a nula, geralmente nula	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC; se tiver muita areia, agregar finos e estabilizar com aglomerante	Cimento Portland ou cal, ou os dois combinados. Corrigir granulometria, se necessário
Areia argilosa	Cordão mole, de resistência média; bola muito frágil	Reação lenta a muito lenta	Média	Apto para todo tipo de técnica, particularmente BTC; se tiver areia, adicionar finos	Cimento Portland ou cal, ou os dois combinados. Corrigir granulometria, se necessário
Areia	Não funcionam estes testes			Não é apto	
TERRA COM PEDREGULHO					
Pedregulho siltoso, mescla de pedregulhos, areia e silte	Não faz o cordão	Rápida	Nula	Conveniente se o pedregulho não é muito grosso; usar para adobe e monolíticos	Cimento Portland; usar cal como impermeabilizante
	Não faz o cordão	Lenta a muito lenta	Média	Adobe e monolíticos	Cal; usar emulsão asfáltica como impermeabilizante
Pedregulho	Não funcionam estes testes			Não é apto	

Teste do rolo (verificação da terra adequada para a taipa)

Este teste avalia a quantidade de argila (material coesivo) contida na terra, para a construção com taipa e consiste em (figura 19):

- Tomar uma porção de terra, umedecida e amassada, deslizar sobre uma superfície plana (de borda arredondada), até a obtenção de um cordão com 200 mm de comprimento e diâmetro de 25 mm;
- Deslizar suavemente o cordão sobre a superfície, de forma a ficar em balanço além de sua borda, até que ocorra a ruptura do segmento em balanço.



Figura 19 – Teste do rolo: na ilustração, uma terra argilosa (ruptura com mais de 120 mm)

Em função do comprimento do segmento rompido, tem-se um indicativo da quantidade de argila ideal para a taipa:

- Se romper o cordão com menos de 80 mm, não há argila suficiente;
- Se a ruptura se der com comprimento entre 80 mm e 120 mm, a quantidade de argila é a ideal;
- Comprimentos acima de 120 mm indicam argila em excesso.

Teste da caixa

Este teste mede a retração linear do solo que, indiretamente, indica seu comportamento quanto à retração volumétrica. Ele é usado principalmente para a seleção da terra para BTC e paredes monolíticas com cimento, consistindo em (figura 20):

- Tomar uma porção do solo e adicionar água, pouco a pouco, até que a mistura comece a aderir na lâmina da colher de pedreiro;
- Colocar a mistura na caixa, alisando a superfície com a colher de pedreiro;
- Deixar a caixa protegida do sol e da chuva durante sete dias;
- Depois deste período, medir a retração linear.

Figura 20 – Ensaio de retração (o teste da caixa): a caixa da ilustração permite o ensaio de cinco amostras, simultaneamente, facilitando a comparação entre os resultados de retração (cada compartimento tem 8,5 cm de largura, 3,5 cm de altura e 60 cm de comprimento). Dispositivo proposto por Faria (2002)



Obede B. Faria

Segundo BNH (1985), para a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento, a retração total não deve ultrapassar os 20 mm.

CEPED (1984) recomenda o uso da terra com retração total de até 20 mm no teste da caixa e a proporção de 1 volume de cimento para 15 volumes de terra, para a execução de paredes de painéis monolíticos de solo-cimento.

Independente da técnica construtiva, Patricio Cevallos, em função de sua experiência, recomenda as proporções volumétricas (traço em volume) apresentadas na tabela 10, para estabilização da terra em função da medida da retração no teste da caixa.

Tabela 10 – Relação terra e cimento para as misturas de solo-cimento (Recomendado por Patricio Cevallos)

Retração (em mm)	Cimento (volume)	Terra (volume)
Menor que 12	1	18
Entre 12 e 25	1	16
Entre 25 e 38	1	14
Entre 38 e 50	1	12

ALGUNS MÉTODOS DE CONTROLE RECOMENDADOS NA CONSTRUÇÃO COM TERRA

Como toda construção, a que utiliza a terra como material de construção, também deve atender às exigências que garantam sua segurança estrutural, durabilidade e estanqueidade. Os procedimentos de controle são os mesmos utilizados para a construção convencional. Para as paredes, se recomenda observar o prumo, alinhamento, aspecto superficial e a proteção das paredes sujeitas a ação da água, seja com auxílio dos beirais na cobertura, ou com tratamento superficial adequado.

Heise (2003) define diversos fatores a serem verificados no controle de qualidade do processo de produção da arquitetura e construção com terra. O controle se inicia no desenho do projeto do canteiro de obras, passa pela seleção da terra e a preparação da mistura, e, para as técnicas que utilizam moldes, trata do projeto e da montagem desses, com o lançamento e aplicação da mistura e, finalmente, com o acabamento da parede construída.

É bastante útil fazer amostras, para simulação prévia, antes da execução da obra. Por exemplo, produzir vários adobes com um ou mais tipos de terra, construir um painel de taipa ou de pau-a-pique, fabricar blocos, assim como testar diferentes quantidades de estabilizantes. Estes experimentos, que não implicam custo elevado, completam o conhecimento sobre o comportamento da terra disponível, ajudam a selecionar a mistura e podem condicionar as decisões quanto ao sistema construtivo mais adequado.

Ressalta-se também a importância da capacitação dos operários e do responsável pela execução e pela qualidade da obra.

Durante a obra, os fatores considerados importantes na construção com terra são a dosagem, quando se usam estabilizantes, a homogeneização, a umidade e o adensamento. Na obra, geralmente, não se dispõe do apoio de laboratório para garantir as mesmas condições obtidas em laboratório. Entretanto, existem práticas simples e métodos expeditos que asseguram seu controle com razoável precisão.

Dosagem

Deve-se evitar o uso de vários critérios de medidas dos materiais, pois podem causar confusões que dificilmente serão identificadas durante a execução. Uma boa prática no controle é estabelecer volumes fáceis de serem utilizados, como padiolas, carrinho-de-mão, ou baldes. O cuidado básico deve estar então em observar se não ocorrem variações nas características físicas da terra que está sendo usada, pois, caso ocorra, será necessária a adequação da dosagem.

Os volumes da mistura devem ser suficientes para não provocar interrupções no trabalho e, no caso de usar cimento como estabilizante, deve-se cuidar que o uso da mistura não ocorra após seu período de pega (aproximadamente de 2 horas).

Homogeneização

Outro fator fundamental na qualidade do produto final é a perfeita homogeneização da mistura. O estabilizante em pó deve ser adicionado à terra seca e misturado até que se obtenha uma coloração uniforme; a terra deve estar isenta de grumos, que podem ser eliminados com uma pá, ou por peneiramento. A água deve ser adicionada depois da mistura da terra seca com o estabilizante; em regiões chuvosas, é conveniente prever um abrigo para armazenar a terra.

Na adição da cal hidratada, é usual, além da homogeneização, deixar a mistura em repouso durante 12 horas, no mínimo, de modo a obter maior trabalhabilidade e diminuir a retração. Hoffmann (2002) indica que, quando a cal é usada apenas como aglomerante, para melhoria da resistência e durabilidade, a mistura deve ser utilizada logo após a adição da cal. Cevallos e Rotondaro lembram que, quando se adiciona palha ou esterco à terra para produção de adobes, o tempo de repouso da mistura chega até aos 15 dias.

Umidade

A umidade que a mistura deve ter é função do tipo de terra que se utiliza e da técnica construtiva (adobe, bloco, taipa, técnicas mistas, etc). Para o adobe, por exemplo, é necessária uma plasticidade tal que permita o preenchimento do molde com facilidade, ocupando todo seu volume (principalmente os cantos e arestas), sem, no entanto, ocorrer a deformação do adobe, ao ser desmoldado. Para a técnica mista, o barro deve ser mais plástico, mais úmido, para possibilitar a acomodação entre os elementos do entramado, mas também não pode ser muito plástico, a ponto de escorrer por entre estes elementos.

No caso de terra comprimida, a identificação da umidade pode ser feita em campo, com razoável precisão por um processo expedito. Consiste em tomar uma porção da mistura, já umedecida, e comprimi-la com a mão: ao abrir a mão, o bolo formado deve guardar o sinal dos dedos e, quando deixado cair da altura de 1 metro, deve espatifar-se (desagregar-se). Caso não se consiga formar o bolo com a mão, a umidade é insuficiente; caso o bolo, ao cair, mantenha-se coeso, a umidade é excessiva.

Este teste assemelha-se ao da queda da bola, porém cada um tem sua finalidade. O primeiro é realizado para a seleção da terra e determina seu tipo pela forma de espalhamento da bola ao cair, cuja avaliação se faz, em geral, por comparação entre várias amostras de terras. Este último avalia a umidade ótima de compactação da terra, já selecionada para técnicas construtivas que empregam a terra compactada, por prensagem ou por compactação, e avalia o seu aspecto tanto ao comprimir a amostra na mão, como o seu espalhamento na queda.

Obede Faria usa, ao invés de deixar cair, quebrar o bolo com as duas mãos. O bolo deve estar compactado o suficiente para que se quebre em dois, sem esmigalhar. Caso esmigalhe, a umidade é insuficiente; caso ele ceda à pressão dos dedos e se deforme, sem partir ao meio, está muito úmido (figura 21).



Figura 21 – Teste de umidade: compactação da terra com a mão e ruptura do “biscoito” em dois, sem esfarelamento. Exemplo de uma terra arenosa, com a umidade adequada

Para determinar a umidade ideal, o melhor e mais eficiente teste é experimentar o uso da terra na própria técnica, já que o teor de umidade pode ser fácil e rapidamente corrigido, com a adição de mais água, ou de mais terra. O próprio operador, em pouquíssimo tempo, terra condições de avaliar se a mistura está na umidade ideal, baseado no método de “tentativa e erro”.

Compactação

O controle da compactação é muito simples e intuitivo. O som emitido pelo compactador vai se modificando durante a compactação e, ao final, ele é “quase metálico”; o término é identificado facilmente pelo operador, pois o compactador não deixa mais marcas sobre a superfície compactada. A partir daí, todo esforço de compactação será praticamente inútil.

Ainda com relação à compactação, outro fator fundamental de controle é a espessura das camadas da mistura solta: estas, antes da compactação, não devem ser superiores a 20 cm.

Outro aspecto relativo à compactação corresponde à massa do compactador: alguns autores sugerem o peso máximo de 3 kg, outros de 10 kg. O importante é que sempre se utilizem compactadores com mesma massa, de modo que a energia de compactação seja uniforme. Também não devem ser utilizados compactadores com superfície de compactação muito grande, para que seja evitado o empolamento do material.

Nem todas as técnicas construtivas exigem compactação mecânica. Quando se usa a mistura de terra e água em estado de consistência plástica, para produção de adobe e enchimento de entramados, por exemplo, não há necessidade de energia para seu adensamento.

Manutenção

Faria (2002) ressalta que a necessidade de manutenção não é exclusiva das construções com terra. Independente do material utilizado, o hábito de manter, tanto de caráter preventivo como corretivo, preserva a construção. Outro aspecto muito importante, relacionado com a manutenção e durabilidade das construções, está relacionado com os detalhes construtivos, ou seja, ainda na fase de projeto, deve-se investir tempo em detalhar cada elemento construtivo, de cada item da construção e de todas as suas etapas.

Nas casas de terra, deve-se cuidar especialmente das instalações hidro-sanitárias e da proteção contra as águas pluviais, pois o contato direto e contínuo com a água pode comprometer seu desempenho e durabilidade.

COMENTÁRIOS

Para avaliar as características da terra disponível e a possibilidade de seu emprego na construção de habitações, os “mestres a construção” procuraram, de alguma forma, desenvolver seus métodos e transmitir sua experiência acumulada para gerações seguintes. Geralmente, dirigidos a uma técnica construtiva específica, cada um contava, seguramente, com a perspicácia e a habilidade desenvolvidas durante anos de trabalho na prática da construção. O adobeiro, o taieiro, por exemplo, sabiam muito bem como encontrar a terra própria para produzir o adobe e a taipa.

Os técnicos, no instante em que necessitaram difundir as técnicas de construção com terra de uma região para outra, principalmente através da escrita, sentiram-se obrigados a compreender as receitas passadas de geração para geração, de mestre para aprendiz, e traduzi-las em palavras e desenhos, que representassem os procedimentos desenvolvidos por estes sábios construtores.

De alguma forma, alguns testes foram mais apreciados que outros, provavelmente porque eram facilmente assimilados e transmitidos. Assim, estes aparecem na maioria dos livros e manuais que tratam dos procedimentos para escolha da terra mais adequada para construção.

Os técnicos procuraram também desenvolver métodos expeditos para o controle de execução, como se faz em qualquer construção convencional. Estes também existiam com os “mestres da construção”, que eram repassados aos aprendizes na própria prática.

Enquanto que os ensaios realizados em laboratório são geralmente quantitativos, com resultados numéricos, os testes expeditos realizados em campo têm resultados essencialmente qualitativos e são apropriados para comparar as características entre as terras disponíveis na região, de modo a escolher a mais apropriada ao sistema construtivo pretendido.

O apoio de um laboratório de ensaios é recomendado em programas massivos de construção, quando o volume de terras é significativo e, principalmente, quando se usam aglomerantes como o cimento, por exemplo, que representa um valor significativo no custo da construção. Neste caso, além dos ensaios para seleção do solo, deve-se programar:

- O estudo de jazidas, de modo a avaliar a quantidade de solo disponível na região, o impacto ambiental resultante e a possível degradação da paisagem;
- Os ensaios de caracterização do solo, para controle e identificação de possíveis alterações que possam modificar seu comportamento.

Excetuando-se os casos mencionados anteriormente, os testes expeditos, como os aqui apresentados, são perfeitamente credenciados para selecionar os solos apropriados e, em conjunto com o conhecimento técnico do especialista, para projetar e acompanhar a obra, garantindo o desempenho e a durabilidade da “casa de terra”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). **NBR 6502 – Rochas e solos. Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT. 18 p.

PERU. AID Y Ministerio de Vivienda y Construccion de Peru. **Indigenous Building Techniques of Perú and their potential for improvement to better with and earthquakes**. Lima: [s.n.], [197-?].

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan (1979). **Arquitecturas de adobe**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. 165p. (Tecnología y arquitectura)

BNH – Banco Nacional da Habitação (1985). **Uniformização das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional**. Rio de Janeiro: DEPEA/BNH. 14 p.

CAPUTO, Homero Pinto. (1978). **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 3.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. v.1, 242 p.

CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA (1984). **Manual de construção com solo-cimento**. 3 ed.atual. São Paulo: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ ABCP. 147 p.

CONESCAL, (1982). **Tecnología de construcción de tierra sin cocer**. Revista Especializada en Espacios Educativos N° 59-60. México: CONESCAL. 90 p.

CRATerre – Centre International de la Construction en Terre. (1979). **Construire en terre**. Paris: CRATerre. 270 p.

EASTON, David. (1996). **The rammed earth house**. Totnes: Chelsea Green. 272 p.

FARIA, Obede Borges (2002). **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo no reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (também disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-10022003-103821/>).

FRANÇA. Ministère des Affaires Culturelles. Unité Pedagogique d’Architecture de Grenoble (1975). **Minimôme découvre la terre**. Grenoble, França.

HEISE, André Falleiros (2003). **Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo cimento em taipa de pilão**. Campinas, 117 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

HERNANDEZ RUIZ, Luis Enrique; MARQUEZ LUNA, José Antonio (1983). **Cartilla de campo para selección de tierras en la fabricación de adobes**. México: CONESCAL. 72 p.

HOFFMANN, Márcio Vieira (2002). **Efeito dos argilo-minerais do solo na matéria prima dos sistemas construtivos com solo cal**. Salvador, 78 p. Dissertação de mestrado – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia.

HOUBEN, Hugo; GUILLAUD, Hubert. (1995). **Traité de construction en terre**. 2.ed. Marseille: Editions Parenthèses / CRATerre, 355 p.

KEABLE, Julian. (1996). **Rammed earth structures: a code of practice**. London: Intermediate Technology Publications, 114 p.

MERRIL, Anthony F. (1949). **Casas de tierra apisonada y suelo cemento**. Traducción y adaptación J.L.Moia. Windsor, Buenos Aires. 204 p.

MINKE, Gernot. (2001). **Manual de construccion em tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual**. Montevideo: Nordan-Comunidad. 222 p.

MORAN, Eduardo (1984). **Uso del terrocemento en la construcción de vivienda de bajo costo**. Tesis de Grado (Facultad de Ingeniería Civil. Pontifica Universidad Católica del Ecuador). Quito. 149 p.

RIGASSI, Vincent (1995). **Compressed earth blocks. Volume I. Manual of production**. Alemanha: GATE-GTZ-BASIN. 104 p.

NOTA DOS AUTORES

Este documento foi preparado a partir da experiência dos autores, cujas práticas se desenvolveram apoiadas na bibliografia já consagrada, sobre a arquitetura e construção com terra. Como se tratam de testes expeditos, estes são adaptados de acordo com as habilidades e sua interpretação depende particularmente dos materiais disponíveis e das técnicas mais usuais em cada região. Os autores, provenientes da Argentina, do Equador e de duas diferentes regiões do Brasil, estados da Bahia e de São Paulo, contam cada um com sua prática, desenvolvida tanto no âmbito da academia, como em atividades capacitação e em construções. Compatibilizar as informações de profissionais de quatro diferentes regiões foi uma experiência inovadora e gratificante; todos os autores aperfeiçoaram seus conhecimentos, reviram e reavaliaram conceitos, em função das práticas de campo para seleção de solos e métodos de controle de execução. Com este documento, os autores esperam contribuir, um pouco mais, para o avanço da tecnologia da Arquitetura e Construção com Terra, principalmente no âmbito ibero-americano.

Janeiro de 2010

ANEXO – EXEMPLO DE PLANILHA PARA REGISTRO E AVALIAÇÃO DOS TESTES

IDENTIFICAÇÃO DA TERRA – TESTES DE CAMPO

Nome da amostra	
Localização	
Operador	
Data de coleta	
Data de execução	
Observações	

Teste		Interpretação
Tátil-visual	Tamanho de partículas	
	Cor	
	Brilho	
	Tato/textura	
Identificação da terra por inspeção tátil-visual		
Queda da bola		
Vidro - % de areia, silte e argila		
Indicação de técnicas construtivas pelo teste do vidro		
Cordão		
Fita		
Exsudação		
Resistência seca		
Identificação da terra e de técnicas construtivas – tabela 8		
Identificação da terra e de técnicas construtivas – tabela 9		
Rolo		
Caixa		

Conclusões:

Fazer esboço do local de amostragem no verso

Capa: Montagem com vários tipos de solo em fotos de Obede B. Faria

Solo orgânico argiloso, de Bauru – SP (inadequado para construção)



Solo siltoso, de Itajaí - SC

Areia fina (“rosa”), de Bauru-SP



Areia fina (“amarela”), de Bauru-SP

Solo arenoso, de Bauru – SP (76% areia, 4% silte, 20% argila)



Solo areno-argiloso, de Piratininga -SP

Solo areno, de Piratininga -SP



Areia do Rio Tietê, coletada em Pederneiras – SP.

12,9% > 4,8mm

4,8mm > 7,2% > 2,4mm

2,4mm > 14,2% > 1,2mm

1,2mm > 18,5% > 0,6mm

0,6mm > 29,9% > 0,3mm

0,3mm > 17,2% > 0,15mm

8,8% < 0,15mm