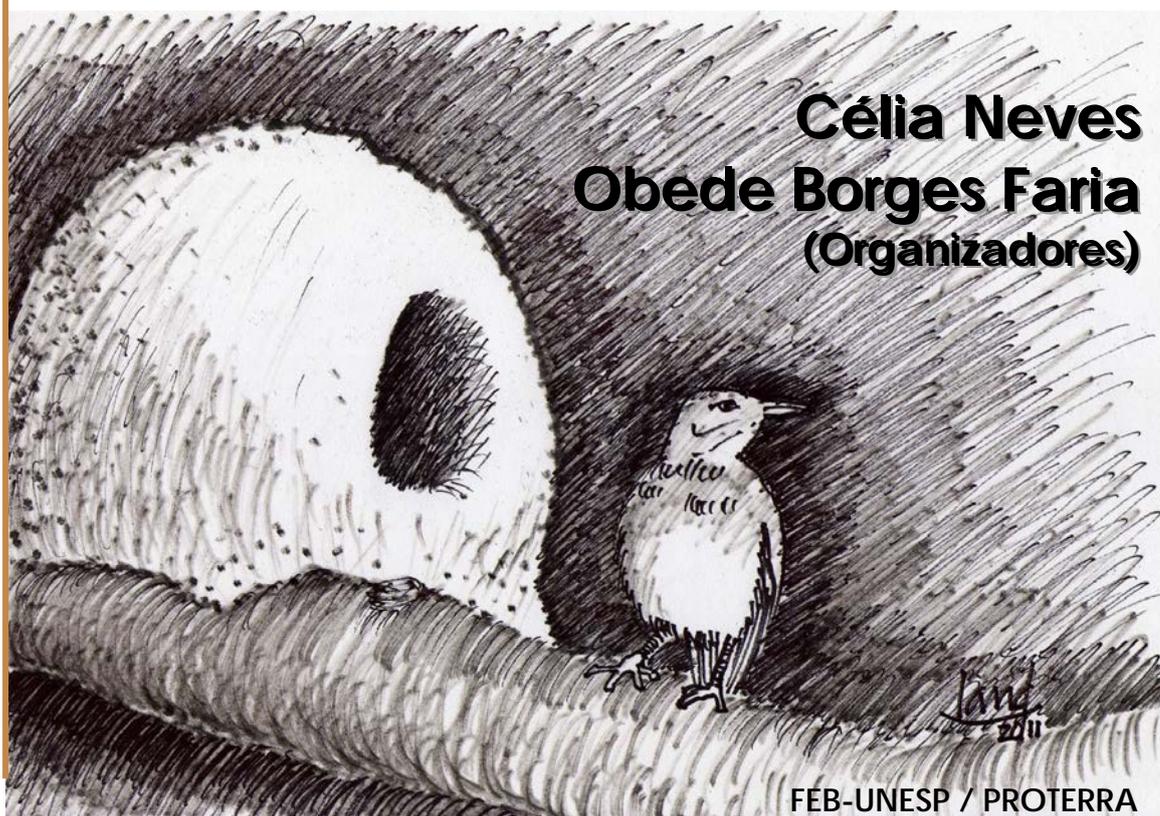


TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA



Célia Neves
Obede Borges Faria
(Organizadores)

TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA

Bauru-SP
FEB-UNESP / PROTERRA
2011

Tradução dos artigos em espanhol para o português: **Célia Neves**

Diagramação: **Célia Neves e Obede Borges Faria**

Capa: **Obede Borges Faria**, com ilustração de **Andrés Nogués**

720 Técnicas de construção com terra / Célia Neves e Obede
T253 Borges Faria, organizadores. -- Bauru : FEB-UNESP /
 PROTERRA, 2011.
 79 p. il.

Vários autores
ISBN 978-85-64472-00-6

Inclui bibliografia

1. Arquitetura e Construção com terra. 2. Técnicas
construtivas. I. Neves, Célia. II. Faria, Obede
Borges. III. Título.



Faculdade de Engenharia de Bauru
UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Av. Eng. Luiz E. C. Coube, 14-01
17033-360 Bauru – SP (Brasil)
www.feb.unesp.br



RED IBEROAMERICANA PROTERRA
REDE IBERO-AMERICANA PROTERRA
www.redprotterra.org

TÉCNICAS
DE CONSTRUÇÃO
COM TERRA



TERRA

PRO
P

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 (TECNOTIERRA – Colômbia)
Dra. 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)
Prof. Arq. Hubert Guillaud (CRATerre/EAG – Francia)
Dr. Arq. Silvio Ríos (Universidad Nacional de Asunción – Paraguai)

Especialistas colaboradores

Eng. Mónica Bahamondez (ICOMOS/ISCEAH – Chile)
Rest. Carolina Castellanos (Consultora UNESCO – México)
Dra. Nuria Sanz (Oficina de Patrimônio Mundial - Espanha)
M. Sc. Jeanne-Marie Teutónico (Instituto Getty – USA)

Agradecimentos



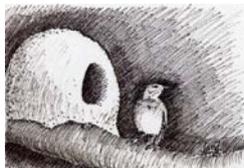
Os organizadores agradecem aos autores e aos seguintes colaboradores:

ANA CRISTINA VILLAÇA COELHO, por sua colaboração com a revisão de textos em português.

ANDRÉS NOGUÉS, pelo desenho especialmente produzido e cedido para ilustrar a capa deste trabalho; e,

JUAN TRABANINO, por sua colaboração com a elaboração de algumas ilustrações do texto.

SUMÁRIO



- 9** **Introdução**
Célia Neves
- 12** **Identificação e seleção de solos**
Obede Borges Faria
- 16** **Adobe**
Rodolfo Rotondaro
- 26** **Abóbada de terra**
Ramón Aguirre
- 35** **Bloco de terra comprimida – BTC**
Célia Neves; Ana Paula Milani
- 46** **Taipa de pilão**
*Márcio Vieira Hoffmann; Fernando Cesar Negrini Minto;
André Falleiros Heise*
- 62** **Técnicas mistas**
Lucía Esperanza Garzón
- 72** **Revestimentos**
Luis Fernando Guerrero Baca
- 78** **Currículo dos autores**
- 79** **Currículo dos colaboradores**

Sugestão para citação deste trabalho:

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges (Org.). **Técnicas de construção com terra**. Bauru, SP: FEB-UNESP/PROTERRA, 2011. 79p. Disponível em <<http://www.redproterra.org>>. Acessado em dia/mês/ano.

APRESENTAÇÃO¹

Arquitetura e construção com terra têm uma longa história em Ibero-américa e, embora o seu desenvolvimento remonte há mais de cinco mil anos, segue vigente tal e qual como em sua origem, em diferentes regiões do planeta. Em geral, a sua sobrevivência secular se deve à abundância da matéria-prima, ao custo da construção, às características bioclimáticas e a sua harmonia com o ambiente em que se desenvolve.

Embora nos últimos anos tenha havido progressos significativos na recuperação e sistematização de dados históricos sobre o assunto, bem como na geração de conhecimentos científicos que expliquem, e prevejam, o comportamento das edificações de terra crua, estas informações não contam com suficiente difusão. A documentação da cultura construtiva associada ao uso da terra não tem, infelizmente, recebido a atenção que merece na maioria das instâncias acadêmicas e institucionais.

Por estes motivos, desde o início do século XXI, PROTERRA assumiu a tarefa de gerar uma rede de intercâmbio que permita aos pesquisadores, professores, projetistas e construtores de Ibero-américa contribuírem para o desenvolvimento e a transferência da tecnologia em arquitetura e construção com terra.

Os trabalhos realizados atualmente pela Rede Ibero-americana PROTERRA são agrupados em quatro linhas de ação: Pesquisa, Educação Formal, Oficinas e Difusão. A diversidade na formação, atuação profissional e personalidade própria de cada um dos membros da Rede, influenciam a forma como se vinculam estas linhas de ação.

A fim de estruturar, de maneira lógica, a inter-relação dessas linhas e, sobretudo, para torná-las acessíveis à ampla gama de leitores, surgiu a idéia de criar um texto coletivo, em que alguns membros da rede colaborassem com sua experiência em diferentes técnicas de construção. Assim surgiu “Técnicas de Construção com Terra”, ora apresentado.

O principal objetivo deste texto foi atender à necessidade de estabelecer um padrão de qualidade para as atividades oferecidas no âmbito do programa pedagógico das oficinas, realizadas com o apoio da Rede Ibero-americana PROTERRA. No entanto, o texto foi mais adiante. A profundidade dos assuntos tratados e a clareza pedagógica de sua redação tornaram este documento adequado para o ensino e a prática de construção com terra em maior amplitude.

Este é um documento destinado às pessoas que se encarregam da realização de oficinas de transferência de tecnologia, mas também é muito útil para estudantes, professores, construtores, pesquisadores e profissionais de instituições de apoio à edificação com terra como um guia para a sua prática cotidiana.

Com esta publicação, a Rede Ibero-americana PROTERRA dá mais um passo no cumprimento de seus objetivos, fazendo a ponte entre os diversos profissionais envolvidos com a arquitetura e construção com terra e a sociedade a quem se destina a servir.

Março de 2011

Luis Fernando Guerrero Baca
Coordenador da Rede Ibero-americana PROTERRA

¹ Tradução de Célia Neves e revisão de Ana Cristina Villaça Coelho

A terra¹ tem sido um dos materiais de construção mais utilizados pelo homem desde a pré-história, tanto em construções de caráter popular como em edifícios representativos e monumentos. A partir da segunda metade do século XIX, o uso habitual da terra vai cedendo inexoravelmente ao aparecimento de materiais de construção industrializados e a terra é marginalizada das grandes obras públicas e privadas, onde começa a concorrer com o gosto pelos padrões estéticos ditados pelos novos materiais. Apesar disso, principalmente nos países em desenvolvimento, a terra segue como uma das únicas alternativas de construção da população excluída do mercado formal de habitação, geralmente moradores da periferia das cidades e da área rural. Associada a sobrevivência de sistemas construtivos primitivos, mantida pela necessidade de morar dessas populações, a terra é alvo de pesquisadores que buscam avançar a tecnologia, através do resgate e conhecimento das técnicas utilizadas no passado e do desenvolvimento de sistemas construtivos inovadores e coerentes, caracterizados pela simplicidade, eficácia e baixo custo.

As técnicas de construção com terra surgiram em quase todas as civilizações do passado e expandiram-se através das invasões e colonizações, comuns na história da Humanidade. As técnicas nativas uniram-se às técnicas trazidas pelos estrangeiros e, com variadas combinações entre elas, foram se adaptando e organizando as formas mais adequadas de construir. As técnicas apresentam semelhanças de uma região para outra, cada uma com suas particularidades e com sua própria nomenclatura que, muitas vezes, confunde até os mais estudiosos.

Uma das técnicas de construção mais primitivas e empregadas até hoje é a alvenaria de adobe. Em geral, os adobes são fabricados por colocação manual da massa plástica, composta de terra e água, no interior de um molde apoiado em uma superfície plana, procedendo-se imediata desmoldagem. Os antigos construtores aprenderam a usar a terra, melhorando suas propriedades com adição de outros materiais e protegendo as superfícies exteriores da ação de agentes degradantes. Empiricamente, a impermeabilidade do adobe foi melhorada com adição de asfalto natural à mistura de terra e água, a retração foi reduzida com a adição de palhas e os solos foram misturados para obtenção de um solo granulometricamente mais apropriado.

Outra técnica, conhecida como taipa-de-pilão (ou simplesmente taipa) no Brasil e Portugal, *tapial* ou *apisonado* em outros países ibero-americanos, corresponde a paredes monolíticas construídas no próprio local. Ela consiste na compactação de camadas de terra úmida no interior de moldes (taipal ou *tapial*), geralmente de madeira, que vão se deslocando à medida que avança a construção. Para garantir o prumo e manter constante a espessura da parede usam-se guias verticais que inclusive facilitam o deslocamento dos moldes.

Outra técnica construtiva muito interessante e usada em várias regiões caracteriza-se pela combinação de madeira, bambu, varas, palha, fibras, com a terra e, eventualmente, aglomerante. Conhecida como taipa de mão, taipa de sopapo, pau a pique ou também taipa no Brasil, ela recebe nomes variados em outros países, tais como *quincha*, *bahareque*, *estanqueo*, *fajina*. PROTERRA (2003) propõe a denominação geral do sistema como “técnica mista”, porém conservando as variadas nomenclaturas em cada região.

¹ Na Arquitetura e Construção com Terra – denominação dada a toda produção arquitetônica que emprega o solo como o principal material de construção – o solo recebe denominações diversas tais como terra crua, terra sem cozer, terra para construir, porém, o usual e adotado neste trabalho, é o termo “terra”, que corresponde ao solo apropriado para construção. O termo “solo” é usado principalmente quando envolve classificações e caracterizações, que também são adotadas em outros campos da Engenharia, assim como são os termos solo-cimento, solo-cal e solo estabilizado, entre outros.

Resumidamente, a técnica mista consiste em uma estrutura portante, de madeira, unida por entramados reticulados de madeira ou varas e coberta com uma massa plástica de terra. Em geral, os efeitos da retração da massa de enchimento muito pronunciados exigem um revestimento posterior à secagem, para deter o efeito desagregador.

O uso da técnica mista se dá em climas variados, desde regiões com temperaturas elevadas até as mais frias, e em altitudes desde o nível do mar até as mais elevadas, nas montanhas. As edificações apresentam excelente desempenho durante os constantes abalos sísmicos, característicos em vários países da América Central e América do Sul (Neves, 1995).

Outras técnicas são menos conhecidas e pouco estudadas por pesquisadores, mas, nem por isso, menos importantes. Em geral, são técnicas de âmbito geográfico e de aplicação mais reduzidas. Viñuales et al (1994) ressaltam várias técnicas tais como pau-a-pique, *terrón*, *chorizo* e *bollos* e comenta o uso de técnica mista em coberturas, especialmente em regiões áridas e frias. Comenta particularidades regionais do teto de *torta* que, na zona de Cuyo, nos Andes argentino, são construídos em formas curvas, com excelente desempenho frente aos freqüentes abalos sísmicos locais; são encontrados planos ou inclinados em duas ou quatro águas em outras regiões; e, nos Andes chileno, as placas de terra e palha são preparadas no canteiro de obra e, ainda úmidas, são colocadas sobre o entramado da cobertura, tomando a forma do apoio. Faria (2002) também apresenta várias técnicas de construção com terra.

Ao comparar as técnicas de construção empregadas nos tempos antigos e as praticadas hoje, constata-se que elas evoluíram, passando por transformações e adaptações próprias do conhecimento adquirido através das investigações, das práticas e do meio sócio-econômico e cultural onde elas são executadas. Assim, a força de trabalho do homem vai sendo substituída por equipamentos e ocorre a introdução de materiais regionais e de materiais sintéticos.

Os estudos para estabilização da terra com aglomerantes, especialmente o cimento, iniciados na década de 30 do século XX, abriram um leque de possibilidades para a edificação com o novo material, que ganhou forças com o desenvolvimento de um modelo bastante simples de prensa manual para fabricação de blocos, conhecida pela denominação CINVA-RAM (Neves, 2007), acenando com a possibilidade de industrialização da construção. Assim, surgiu o componente da alvenaria identificado como BTC (bloco de terra comprimida, geralmente estabilizada com cimento), cujo processo de fabricação permite aplicar sistema de controle de qualidade eficaz, além de garantir a uniformidade de dimensões do bloco.

Os problemas ambientais causados pela ação do homem no processo de produção de bens de consumo, como também da produção do espaço urbano, tornam-se evidente ao final do século XX, o que resulta na sensibilização da Sociedade quanto a urgente necessidade de reverter este quadro. Instalada a crise dos modelos de construção estabelecidos, a arquitetura e construção com terra retorna como uma alternativa sustentável, incentivando a busca e a oferta para a formação e capacitação de profissionais preocupados em atender aos novos paradigmas.

Constata-se, então, que existem cursos de especialização, formais e regulares, nas escolas de nível técnico e nas universidades na área de conservação do patrimônio, mas, nos temas dedicados à arquitetura contemporânea, as atividades de formação e capacitação são irregulares e pontuais. Os cursos são, em geral, de natureza informal e ocorre mais devido ao louvável esforço pessoal de alguns profissionais, com apoio de instituições públicas ou privadas.

Na sua grande maioria, os centros educativos e universidades não contemplam a arquitetura e construção contemporânea de terra como uma disciplina regular, o que impede a generalização da formação neste tema, a qual permitiria a postura correta dos profissionais atuando em seus postos de trabalho, quando necessitassem emitir uma avaliação, aprovar um projeto ou até mesmo projetar e construir com terra.

Atualmente, existem iniciativas em todos os países ibero-americanos para elaborar e publicar normas técnicas para a produção de edificações em terra. Além das normas brasileiras para BTC com cimento e da revisão e ampliação da norma peruana para adobe, foram publicadas a norma técnica colombiana sobre BTC com cimento e a norma espanhola para BTC (Neves; Villaça, 2009).

O conhecimento da arquitetura e construção com terra, adquirido ao longo do tempo, tem configurado uma dinâmica de disseminação inovadora através da comunicação virtual – a *internet*. Os conhecimentos gerados em pesquisas e outras experiências, antes limitados aos estudiosos e aos construtores, agora são mais e melhor divulgados. As páginas *Web*, as redes virtuais e o correio eletrônico se tornam um grande aliado para o avanço da arquitetura e construção com terra, pois possibilitam encontrar e contatar pesquisadores e demais profissionais, trocar informações e conhecimentos em um mundo atemporal, sem fronteiras e sem distâncias, inimaginável em gerações próximas passadas.

Os profissionais que atuam hoje, em geral, são pessoas que aprenderam fazendo, praticando e experimentado. Eles têm uma bagagem considerável de conhecimento que deve ser aproveitado para planejar as formas de formação e capacitação de novos profissionais. A Rede Ibero-americana PROTERRA faz um grande esforço para reunir e integrar especialistas de diversas áreas de atuação, trocar e divulgar conhecimentos. Através de eventos – seminários, congressos, oficinas – de publicações e outras ações, a Rede ibero-americana PROTERRA busca disseminar a arquitetura e construção com terra e encontrar formas adequadas de capacitação para uma razoável quantidade de pessoas interessadas, em todos os países ibero-americanos.

Referencias bibliográficas

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

NEVES, Célia (1995). Inovações tecnológicas em construção com terra na ibero-américa. In: *Workshop Arquitetura de Terra*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. p. 49-60.

NEVES, Célia (2007). Solo-cimento: dosagem e técnicas construtivas. In: *V Seminário Arquitectura de Terra em Portugal*. Aveiro: Universidade de Aveiro. 1 CD-ROM.

NEVES, Célia; COELHO, Ana Cristina Villaça (2009). Um passeio pelas normas de construção com terra nos países ibero-americanos. In: *VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra; II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra*. San Miguel de Tucumán: CRIATIC/FAU/UNT. 1 CD-ROM.

PROTERRA (2003). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Salvador: PROTERRA/HABITED/CYTED.

VIÑUALES, Graciela M.; NEVES, Célia; FLORES, Mário O.; RÍOS, Silvio (1994). *Arquitecturas de tierra en iberoamérica*. Buenos Aires: HABITERRA/CYTED.

Desde os seus primórdios, a humanidade tem tido uma estreita relação de dependência com o solo para sua sobrevivência, seja para a produção de alimentos ou para abrigo das intempéries e de predadores. No que diz respeito ao abrigo, foi um dos primeiros materiais utilizados pelo homem, ao lado da madeira e da pedra (fragmentos de rocha), nas suas formas brutas. Estes abrigos consistiam nas cavernas naturais ou eram construídos com madeira roliça e/ou pedras, simplesmente empilhadas.

Quando o homem passou a transformar recursos naturais em materiais de construção, o *adobe* foi o primeiro deles, sendo obtido com a mistura plástica de solo e água que, após a secagem natural (ao sol ou à meia sombra), produzia blocos rígidos para construção de muros e paredes, à semelhança do uso da pedra.

Segundo Lepsch (2010), há 30 mil anos, o homem apenas identificava os diferentes tipos de solo baseado em suas necessidades básicas, ou seja, alguns solos eram capazes de produzir bons alimentos, outros eram mais adequados para fornecer pigmentos e outros para produzir objetos. Há cerca de 10 mil anos, com sua fixação em determinados territórios e o início da agricultura, o homem passou a se interessar mais pelo conhecimento do solo. Um dos povos pioneiros na classificação dos solos, os chineses, há 6.600 anos já contavam com nove classes de solos, para a agricultura.

Em seguida vieram os gregos, com os estudos de Aristóteles e Theofastes (cerca de 2.500 anos); dos romanos, tem-se o “Tratado da Agricultura”, de Catão – o Velho (2.200 anos), e os de Columela (2.000 anos). Já no primeiro milênio da era cristã, a contribuição veio dos árabes, ainda com estudos do solo visando a agricultura. Após a Idade Média, com o advento da imprensa, e após a Revolução Francesa, as ciências passaram por um grande avanço e surgiu a *pedologia*, ciência que estuda o solo como um todo e em seu ambiente natural, estabelecida pelo naturalista russo Vasily V. Dokouchaev (em 1877), que também definiu a *pedogênese*, o estudo da formação dos solos.

Desde então, a pedologia passou a ser subdividida em várias outras subáreas, como, por exemplo, a *edafologia* (mais relacionada à agricultura, com suas diversas ramificações), e outras mais relacionadas à engenharia civil, como a *geotecnia* e a *mecânica dos solos* (surgida em 1925, com o Professor Karl Terzaghi, de acordo com Caputo, 1996).

No entanto, não se tem notícia de uma subárea da pedologia mais voltada ao estudo do solo como matéria-prima para produção de materiais de construção. Daí, a grande necessidade e importância, para quem se interessa pela arquitetura e construção com terra, em conhecer a origem dos solos, suas características, seu comportamento e alguns procedimentos para sua identificação, pois alguns tipos de solos não são adequados para a produção de materiais de construção e outros são adequados apenas para determinadas técnicas de construção. Segundo Neves et al. (2010) os solos adequados para construção são denominados simplesmente *terra*.

1. FORMAÇÃO DOS SOLOS

Simplificadamente, os solos são resultado da ação do sol, das chuvas, dos ventos e do crescimento dos organismos sobre as rochas que compõem a *litosfera*. A esta ação é dado o nome de *intemperismo físico* (ou *desintegração*, que provoca alterações no formato e dimensões das rochas) ou *intemperismo químico* (ou *decomposição*, com alterações na composição química das rochas). A forma de intemperismo é uma das responsáveis pelas diferentes características dos solos.

A camada rochosa alterada recebe o nome de *regolito*, que é composto pelo solo (ou *solum*, camada superficial) e o *saprolito* (“rocha podre”, em uma camada intermediária), que na região de Tiradentes-MG recebe o nome popular de “moledo”¹ e também foi utilizado no período colonial brasileiro como material de construção. Na figura 1 é mostrada uma representação esquemática da formação dos solos.

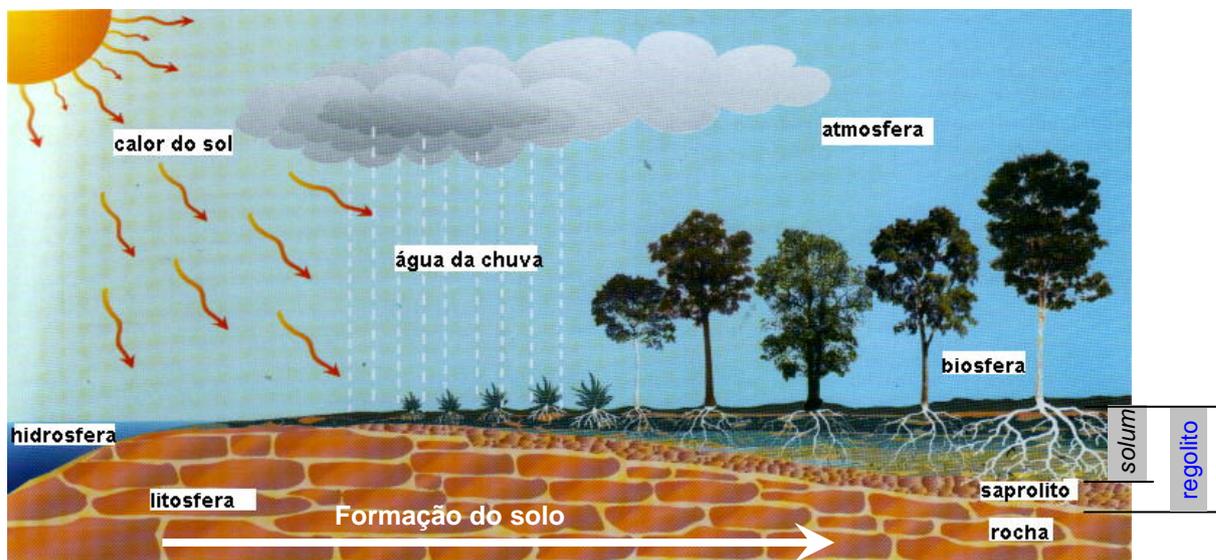


Figura 1 – Representação esquemática da formação dos solos (adaptado de LEPSCH, 2010)

A origem das rochas também é muito diversa, podendo até serem originadas de solos (as rochas sedimentares), mas este é um assunto para a *geologia*, que foge do objetivo deste texto.

Um solo completo e bem desenvolvido é composto por várias camadas, bem distintas, denominadas *horizontes principais* e representados esquematicamente nas figuras 2 e 3. A espessura destas camadas pode variar bastante de um solo para outro, assim como os horizontes podem ser decompostos em *sub-horizontes*. Normalmente, para a construção com terra, o *horizonte O* é descartado e o *horizonte A* também pode se mostrar inadequado. Dessa forma, os horizontes mais adequados são o *E* e o *B*.

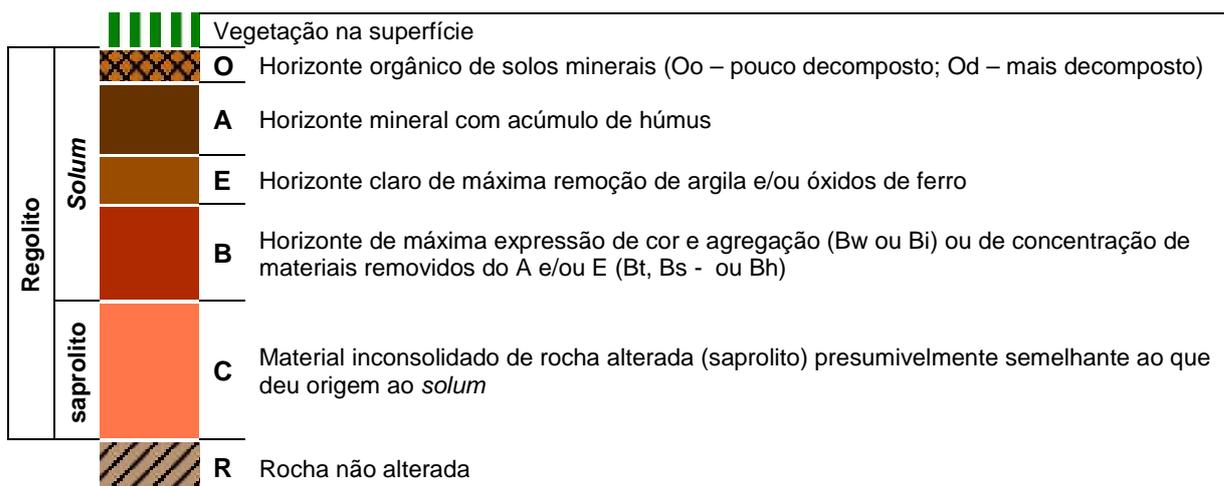


Figura 2 – Horizontes principais do solo (adaptado de LEPSCH, 2010)

¹ Conhecido como *cangahua* ou *cancahua* nas zonas de influência “quéchua” e de *asperón* na zona das missões guaranis (Nota de Graciela M. Viñuales)

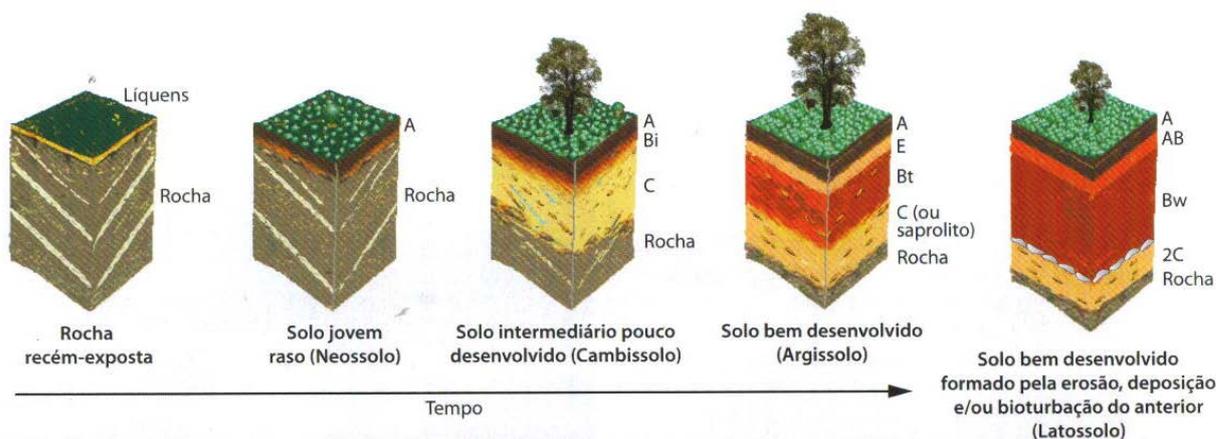


Figura 3 – Estágios de desenvolvimento de um solo, com os horizontes principais (Lepsch, 2010)

Ao longo do tempo, surgiram vários sistemas de classificação dos solos, baseados em suas características, alguns em uso até hoje. No entanto, não é objetivo deste texto, assim como não é relevante para a arquitetura e construção com terra, a maioria destes sistemas de classificação.

2. COMO IDENTIFICAR E SELECIONAR SOLOS

Para selecionar o solo mais adequado, dentre os disponíveis no local da construção, é necessário que se obtenham amostras representativas destes solos e em quantidades suficientes para a realização de todos os ensaios e testes. Para compor uma amostra do solo, devem ser coletadas porções do mesmo em vários pontos do terreno. Em seguida, as porções coletadas devem ser homogeneizada e quarteada, para obtenção da amostra a ser estudada. O quarteamento consiste em formar um monte com a amostra inicial, dividir este monte em quatro partes iguais, juntar duas partes opostas e descartar as outras duas. Se a amostra inicial é muito grande, o procedimento pode ser repetido mais vezes, até obter a porção adequada para os testes e ensaios de seleção.

No trabalho de Neves et al (2010) são apresentadas 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. São relacionados os diferentes tipos de solo com as possibilidades de seu uso e é comentado sobre a adição de agentes estabilizadores, tanto produtos naturais como industrializados, para a melhoria de características físicas e mecânicas. Ainda são descritos, sucintamente, os testes expeditos mais usuais para a seleção de solos, relacionando os resultados obtidos nos testes com as técnicas construtivas mais apropriadas. Comenta também sobre métodos adotados para o controle durante a execução e ressalta as condições em que se deve optar por ensaios de laboratório ou testes de campo. Portanto, para construir com terra, se torna indispensável o estudo deste trabalho, para realizar a identificação e seleção de solos mais seguras.

Referências bibliográficas

CAPUTO, Homero Pinto (1996). *Mecânica dos solos e suas aplicações*. Rio de Janeiro: LTC. 6.ed., v.1

LEPSCH, Igo Fernando (2010). *Formação e conservação de solos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 2.ed.

NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo*. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>. Acessado em 19/02/2011.

Sites de interesse sobre pedologia

Museu de Ciências da Terra Aléxis Dorofeef, da Universidade Federal de Viçosa-MG.
<http://www.mctad.ufv.br>

Museu de Solos da Universidade Federal de Santa Maria-RS. <http://w3.ufsm.br/msrs/>

Pedologia, da Universidade Federal de Goiás.
<http://www.labogef.iesa.ufg.br/logogef/ensino/pedologia>

Pedólogo Hélio do Prado, do Instituto Agronômico de Campinas.
<http://www.pedologiafacil.com.br/genese.php>

A técnica descrita é parte dos sistemas construtivos que incluem a terra como o material predominante, dentro do conceito de "Arquitetura e Construção com Terra" definido pelo Projeto 6 PROTERRA-CYTED (Neves, 2004), especificamente dentro do sistema conhecido como alvenaria de adobe, incluindo paredes e coberturas em abóbadas e cúpulas.

Seu componente básico é o adobe, que pode ser moldado à mão devido ao estado plástico da mistura. Com o adobe se pode executar grande variedade de formas construtivas: retas, curvas, esbeltas e de muita massa. Pertence ao grupo de técnicas construtivas que utilizam materiais naturais de maior antiguidade, e que, a nível global, permanece vigente, sendo em muitas regiões ainda a principal ou única opção para edificar.

Como sistema construtivo que utiliza a terra, é um dos mais conhecidos, utilizados e difundidos, usados para construir vedações verticais (paredes) e coberturas de edifícios. Também está presente em grandes estruturas em sítios e parques arqueológicos, em formas tais como pirâmides, preenchimentos, taludes, muralhas defensivas e torres.

O adobe é uma mistura de terra devidamente selecionada, água e fibras. Para unir os adobes, tanto na construção das paredes como das coberturas, emprega-se a argamassa de terra com ou sem fibras, cujas técnicas variam de acordo com os costumes e potencialidades locais.

O adobe e suas paredes e coberturas seguem sendo um dos principais sistemas artesanais de fabricação de blocos e construção de fechamentos dentro da Produção Social do Habitat.

1. A TÉCNICA

Para a descrição da técnica de construção com adobe, se faz necessária a sua contextualização histórica, a apresentação das referências normativas, comentar sobre as exigências de projeto, aplicações e possibilidades, assim como apresentar algumas vantagens e desvantagens de seu uso.

1.1 Contextualização e breve historia

Existem construções em adobe antigas e modernas, urbanas e rurais, em todas as partes do mundo, regiões e climas, com exceção dos cascos polares, picos elevados e algumas zonas costeiras (Fathy, 1970; González Clavijo, 2002; Houben; Guillaud, 1984; Pnud-Unesco, 1984; Viñuales, 1987).

Um número significativo de obras do patrimônio oficial e vernáculo é construído com adobe unido com argamassa de barro, o qual tem gerado um intenso trabalho de pesquisa para conhecer os materiais e as distintas construções e as sociedades em que esta técnica esteve presente (Viñuales et al, 1994; Guerrero, 2007).

A antiguidade dos adobes produzidos com moldes pode situar-se em torno de oito mil anos. Há evidências e gravações encontradas nas primeiras cidades e povoados da Mesopotâmia, Creta, Egito, Oriente Médio e Sudoeste da Ásia. Distintos vestígios aparecem em lugares tais como a cidade de Catal Hüyük, com 8.000 anos de idade, na Turquia; a cidade de Ganj-Dareh, Irã, por volta de 7.000 a.C.; Uruk, cerca de 4.800 anos, a cidade dos sumérios, e o povoado de Jarmo, no Iraque, os celeiros de Ramsés II, no sul do Egito, cerca de 4.500 anos; o povo do Pan-p'o, do ano de 4.000 a.C. na China.

¹ Tradução de Célia Neves

A construção com adobe aparece nos tratados e escritos muito antigos, de pensadores e arquitetos gregos e romanos tais como Vitruvius, Plínio e Tácito.

1.2 Referências normativas

Em geral consideram-se as seguintes normas e recomendações técnicas como documentos básicos de consulta:

COBE – Adobe estabilizado. Lima: Ministerio de Vivienda y Construcción. Oficina de Investigación y Normalización. 1977.

ITINTEC 331.201; 331.202; 331.203. Elementos de suelo sin cocer: adobe estabilizado con asfalto para muros: Requisitos, métodos de ensayo, muestra y recepción. Lima: Instituto de Investigación Tecnológica y de Normas Técnicas. 1978.

New Mexico Administrative Code (NMAC) 14.7.2. 1997 New México Building Code. 14.7.2.30, Chapter 21, Masonry: Uniform Building Code, 2109.9 Unburned Clay Masonry (adobe). Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department. 2000.

New México Building Code, Section 2412. Uniform Building Code, Section 2405. 1982. Santa Fe, NM: Construction Industries Division (CID) of the Regulation and Licensing Department.

Norma Técnica de Edificación NTE E 080 Adobe. Lima: SENCICO, 2000.

Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento. La Paz: HABITERRA/CYTED, 1995.

1.3 Exigências de projeto, aplicações e possibilidades

O adobe é um componente fabricado com terra em estado plástico, moldado sem necessidade de compressão, com auxílio de moldes, e, uma vez seco, é usado na execução de alvenaria, geralmente unidos por uma argamassa preparada com uma mistura muito semelhante a do adobe, para parede autoportante, parede portante, arcos, abóbadas e cúpulas. Ele pode ser usado para gerar formas ortogonais e curvas, contanto que se respeite sua característica de resistência à compressão.

Antes do emprego de moldes, o barro era conformado com as mãos, produzindo esferas, cones, cilindros e paralelepípedos. Foram encontradas de peças de terra de formato diversos em ruínas arqueológicas, igrejas e capelas, bem como em recintos residenciais antigos.

A técnica mais difundida é a que utiliza moldes de madeira para fabricação de uma ou duas unidades ao mesmo tempo, geralmente de forma retangular. O molde é preenchido com a mistura que é preparada com solos do local e água, e, em muitos casos, com a adição de agregados para controlar as fissuras, tais como vegetais, esterco e pelos de animais.

Por sua vez, dentro das técnicas mais recentes, encontram-se paredes de adobes quadrados reforçadas com taquara (Vildoso et al, 1984; Carazas Aedo, 2002; Rotondaro, 2008) e os adobes fabricados em máquinas por extrusão e posteriormente cortados na própria correia transportadora (Houben; Guillaud, 1984).

1.4 Vantagens e desvantagens da técnica construtiva

Como qualquer outra técnica construtiva, o adobe apresenta vantagens e desvantagens. As principais vantagens são:

- Fácil de fabricar, secar e empilhar.
- Material com considerável capacidade isolante devido a sua porosidade.
- Permite a diversidade de formas e dimensões.

- É 100% reciclável.
- Não requer mão-de-obra especializada e o equipamento artesanal (molde) é muito econômico.
- É usado para construir paredes, arcos, abóbadas e cúpulas.
- A matéria-prima é abundante.

Como desvantagens, podem ser apontadas:

- A baixa resistência à tração e à flexão em relação às alvenarias executadas com BTC ou outro tipo de componente (tijolo e bloco cerâmico, bloco de concreto).
- A fabricação artesanal do componente requer esforço humano considerável e área ampla e arejada para a secagem.
- A necessidade de muita água na sua fabricação.
- A dificuldade de obter as dimensões regulares do componente.
- A qualidade do componente está condicionada à mistura e ao repouso de alguns dias da mistura para sua hidratação ("dormir" o barro).
- Nas zonas afetadas por sismos, a cobertura em cúpula e abóbadas pesadas não são convenientes, e a alvenaria exige reforços e contrafortes apropriados.
- Absorve muita água devido a sua porosidade.

2. MATERIAIS

A matéria-prima básica para a produção de adobe é a terra. No entanto, dependendo de suas características, faz-se necessário agregar outros materiais, como adições ou estabilizantes.

2.1 Tipos de terra

Para a fabricação de adobes recomenda-se o uso do solo areno-argiloso com pouco silte. Se a terra selecionada tem muita argila, aumenta-se o risco de aparecer fissuras no adobe ao secar, se tem demasiado teor de areia ou silte, pode faltar coesão interna adequada e desagregar facilmente, além de diminuir a resistência à compressão.

A norma peruana NTE E 080 (SENCICO, 2000) propõe a seguinte composição granulométrica para a terra: *argila* – 10% a 20%, *silte* – 15% a 25% e *areia* – 55% a 70%.

Existe grande diversidade de opinião quanto às proporções adequadas de cada componente da terra (argila-silte-areia-pedregulho) e alguns autores estabelecem limites apenas para a quantidade de argila. Em geral, os dados são baseados em estudos de caso em diferentes países e distintos tipos de terra, como as recomendações apresentadas na tabela 1.

Tabela 1 – Composição granulométrica da terra adequada para a produção de adobe, segundo vários autores

Autores	Argila (%)	Silte (5)	Areia (%)
Barrios et al (1987)	35-45		55-65
Houben e Guillaud (1994)	5-29	-	-
Graham McHenry (1996)	15-25	-	-
Carazas Aedo (2002)	1 volume de terra argilosa: 2 volumes de terra arenosa		
HB 195 (2002)	10-40	10-30	30-75 (areia e pedregulho)
Proyecto Hornero (2007)	50% de terra argilosa: 50 % de terra arenosa		

2.2 Outros materiais

As principais adições empregadas são:

- Fibras vegetais, esterco e/ou de pêlos de animal (para evitar fissuração na secagem).
- Areia (para evitar fissuras durante a secagem quando o solo é muito argiloso).
- Emulsão asfáltica (para conferir um certo grau de impermeabilidade ao adobe).

Também é possível a adição de aglomerantes como o cimento, a cal e o gesso para melhorar a resistência à compressão ou a estabilidade do adobe em relação à umidade. A cal pode ser agregada previamente à terra, pois seu endurecimento é lento, diferente do cimento, que só deve ser adicionada até 1:30 hora antes do uso da mistura da terra com água devido ao tempo de pega.

3. EQUIPAMENTOS RELACIONADOS COM A TÉCNICA

A seguir são apresentados os principais equipamentos e ferramentas, necessários ao preparo da terra, fabricação do adobe e para execução da parede.

3.1 Preparo da terra

Para o preparo, são utilizados os seguintes equipamentos para destorroamento e homogeneização:

- Peneira grande com malha de 5 mm de abertura (para eliminar pedras, raízes, plásticos e outros elementos grandes).
- Triturador ou rodo manual para destorroar.

3.2 Moldes

Para a moldagem manual, com a mistura (barro) colocada dentro do molde, podem-se usar diversos moldes. A figura 1 apresenta os seguintes modelos:

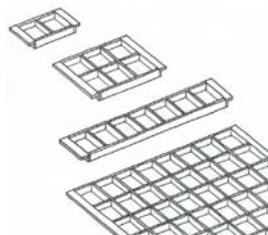
- Moldes para fabricação artesanal com baixa escala de produção: 1, 2, 4 e 6 unidades inteiras e meia unidade, de forma retangular e quadrada (zonas afetadas por sismos), em uma superfície plana ou sobre uma mesa. Os moldes podem ser com ou sem fundo, dependendo da tradição local.
- Moldes para fabricação em grande escala: grelha fixas ou móveis de 6 a 60 ou 70 unidades.



Molde Construcción con terrabaires



Moldes CRIATIC-FAU UNT (Argentina)



Guillaud e Houben (1989)



Figura 1 – Alguns exemplos de moldes para produção de adobes artesanais y industrializados

Para a moldagem mecanizada de adobes, podem ser utilizados os dois tipos de máquinas mostradas na figura 2:

- Extrusora com energia animal.
- Extrusora com energia elétrica.

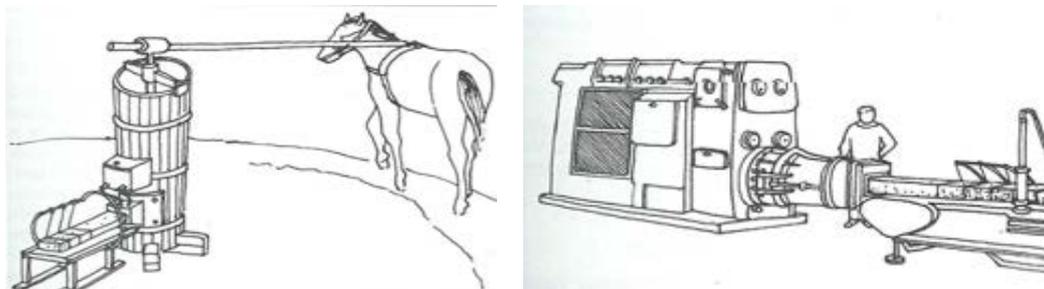


Figura 2 – Extrusoras apresentadas por Guillaud e Houben (1989)²

O processo de extrusão só pode ser usado em misturas que não contêm fibras.

3.3 Ferramentas necessárias para produzir adobes e construir paredes e coberturas

As ferramentas variam muito, de região para região, assim como sua denominação. De uma forma geral, as principais são: pá larga, picareta, tambor com água (para manter os moldes molhados), régua, carrinho de mão, mangueira, prumo, nível, trena, balde e colher de pedreiro.

4. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A técnica de construção com adobe pode ser resumida às etapas de produção dos componentes, a execução dos elementos construtivos para os fechamentos e à avaliação da produtividade.

4.1 Componente (bloco de adobe tradicional)

A seguir são apresentadas as etapas de produção artesanal do adobe tradicional, composto de terra, água e fibras vegetais.

A) Preparação da terra e das adições

Limpar a terra (preferencialmente seca) de pedras, lixo e vegetais com a peneira de malha com 5 mm. Pode-se usar um rolo ou destorroador mecânico para aproveitar mais o volume da terra destorroada. A palha, uma vez seca, deve ser cortada em pedaços de 5 cm a 10 cm de comprimento e armazenadas em sacos (figura 3). O esterco é desmanchado e seco antes da mistura, apesar de também ser usado sem a secagem na preparação de grandes quantidades de barro.



Figura 3 – Peneiramento da terra; tritramento mecânico e corte manual das fibras vegetais

² No Brasil, a extrusora da esquerda é conhecida por “pipa” e a da direita por “maromba” (Nota de Obede B. Faria)

B) Preparação do barro (mistura da terra, água e adições)

Misturar a terra e os aditivos com a água em uma superfície plana ou em um recipiente apropriado com 30 a 40 cm de profundidade. A mistura é feita por pisadas de pessoa ou animais (cavalos, mulas), como mostrado na figura 4. Deixar repousar a pasta agregando água e misturando uma a duas vezes por dia, durante dois a três dias (inclusive uma até duas semanas). Este processo se chama “dormir” ou “amolentar” o barro e seu objetivo é hidratar as argilas, dissolver torrões e misturar os materiais constituintes, até obter um material plástico e uniforme (barro).



Figura 4 – Distintas formas de preparação do barro

C) Moldagem dos adobes

Os adobes são moldados sobre uma superfície plana. O molde deve ser umedecido para evitar a aderência do barro, que deve ser colocado manualmente no molde, preenchendo bem os cantos e extremidades, e sua superfície é regularizada com a régua ou a mão. O desmolde é imediato (figura 5). O adobe produzido é colocado em filas distantes de 1 m cada uma de modo a se ter um espaço para circular. A mistura se mantém com a plasticidade necessária para que se possa encher completamente o molde apenas com uma ligeira pressão manual (sem necessidade de compactar).



Figura 5 – Etapas de moldagem dos adobes (Rotondaro et al, 2009)

Outras técnicas artesanais para a produção do adobe são as seguintes (figura 6):

- Sobre uma mesa, lançar o barro dentro do molde e rasar a superfície do molde.
- Por corte com uma serra ou arame tensionado de uma grande massa preparada em uma superfície lisa e plana (2 m x 2 m ou 2 m x 4 m).

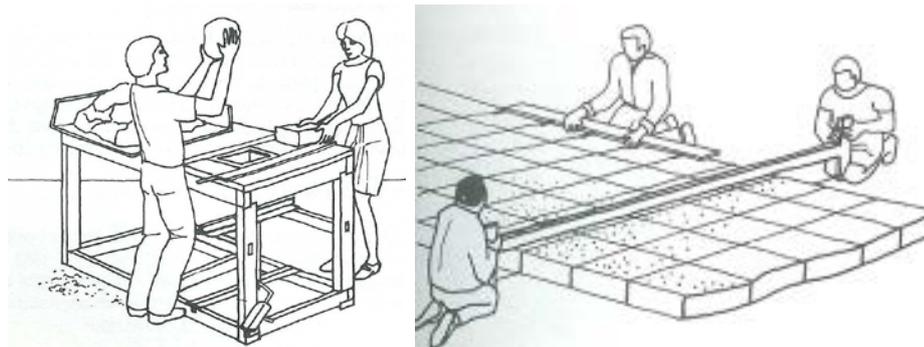


Figura 6 – Outras formas de produção de adobes (Guillaud; Houben, 1989)

D) Secagem e armazenamento dos adobes

Os adobes secam-se ao ar livre durante vários dias (entre uma a duas semanas), e depois se coloca de lado até completar a secagem, entre 5 e 10 dias, dependendo do clima local. Depois eles são empilhados e cobertos para evitar que se desagreguem com a água de chuvas. Recomenda-se fazer pilhas até 1,20 m de altura e canalizar a água em volta das pilhas (figura 7).



Figura 7 – Etapas de secagem e armazenamento de adobes

4.2 Elementos construtivos para fechamentos (alvenaria, cúpula, abóbada)

O processo de construção de paredes de adobe com uma mistura de barro (com ou sem fibras) é semelhante à da alvenaria convencional de tijolos, blocos cerâmicos ou blocos de concreto, como se pode notar na figura 8.

Para evitar a deterioração devido à subida da umidade por capilaridade e ação da água de chuva, é recomendável ter uma camada impermeável entre a fundação e a parede, assim como também uma proteção na face externa da parede e cobertura, qualquer que seja sua forma.



Figura 8 – Construção de paredes de adobe (Rotondaro et al, 1998; 2009)

No caso de arcos, abóbadas e cúpulas, recomenda-se considerar os projetos estruturais adequados à forma desejada da construção, o tamanho e o peso dos adobes a serem utilizados e os esforços específicos em áreas sujeitas a sismos. Algumas cúpulas e

abóbadas, como as núbias, podem ser construídas sem formas ou outro tipo de apoio (figura 9).



Figura 9 – Exemplos de cúpulas e abóbadas de adobe

4.3 Produtividade

A quantidade de adobe que se produz depende do procedimento (artesanal ou mecanizado) e da escala de fabricação (tabela 2).

Tabela 2 – Quantidade diária de adobe produzida, estimada segundo o tipo de produção

Tipo de produção	Artesanal, em pequena escala	Produção semi-mecanizada e mecanizada
adobe moldado	150 a 500 ^(1, 2) (escala familiar, grupo pequeno)	2500 a 20000 ⁽¹⁾
adobe por extrusão	1500 ⁽¹⁾	2500 a 3000 ⁽¹⁾

(1) Guillaud (1989); (2) Rotondaro et al (2009)

Tanto na produção artesanal como na mecanizada em grande escala convém considerar que a fabricação é um processo demorado, que pode levar entre 25 a 40 dias entre as etapas de fabricação, secagem e armazenamento de adobes.

5. ENSAIOS E TESTES DE CONTROLE DE QUALIDADE

Recomenda-se realizar testes de controle durante a seleção de materiais e fabricação de adobes, assim como também da forma, fissuração e resistência à flexão e a compressão, e de fissuração da argamassa. Estes ensaios e testes estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3 – Controle de qualidade para adobe e argamassa da alvenaria (valores de resistências: esforços admissíveis)

Terra	Molde	Retração	Resistência à compressão ⁽¹⁾		Resistência ao corte ⁽¹⁾
			componente	alvenaria	alvenaria
teste de resistência seca ⁽²⁾ (presença de argila)	verificar se existem vazios nas arestas	no adobe: verificar se existem fissuras com mais de 5 cm de profundidade ⁽³⁾	≥ 1,2 MPa	≥ 2 MPa	≥ 0,25 MPa
	a base não deve aumentar mais que 5% ⁽³⁾	na argamassa: controle de fissuração e de proporção de solo-areia grossa (1:0 a 1:3) ⁽²⁾	ensaio de 6 cubos (área: sec. transv.) ⁽⁴⁾	ensaio de prisma (mín. 3) ⁽⁴⁾	ensaio de resistência à compressão diagonal em prisma (mín. 3) ⁽³⁾
	relação comprimento-altura 2:1 ⁽⁴⁾		ensaio de prisma (mín. 5) ⁽⁵⁾		

(1) 1 MPa ≈ 10 kgf/cm²; (2) Vargas Neumann et al (1984); (3) Carazas Aedo (2002); (4) SENCICO (2000); (5) Habiterrra (1995)

O valor mínimo da resistência à compressão do adobe segundo diversos autores e regulamentação (SENCICO, 2000) é de 1,2 MPa (12 kgf/cm²).

Através de um teste empírico pode-se estimar a resistência à flexão da unidade: consiste em que o adobe suporte durante dois minutos o peso de uma pessoa de 70 kg parada sobre uma unidade apoiada sobre outras duas unidades (2 cm em cada extremidade).

6. DOSAGEM E QUANTIDADES DE MATERIAIS

A quantidade total da terra necessária depende das suas características e da forma de seu preparo: se são apenas peneirados, com peneira de malha de 5 mm de lado, e se é feito o destorroamento prévio, seguido do peneiramento.

Dada a grande diversidade de opiniões de diferentes autores, podem-se considerar as margens de consumo apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Cálculo de materiais para produzir adobes com palha picada

Consumo de terra (sem peneirar)	Relação fibra:terra (em volume)	Consumo de água
1,3 a 1,5 m ³ por m ³ de parede construída	1:6 ⁽¹⁾ 1:10 ⁽²⁾ 1:1,5; 1:4; 1:6 ⁽³⁾	30% a 35% do volume seco da terra

(1) Habiterra (1995); (2) Carazas Aedo (2002); (3) Proyecto Hornero (2007)

A massa específica do adobe pode variar entre 1200 kg/m³ e 1700 kg/m³ (Habiterra, 1995; www.terra.org).

Referências bibliográficas

- BARRIOS, G.; ALVAREZ, L.; ARCOS, H.; MARCHANT, E.; ROSSI, D. (1987). Comportamiento de los suelos para la confección de adobes. *Informes de la construcción* N° 377, vol. 37. Madrid: Instituto Eduardo Torroja.
- CARAZAS AEDO, Wilfredo (2002). *Adobe. Guía de construcción parasísmica*. Grenoble: CRATerre-EAG-Misereor.
- FATHY, Hassan (1970). *Construire avec le peuple*. Paris: Ed.Martineau.
- GONZÁLEZ CLAVERÁN, Jorge (2002). Visión histórica de la tecnología de la construcción de tierra. In: *La tierra cruda en la construcción del hábitat*. Memoria del 1º Seminario – Exposición Consorcio Terra Cono Sur. Tucumán: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán. p. 27-32.
- GRAHAM MCHENRY, Paul (1996). *Adobe. Cómo construir fácilmente*. México: Ed.Trillas.
- GUERRERO, Luis (coord) (2007). *Patrimonio construido con tierra*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.
- HB 195 (2002). *The Australian earth building handbook*. Sydney: Standards Australia and Walker.
- HOUBEN, H.; GUILLAUD, H. (1984). *Earth construction primer*. Brussels: CRATerre/UNCHS-PCD-CRA-AGCD.
- GUILLAUD, H.; HOUBEN, H. (1989). *Traité de construction en terre*. Marseille: Ed. Parenthèses.
- HABITERRA (1995). *Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento*. La Paz: HABITERRA/CYTED.
- NEVES, Celia (2004). *Proyecto 6 PROTERRA/CYTED. Seminario Internacional de Construcción con Tierra*. San Salvador: PROTERRA/HABYTED/CYTED.

PNUD-UNESCO (1984). Adobe en América y alrededor del mundo. Historia, conservación y uso contemporáneo. *Exposición itinerante*. En colaboración con ICCROM, Earthscan, Ford Foundation. Lima, Perú: ICOMOS.

PROYECTO HORNERO (2007). *Prototipo global de experimentación construcción con materiales naturales*. Montevideo: Facultad de Arquitectura. Universidad de la República.

ROTONDARO, Rodolfo (2008). Arquitectura de tierra contemporánea: tendencias y desafíos. *Revista Apuntes* Vol. 20 N° 2. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. p. 342-353.

ROTONDARO, Rodolfo; CANELADA, A. A.; PEÑALOZA, C. (1998). *Estación Científica Pozuelos, ECIP: diseño y transferencia tecnológica con participación local*. Revista Cuadernos 11:93-105. San Salvador de Jujuy, Argentina: Fac. Hum. y Cs. Sociales, Universidad Nacional de Jujuy.

ROTONDARO, Rodolfo; PERALTA, S.; FPS-Fundación Pilotos Solidarios (2009). *Sistema domiciliario parayacu*. Buenos Aires: Impr. Peroggi.

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (2000). Norma técnica de edificación NTE 080. Adobe. Lima: SENCICO.

STEELE, James (1988). *Hassan Fathy*. London: Academy Editions.

VARGAS NEUMANN, Julio et al (1984). *Resistencia sísmica de la mampostería de adobe*. Lima: USAID/PUCP, DI-84-01.

VILDOSO, Abelardo; MONZÓN, Flor de María; HAYS, Alain; MATUK, Silvia; VITOUX, François (1984). *Seguir construyendo con tierra*. Lima: CRATerre.

VIÑUALES, Graciela M. (1987). Diseño, historia y tecnología de las arquitecturas de tierra cruda. *Summa Colección Temática*, N° 19. Buenos Aires. p. 9-19.

VIÑUALES, Graciela M.; NEVES, Célia; FLORES, Mário O.; RÍOS, Silvio (1994). *Arquitecturas de tierra en iberoamérica*. Buenos Aires: HABITERRA/CYTED.

<http://www.terra.org/html/s/rehabilitar/bioconstruccion/materiales/adobe.html> Consulta em: 20/11/09.

TASSIN, O. *La arquitectura de tierra: una herencia humana*. Disponível em: http://www.rinconesdelatlantico.com/num2/la_arquitectura_de_tierra.html. Consulta em: 20/11/2010

A abóbada de terra é um sistema construtivo transmitido de geração em geração que recupera a técnica tradicional desenvolvida principalmente na região central do México. Ela tem a grande vantagem sobre outros sistemas de cobertura por ser de baixo custo, utilizar blocos de terra comprimida (BTC) ou adobe, e não requerer nenhum molde ou estrutura de concreto para sua execução e sustentação.

A abóbada mexicana de terra é uma técnica construtiva vigente que representa uma alternativa de cobertura econômica, de baixo impacto ambiental e funcional nos contextos urbano e rural.

Trata-se de uma técnica de origem espontânea, fruto do saber popular no centro da república mexicana, que também é denominada *bóveda del bajío* (correspondente aos estados de Querétaro, Guanajuato e Jalisco). Regionalmente pode ser denominada como *bóveda de cuña*, pois ela é, em geral, construída com tijolos de barro cozido com dimensões de 5 cm x 10 cm x 20 cm, os quais são conhecidos como "cunhas". Ramírez Ponce (2001) denomina o sistema construtivo como *cubierta de ladrillo recargado* por ser este tipo de carregamento sua principal característica.

Em México, essa técnica construtiva desenvolveu-se principalmente por ser eficiente, embora sejam escassos os estudos relativos à sua origem e evolução. Estas abóbadas são encontradas em edifícios que datam do final do século XIX, embora não esteja claro se a técnica é de origem vernácula, se provém da herança colonial, ou é derivada da adaptação dos conhecimentos construtivos em voga na Europa na época (Aguirre; Guerrero, sd).

No entanto, é indiscutível que ela deriva da lógica construtiva das *abóbadas núbias* ou *núbicas* de adobe, que foram usuais no Egito por muitos séculos (Fathy, 1975). Há também relação com as abóbadas chamadas *bóvedas tabicadas* que eram executadas em França, Portugal, Catalunha e Estremadura, pelo menos desde o século XVII (Marín, 2002).

Graças ao método simples e repetitivo de execução a partir de uma série de arcos que partem dos cantos e que suportam seu próprio peso, a abóbada mexicana é um espetacular sistema construtivo que apresenta inúmeras vantagens e permite significativos ganhos em tempo de execução e custo de produção, com o mínimo consumo de energia (Aguirre, Guerrero, sd).

Em termos estruturais, não requer molde ou escoramento, o que representa uma alternativa real com uma solução construtiva cada vez mais difícil de encontrar na produção de qualquer elemento da edificação atual.

Seu uso, como em toda a tradição, decorre da facilidade de aplicação da técnica, que "se adapta às necessidades locais, às condições geográficas e aos materiais disponíveis" (Guerrero, 1994). Mas o que realmente garante seu uso e difusão é o baixo custo. Não se pode esquecer que se trata de uma "invenção popular (...), não reconhecida pelo meio acadêmico e, portanto, não ensinada na maioria das escolas" (Ramírez Ponce, 2004).

A revisão histórica do sistema de abóbadas não só ajuda a compreender a sua potencial possibilidade estrutural, como também permite traçar a continuidade de uma "experiência de séculos de evolução construtiva materializada em um interessante sistema construtivo com possibilidade de aplicação no presente e futuro" (Aguirre; Guerrero, sd).

¹ Tradução de Célia Neves

O uso da terra para a construção das abóbadas mexicana (figura 1) motiva a interpretação desde sua origem e a sua evolução, que integra o uso de material ecológico y natural como um sistema para cobertura.



Figura 1 – Exemplo de abóbada de adobe, em execução

O uso do BTC para a construção de abóbadas resulta uma excelente alternativa, pois os blocos se adaptam ao sistema construtivo autoportante, além de constituir um considerável ganho energético, uma vez que não requer materiais combustíveis na sua produção.

É indispensável considerar as abóbadas de BTC como resposta à necessidade de cobrir espaços em todo tipo de imóvel, com qualidades térmicas favoráveis e baixo custo.

As condições elementares para a construção de abóbadas com terra são:

- Empregar de BTC com dimensões 5 cm x 10 cm x 20 cm.
- As fiadas de bloco se suportam, uma apoiada sobre a outra.
- Formar sempre arcos.
- Usar o BTC seco para obter melhor aderência.

1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TÉCNICA CONSTRUTIVA

Como qualquer outra técnica construtiva, as abóbadas mexicanas apresentam vantagens e desvantagens. Dentre elas, são apresentadas a seguir, as principais vantagens:

- São fáceis de construir porque se trata de uma técnica simples e repetitiva uma vez que se conhece o sistema e seu funcionamento. A principal característica desta técnica corresponde à colocação das fiadas do BTC em forma de arcos autoportantes que repartem as cargas homogeneamente.
- É mais econômica porque evita o uso de moldes e escoramentos.
- Apoia a conservação do meio ambiente, devido a que os materiais naturais como o BTC não implicam gasto energético e não emitem resíduos contaminantes, como ocorre com outros materiais comumente empregados na construção.

Dentre as desvantagens das abóbadas mexicanas, podem ser citadas:

- Se empregada como entrepiso, é necessário levantar paredes laterais e preencher com material leve até cobrir a abóbada para obter o piso horizontal.
- Em regiões de clima úmido é necessário aplicar impermeabilizante especial.

2. MATERIAIS E FERRAMENTAS PARA A EXECUÇÃO DA ABÓBADA

Os materiais e ferramentas necessários para a execução da abóbada mexicana podem variar, em função dos costumes regionais e de sua disponibilidade no mercado. A seguir, são listados os principais deles.

2.1 BTC (bloco de terra comprimida)

Como a espessura da abóbada é de 10 cm, devem ser produzidos BTC com dimensões de 5 cm x 10 cm x 20 cm.

2.2 Peneira

A terra deve ser destorroada e peneirada para a preparação da argamassa de assentamento. Para obter a tera com textura adequada, usar a peneira com abertura de malha de 0,5 mm.

2.3 Escova de aço

Durante a execução da abóbada é necessário que se faça uma limpeza periódica se sua superfície, para remover eventuais excessos de argamassa de assentamento. Para esta finalidade é recomendado o uso de uma escova de aço, como as utilizadas para eliminar a corrosão e a pintura de superfícies em geral.

2.4 Colher de pedreiro

Para o assentamento dos BTC, assim como para quebrar partes deles para os encaixes, a ferramenta básica, utilizada pelo abobadeiro ou o pedreiro, é a colher de pedreiro.

2.5 Argamassa ou mistura

Um receita básica para argamassa de assentamento é aquela preparada com $\frac{1}{4}$ do saco (50 kg) de cimento, 2 sacos (25 kg) de cal e 8 baldes de 19 litros de areia peneirada. Seu rendimento é de 4 m². A quantidade de cimento pode variar dependendo da qualidade da areia, já que a mistura deve ter uma consistência fluida e viscosa (figura 2).

2.6 Andaime

O andaime é a estrutura de madeira que se coloca dentro da área a cobrir e sobre a qual trabalha o pedreiro ou o abobadeiro (figura 3). Sua altura depende da estatura do pedreiro e da altura do fechamento da abóbada que é o ponto mais alto a alcançar. Deve ter a estabilidade necessária para garantir a segurança dos operários, assim como superfície suficiente a movimentação dos mesmos e estoque dos BTC a usar e o recipiente para a argamassa.



Figura 2 – Consistência da argamassa de assentamento



Figura 3 – Disposição e altura do andaime

3. PROCESSO CONSTRUTIVO DA ABÓBADA MEXICANA

Antes de começar com a descrição do processo para a construção da abóbada, é importante mencionar que os eixos que permitem dar início à abóbada são as diretrizes, também conhecidas como vigas de apoio ou *trabes*, e as geratrizes, formadas pelas fiadas do BTC, que dão o início e a continuidade da abóbada. Dependendo do desenho das diretrizes, as fiadas sobem, baixam ou mantêm-se constantes. As abóbadas iniciam sobre as vigas de apoio (diretrizes) como, por exemplo, as vigas de madeira mostradas na figura 4.



Figura 4 – Detalhes de um exemplo das vigas de início de uma abóbada

Se for tomado como exemplo uma superfície quadrada de 4 m x 4 m, onde as diretrizes são linhas horizontais, os passos para a construção da abóbada são os 13 descritos a seguir.

1. Marca-se a metade do vão ou área a cobrir para o traçado da abóbada.
2. Unem-se as interseções formando quatro triângulos em forma de cones, também conhecidos como *pechinas* (figura 5).

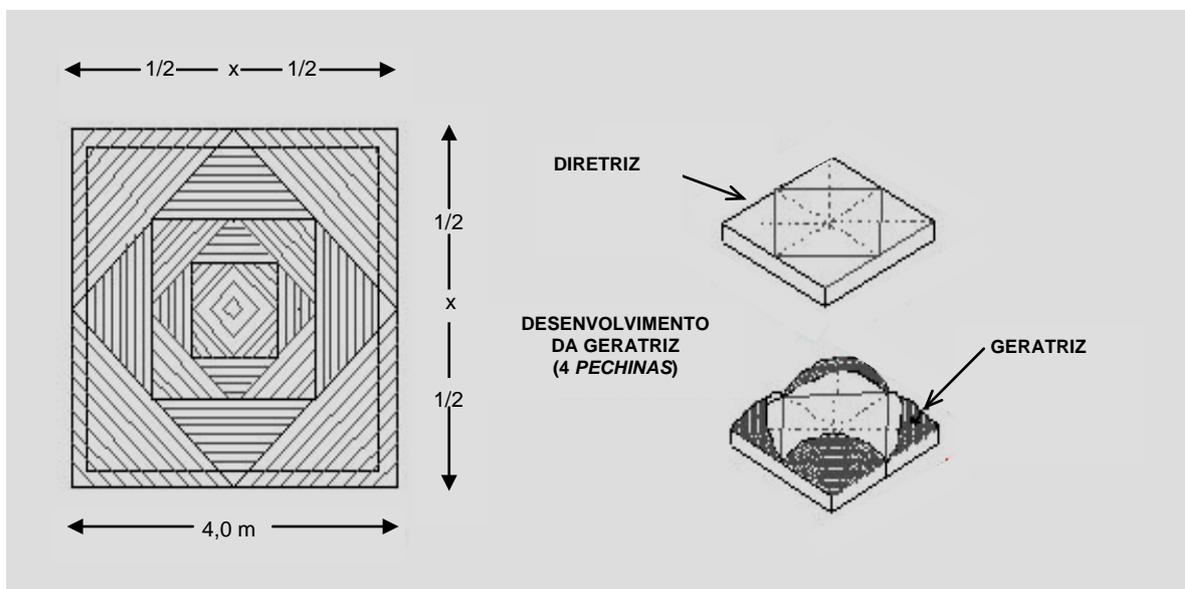


Figura 5 - Representação das diretrizes e geratrizes

3. Para o arranque da abóbada, umedecer a área onde se começa a abóbada e fazer uma base de sustentação utilizando a argamassa com a qual se une os BTC (figura 6).
4. A primeira fiada inicia colocando o BTC em uma esquina do espaço a cobrir, cortando-o pela metade e aparando suas arestas, de modo que fique alinhado a ambas diretrizes e com a inclinação de 45° para suportar os carregamentos como esforço de compressão, como mostrado na figura 7.



Figura 6 - Umedecimento da área de contato do BTC



Figura 7 - Colocação da primeira metade de BTC na esquina

5. Na segunda fiada, o BTC apoia-se sobre a primeira fiada com a mesma inclinação, formando um arco (figura 8).
6. As terceira e quarta fiadas apoiam-se com a mesma inclinação sobre a segunda fiada e são compostas por 3 BTC, tendo que o ajuste é feito com o componente do centro, sempre formando o arco (figura 9). A área de contato do BTC com a fiada anterior é de 10 cm, mostrando sua face de 5 cm x 20 cm na parte inferior da abóbada.



Figura 8 - Assentamento da segunda fiada de BTC



Figura 9 - Assentamento da terceira fiada, ajustada com o componente do centro

7. Da quinta fiada em diante varia-se a quantidade de BTC porque depende do tamanho do BTC que se apoia na diretriz. Recordar que os BTCs das extremidades são cortados em uma das arestas em forma horizontal e apoiados com a mesma inclinação da fiada anterior, cuja fiada é sempre ajustada ao centro, ou seja, as extremidades das fiadas são formadas por BTC inteiros (figura 10).



Figura 10 - Assentamento a partir da quinta fiada de BTC

8. Repete-se a operação para a execução das fiadas seguintes até chegar à metade da diretriz, colocando os BTC desde as extremidades do arco e fazendo o ajuste no centro, até completar a primeira *pechina* (meio cone). Este procedimento é realizado nos quatro cantos da abóbada, como mostrado na figura 11.



Figura 11 – Finalização de *pechinas* e assentamento de BTC para iniciar o fechamento da abóbada

9. Durante o processo de construção, vão-se umedecendo as fiadas e fazendo a limpeza da face interna da abóbada com a escova de aço, deixando limpos o BTC e a junta de assentamento, cujo acabamento é denominado “construir terminado” (figura 12).



Figura 12 – Processo de limpeza das juntas de assentamento, superfície e arestas da abóbada

10. Terminados os quatro cantos da abóbada (as *pechinas*), coloca-se uma fiada em cada uma, entrelaçando-as até obter uma forma de espiral. A cada fiada, pouco a pouco, vai-se fechando a abóbada (figura 13).



Figura 13 – Fechamento em forma de espiral e interior da abóbada concluída

11. Terminada a abóbada deixa-se o acabamento comum se for para entrepiso. Quando se tratar de cobertura, limpar a superfície externa perfeitamente e aplicar a primeira demão de uma leitada de cal para tapar os poros; no dia seguinte, aplica-se cal com areia fina peneirada; no terceiro dia, aplica-se a mistura de cal, areia e cerca de 3% de cimento (figura 14).



Figura 14 – Abóbada com leitada de cal e areia

12. Em seguida, procede-se a colocação de uma tela tipo galinheiro ou tela de malha eletrossoldada e aplica-se uma camada de argamassa com cimento, cal e areia nas proporções de 1:5:15 em volume, deixando a superfície lisa para receber o impermeabilizante.
13. A impermeabilização se realiza com uma mistura de cal e macerado de cacto. Posteriormente, aplica-se a camada de impermeabilizante convencional (figura 15).

Nota: Recomenda-se que, em temporadas de chuva, se reforce a impermeabilização das abóbadas aplicando a leitada com uma mistura de cimento, cal e areia para proteger a abóbada de BTC da umidade e acelerar o processo de secagem durante sua construção.



Figura 15 – Tratamento do macerado de cacto para a impermeabilização

4. EXEMPLO DE DOSAGEM E QUANTIDADES UTILIZADAS EM UMA OBRA

Para o processo construtivo de uma vivenda localizada na colônia Santo Domingo na delegação Coyoacán, na Cidade de México, foram utilizados 4.500 adobes de 5 cm x 10 cm x 20 cm estabilizados com 8% de cal. Cada adobe tinha 1.000 cm³ e pesava 1,5 kg. Foram usados 90 adobes para construir um metro quadrado (considerando 2,5% de desperdício). A argamassa de ligação dos adobes correspondeu à mesma mistura de terra e cal com que se fabricou o adobe, porém em estado plástico e com a terra peneirada na malha de 5 mm. A junta entre cada adobe foi de 3 mm a 4 mm. Conforme se construía a abóbada, limpava-se a face interna com a escova de aço e, ao final, aplicou-se um macerado de cacto na face externa. Seu peso foi de 270 kg para 1 m² de área construída.

Para quantificar o consumo de adobe por metro quadrado, considerou-se a forma côncava da superfície incrementando 30% da área a cobrir, de modo que 1 m² em planta equivale a 1,30 m², o que requer aproximadamente 90 adobes/m².

Os adobes foram avaliados no Instituto Politécnico Nacional (na Cidade do México) e apresentaram valores aproximados de 3,1 MPa (31 kgf/cm²) para resistência à compressão e 2 kgf para o esforço cortante. Esta última característica facilita o manejo dos adobes na construção da abóbada, pois eles podem ser manualmente cortados utilizando-se a colher de pedreiro.

Para o processo de fabricação dos adobes contou-se com a cooperação do Eng. Salvador Lee Godínez, membro da *Asociación Nacional de Fabricantes de Cal* (ANFACAL), que realizou ensaios em adobes com diferentes porcentagens de cal, para determinar a melhor porcentagem de cal para a fabricação dos adobes e para a argamassa, de modo a evitar desprendimento das partículas de terra, já que a cal ajuda a aglomeração dos materiais. Na figura 16 observam-se alguns aspectos dos testes realizados nesta construção e, na figura 17, duas imagens da Casa Santo Domingo concluída.



Figura 16 – Teste de aderência e amostras de diferentes tipos de abóbadas



Figura 17 – Abóbadas da Casa Santo Domingo concluídas

Referências bibliográficas

AGUIRRE, Ramón; GUERRERO, Luis (sd). Bóvedas en resistencia. In: *Vitrubio: creatividad y ciencia*, n.2. Tampico: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad Autónoma de Tamaulipas, (en prensa).

FATHY, Hassan (1975). *Arquitectura para los pobres*. México: Textos Extemporáneos.

GUERRERO, Luis (1994). *Arquitectura de tierra*. México: UAM-Azcapotzalco.

LORENZO GÁLLIDO, Pedro (Coord.) (2005). *Un techo para vivir*. Barcelona: Ediciones UPC.

MARÍN P., Ana María (2002). Más con menos: elementos gráficos para un estudio de las variaciones de las bóvedas aligeradas de fábrica (tabicadas) S. XVIII-XX. In: *IX Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica*. Re-visión: Enfoques en docencia e investigación. Disponible en: <http://www.udc.es/dep/rta/WebEGA/PDFs/Grupo3/MAR12.pdf>

RAMÍREZ PONCE, Alfonso (2001). *Habitar una quimera*. México: UNAM.

RAMÍREZ PONCE, Alfonso (2004). *Arquitectura propia. cubierta de ladrillo “recargado”*. Disponible en: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.047/593>

Literatura recomendada

AGUIRE, Ramón (2010). *Bóvedas mexicanas*. Disponible en: www.arcillayarquitectura.com

ARENAS DE PABLO, Juan J. (1998). *Las grandes bóvedas hispanas*. Madrid: Ministerio de Fomento.

MOYA BLANCO, Luis (2000). *Bóvedas tabicadas*. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.

RAMÍREZ PONCE, Alfonso (2002). Bóvedas de suspiro y barro. *Revista Bitácora*. México: Facultad de Arquitectura de la UNAM, n. 7, mayo de 2002, pp. 48-51.

SENOSIAIN AGUILAR, Javier (1998). *Bio Arquitectura. En busca de un espacio*. México: Editorial Limusa.

TOCA, Antonio (ed.) (1990). *Nueva arquitectura en América Latina: presente y futuro*. México: Editorial Gustavo Gili.

TONDA, Juan Antonio (2000). *Candela Félix*. México: CONACULTA.

TORROJA MIRET, Eduardo (1991). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid: Csic Publicaciones.

Bloco de terra comprimida, geralmente denominado BTC, trata do componente da alvenaria, fabricado com terra (solo) adensada em molde por compactação ou prensagem, seguido do desmolde imediato. Para melhorar as características físico-mecânicas do BTC como resistência à compressão e à ação abrasiva de ventos, impermeabilização, durabilidade, pode-se utilizar o processo de estabilização granulométrica, a qual consiste na mistura de proporções de diferentes terras; e/ou a estabilização química, a qual se adiciona um aditivo químico à terra, geralmente aglomerante tipo cimento ou cal.

É possível fabricar BTC de diversos formatos e dimensões, sendo usuais o BTC maciço e o BTC com furos, ambos com e sem encaixes (figura 1).

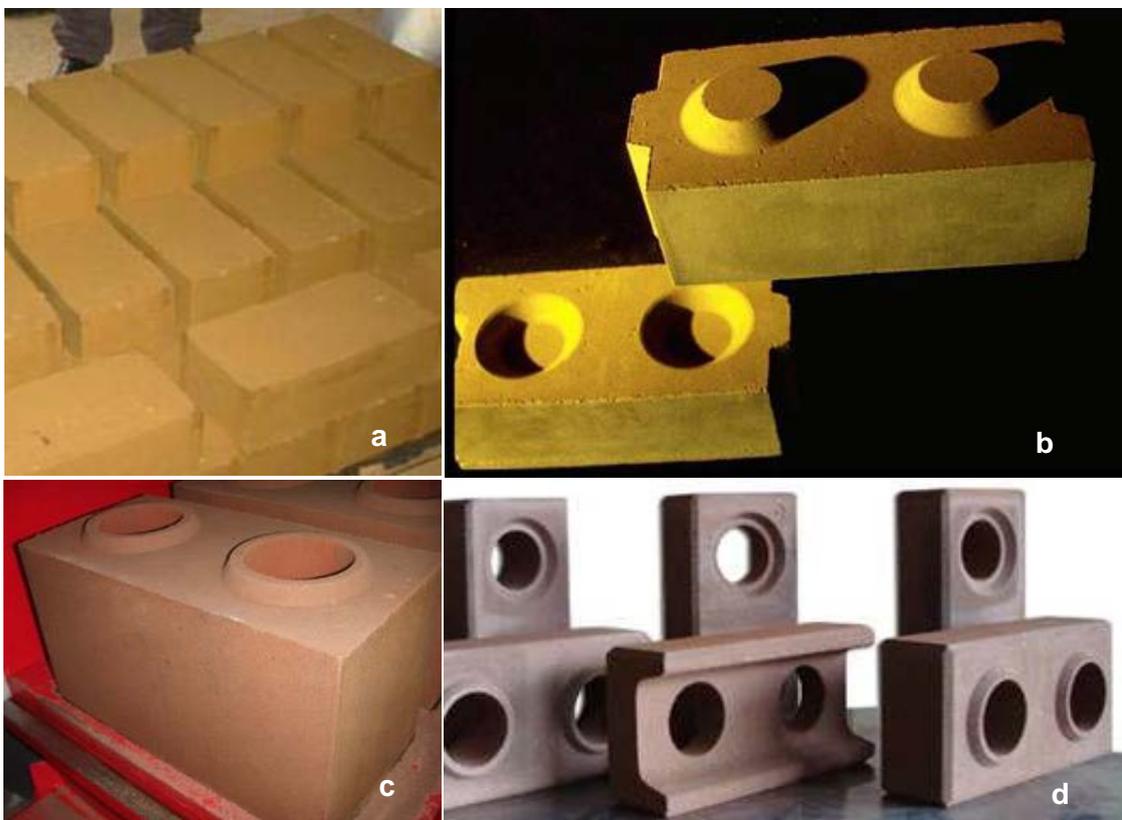


Figura 1 – Alguns exemplos da variedade de BTC: a) Maciço de superfície lisa; b) Maciço com encaixes – “Bloco Mattone” (Mattone, 2007); c) Com furos; d) Com furos e encaixe

O BTC pode ser usado em qualquer tipo de construção substituindo os blocos cerâmicos convencionais, seja em alvenaria simples de vedação, ou alvenaria estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas no projeto. As paredes tanto podem ser aparentes (quando protegidas da chuva), como revestidas, podendo receber revestimento em argamassa, diversos tipos de pintura ou revestimento cerâmico. Além disso, apresenta outras vantagens, tais como:

- Fácil de fabricar.
- Mantém a regularidade das dimensões.
- Possibilidade de controle eficiente da resistência à compressão.

1. MATERIAIS

A bibliografia recomenda o uso de terra com porcentagem de areia superior a 50% para a fabricação de BTC. A areia é responsável pela estruturação (resistência) do bloco, enquanto que a argila responde pela aglutinação ou coesão das partículas de terra. Entretanto a argila é também responsável pelo efeito de retração da terra durante a secagem e a ocorrência de fissuras nos blocos. Por isso, às vezes é necessário adequar a terra disponível, ou, como se diz, estabilizar a terra, para a produção do BTC. A estabilização também se faz no sentido de melhorar a resistência ou a impermeabilidade do bloco (Neves et al, 2010).

A primeira opção é realizar a estabilização granular da terra através da adição de outros tipos de solo ou mesmo areia para melhorar sua granulometria e plasticidade.

Para diminuir a sensibilidade à água, altas taxas de contração e expansão, e a baixa resistência à abrasão do BTC deve-se realizar a estabilização química com adição de aglomerantes como cimento, cal, betume, entre outros. No entanto, a escolha de tal agente estabilizador irá depender do tipo de terra e das condições técnico-financeiras para adquirir o aditivo químico.

Para fabricação de BTC com adição de cimento, recomenda-se utilizar a terra caracterizada como solo arenoso, sendo ideal a seleção de terras com as seguintes características:

- 100% passando na peneira 4,8 mm (Uniformização, 1985);
- 50% a 95% de areia desuniforme (ou granulometria contínua, composta de areia grossa, média e fina), pois os grãos maiores são preenchidos por partículas menores do próprio solo;
- LL (limite de liquidez) $\leq 45\%$ e IP (índice de plasticidade) $\leq 18\%$ (Uniformização, 1985), pois solos com índices de plasticidade e limites de liquidez elevados são mais difíceis estabilizar. Contudo, a plasticidade é necessária para transmitir aos blocos produzidos a coesão suficiente para que possam ser manuseados (ABCP, 1985).

2. FABRICAÇÃO DO BTC

Para exemplificar, relatam-se as etapas do processo de fabricação do BTC com cimento, que é semelhante ao processo de fabricação com adição de outros aglomerantes.

2.1 Preparo da terra

Consiste em destorroar e peneirar, se necessário, a terra seca. Recomenda-se usar peneira com abertura de malha da ordem de 5 mm, ou um destorroador mecânico, como mostrado na figura 2.

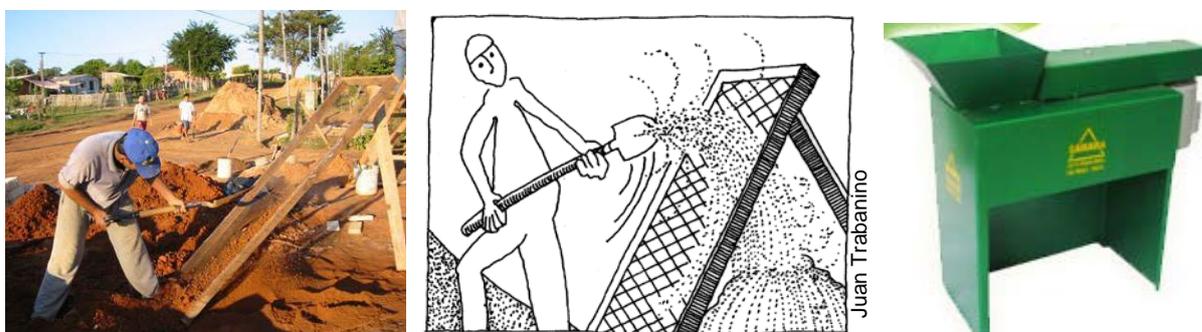


Figura 2 – Peneiramento manual da terra e um modelo de destorroador mecânico

2.2 Preparo da mistura (com cimento)

Adiciona-se o cimento ao solo preparado, na proporção previamente estabelecida. Esta proporção precisa ser dosada, de modo a obter BTC com a resistência à compressão esperada, com o mínimo uso de cimento.

Misturam-se os materiais secos até obter coloração uniforme; adiciona-se água aos poucos até que atinja a umidade adequada para sua prensagem (figura 3).



Figura 3 – Preparo da mistura de solo e cimento

A umidade adequada é determinada com razoável precisão pelo seguinte processo (Neves et al, 2010):

- Colocar uma porção da mistura na palma da mão e comprimi-la com os dedos.
- Ao abrir a mão, o bolo formado deve guardar o sinal dos dedos.
- Ao deixar cair o bolo da altura de 1,0 m, ele deve se espatifar.

Caso não se consiga formar o bolo com a marca dos dedos na mão, a umidade é insuficiente; caso o bolo, ao cair, mantenha-se coeso, a umidade é excessiva.

2.3 Moldagem do BTC

Coloca-se a mistura no equipamento e procede-se à prensagem e à extração do BTC, acomodando-o em uma superfície plana e lisa, em área protegida do sol, do vento e da chuva, conforme mostram as figuras 4 e 5.

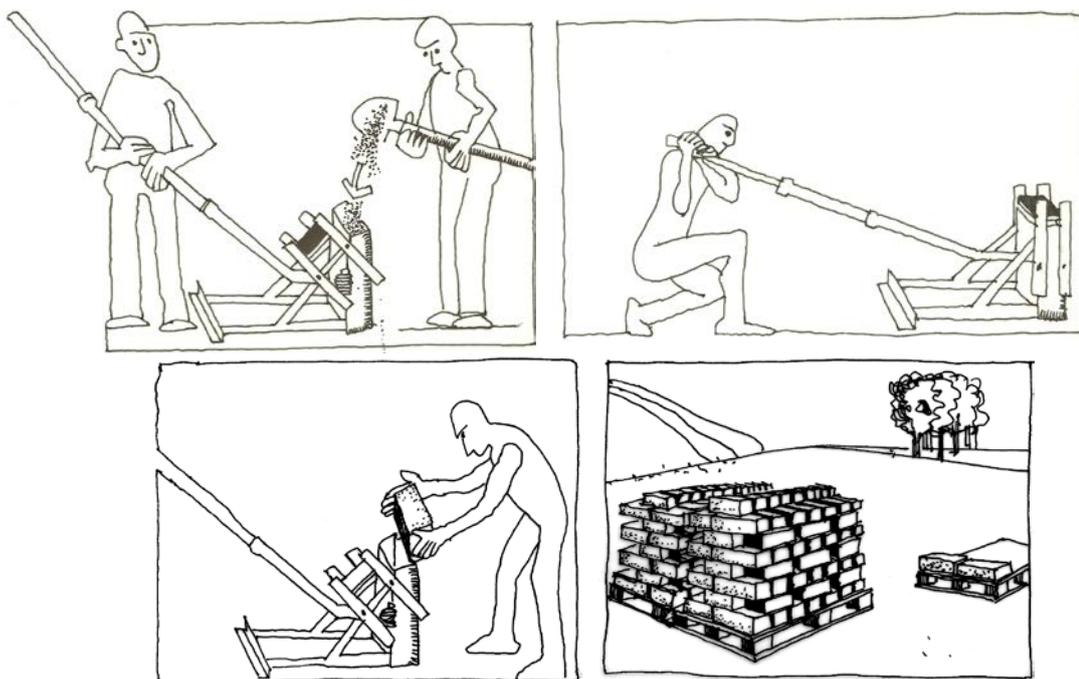


Figura 4 – Ilustração das etapas de moldagem e armazenamento de BTC.
(Desenhos de Juan Trabanino)



Figura 5 – Moldagem de BTC

2.4 Cura e armazenamento

Após 6 horas de moldados e durante os 7 primeiros dias, os BTCs devem ser mantidos úmidos por meio de molhagens sucessivas, para continuação do processo de hidratação do cimento, que irá conferir maior resistência ao material. Esta etapa constitui o processo de cura.

Os BTCs com cimento podem ser acomodados em pilhas de até 1,5 metro de altura e cobertos com lona plástica para manter a umidade (figura 6).



Figura 6 – Armazenamento dos BTC

3. EXECUÇÃO DA ALVENARIA

O processo construtivo é semelhante ao da alvenaria convencional (bloco cerâmico ou bloco de cimento). A alvenaria é composta basicamente pelo componente (bloco) e o elemento de ligação (argamassa de assentamento) que formam as juntas horizontais e verticais (figura 7).



Figura 7 – Elevação de paredes com BTCs

Os procedimentos mais usuais para a execução da alvenaria de BTC são os seguintes:

- Assentamento do BTC com argamassa constituída de cimento, areia, cal e terra – BTC maciço com superfície plana, BTC com furos;
- Assentamento de BTC com argamassa constituída de cimento, areia e cal – BTC maciço com superfície plana, BTC com furos;
- Assentamento do BTC com uma argamassa fluída de cimento e areia – bloco Mattone, BTC com furos; procede-se a limpeza da superfície da parede ao final do assentamento;
- Assentamento do BTC com aplicação com bisnaga ao redor dos furos de filete de argamassa fluída de cimento e areia ou de cimento e terra ou de cimento, cola PVA e terra ou areia;
- Elevação de parede, sem argamassa de assentamento, somente encaixados (Assis; Chaud, 2004).

Na alvenaria de BTC com furos, a cada dois metros de comprimento da parede, se coloca uma barra de aço na vertical e enche o furo com argamassa de cimento e areia ou micro-concreto; os tubos para as instalações hidráulica e elétrica passam pelos próprios furos (figura 8).

A alvenaria de BTC pode receber qualquer tipo de revestimento tido como convencional: pintura, cerâmico, etc. Caso não vá receber revestimento, é necessária a limpeza das juntas e superfícies, à medida em que a parede vai subindo, como exemplificado na figura 9.



Figura 8 – Alvenaria de BTC com furos e junta de argamassa, notando-se as barras de aço verticais, para reforço da parede



Figura 9 – Alvenaria de bloco Mattone com argamassa fluida e limpeza da superfície

Independente do tipo de BTC e processo de execução da alvenaria, recomenda-se a execução da camada de concreto entre a fundação e a parede, para dificultar a subida de água por capilaridade.

4. EQUIPAMENTOS PARA FABRICAÇÃO DE BTC

O BTC, em geral, é moldado por prensagem em equipamentos com moldes cujo formato possibilita produzir componentes de formas e dimensões variadas. A maquinaria disponível para sua fabricação é diversa e pode atender às necessidades de produção para edificações de diferentes portes. Pode-se utilizar desde um simples equipamento de prensagem, até complexas unidades de produção industrial, que englobam pulverizador de solo, peneirador, misturador, dosador, prensa e outros acessórios. O dimensionamento da maquinaria está relacionado com a dimensão, produtividade e custo do empreendimento.

As prensas podem ser operadas manualmente (figura 10) ou com auxílio de motor (figura 11), que aciona um mecanismo, mecânico ou hidráulico, de prensagem. A tabela 1 apresenta a produtividade e energia de compactação de algumas prensas.

Tabela 1 – Produtividade das prensas para componentes de solo estabilizado (Ferraz Jr., 1995)

Tipo de prensa		Energia de compactação (MPa)	Taxa de compactação do solo ¹	Produção (BTC/dia)
Manual	Mecânica	1,5 – 2,0	1,38	300 a 1.200
	Hidráulica	2,0 – 10,0	1,65	2.000 a 2.800
Motorizada	Mecânica	4,0 – 24,0	> 1,65	1.600 a 12.000
	Hidráulica	>20,0	> 2,00	2.000 a 4.000

¹ Corresponde à relação entre os volumes da mistura em estado solto e em estado compactado, sendo proporcional à energia de compactação

As prensas manuais geralmente requerem baixo capital para sua aquisição e manutenção, além de serem leves, pequenas, fáceis de usar e sem custos relativos ao consumo de energia. A baixa taxa de compactação, principalmente da prensa manual mecânica, exige que a seleção e o preparo da terra sejam muito bem cuidados, para que os BTCs apresentem pouca dispersão na resistência à compressão semelhante entre eles.

As prensas que possuem pistão compactador em apenas um sentido devem ser utilizadas basicamente para a produção de BTC com altura máxima da ordem de 7 cm. Acima deste valor e até a altura de 20 cm, são necessárias prensas com duplo sentido de compactação. Esta limitação não se deve à energia de compactação do equipamento, mas à propriedade de adensamento do solo.

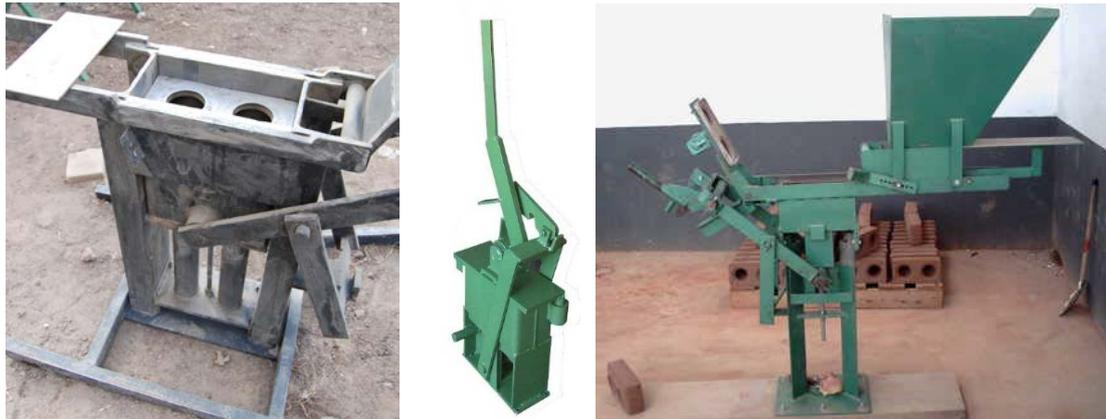


Figura 10 – Prensa Mattone (à esquerda) e mais dois modelos de prensas manuais



Figura 11 – Dois modelos de prensas motorizadas

5. PARÂMETROS DE CONTROLE

Para qualificar o BTC com cimento, as normas brasileiras estabelecem a verificação das suas características em amostras de pelo menos treze unidades, retiradas aleatoriamente em lotes de 10.000 a 25.000 tijolos. Os critérios estabelecidos para o controle de qualidade do BTC de cimento são apresentados na tabela 2, de acordo com a norma NBR 8491 (ABNT, 1984). Estes limites podem ser adotados como referências para avaliação de BTC com outros aglomerantes, independente do seu tipo.

Tabela 2 – Limites especificados para BTC com cimento.

Característica	N ^o exemplares	Exigência NBR 8491/1984	
Variação dimensional	-	± 3 mm	
Resistência à compressão	10	valor médio	≥ 2,0 MPa
		valor individual	≥ 1,7 MPa
Absorção de água	3	valor médio	≤ 20%
		valor individual	≤ 22%

6. DOSAGEM E CONSUMO DE MATERIAIS

Para determinar o teor adequado de cimento a ser adicionado à terra, deve-se realizar um estudo de dosagem. Recomenda-se fabricar, no mínimo, 20 BTC com três diferentes composições de cimento e terra (em volume) que podem ter as proporções, por exemplo, de 1:7; 1:10 e 1:13.

Em laboratório, realizar o ensaio de resistência à compressão (10 unidades) e de absorção de água (3 unidades) e identificar a proporção que atende aos parâmetros de controle indicados na tabela 2, através da interpolação dos resultados, como mostrado na figura 12.

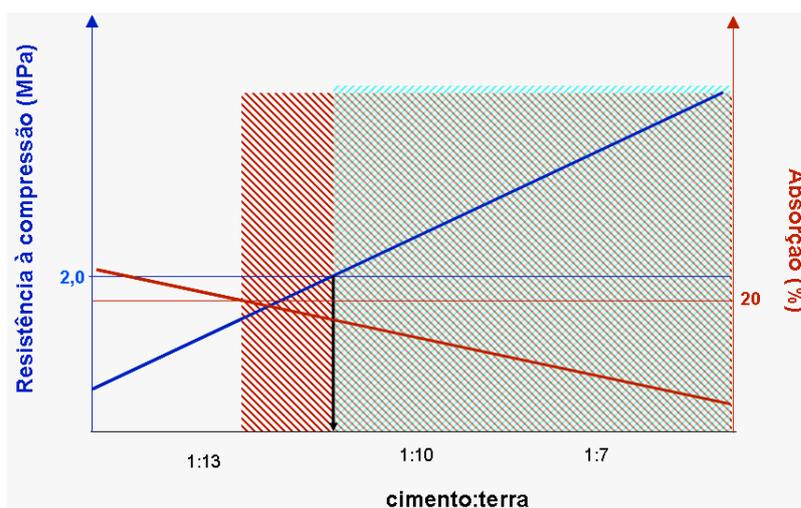


Figura 12 – Exemplo de interpolação de resultados para definir a dosagem do BTC

O teor de cimento a ser adotado deve atender aos critérios de resistência à compressão e de absorção de água.

A tabela 3 apresenta os dados para o cálculo aproximado do consumo de materiais por m³ de solo-cimento prensado, considerando-se os seguintes parâmetros para o solo e o cimento:

- Massa unitária do cimento: 1420 kg/m³
- Massa unitária do solo solto: 1100 kg/m³
- Massa específica seca máxima do solo-cimento: 1800 kg/m³
- Relação entre o volume de solo solto e de solo prensado: 1,6

Para um cálculo mais preciso, estes parâmetros devem ser determinados em laboratório..

Tabela 3 – Consumo de material por m³ de solo-cimento prensado

Proporção de material em volume	1:10	1:12	1:15	1:18
Consumo de cimento (kg)	206	175	143	120
Consumo de terra (m ³)	1,6	1,6	1,6	1,6
Proporção de cimento em massa (%)	11	10	8	7
Proporção de cimento em volume (%)	10	8	7	6

Para quantificar o consumo de materiais por unidade do componente, considerar as dimensões e o formato do BTC, ou seja, seu volume.

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (1985). *Fabricação de tijolos de solo-cimento com a utilização de prensas manuais*. São Paulo: ABCP. 4p. Boletim Técnico.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1984). *NBR 8491 Tijolo maciço de solo-cimento*. Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 4p.
- ASSIS, J. B. S. de; CHAUD, E. (2004). Avaliação do comportamento estrutural de mini-paredes construídas com blocos de solo-cimento, isentas de argamassa entre fiadas – tijolito® sistema Andrade Gutierrez de construção industrializada. In: *3^{er} Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra. Memoria...* San Miguel de Tucumán: PROTERRA; FAU/UNT. p. 149-159.
- FERRAZ JUNIOR, Francisco de A. C. (1995). Equipamentos modernos para a produção de tijolos de terra prensada. In: *Workshop Arquitetura de Terra. Anais ...* São Paulo: NUTAU-FAUUSP. p.163-179.
- MATTONE, Roberto (2007). Investigación y formación para la evolución de las tradiciones. Los bloques perfilados para la autoconstrucción. *Revista Apuntes*, v. 20, n.2, julio-diciembre 2007. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. p. 318-323.
- NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo*. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>
- NEVES, Célia; COELHO, Ana Cristina Villaça (2009). Um passeio pelas normas de construção com terra nos países ibero-americanos. In: *VIII Seminario Iberoamericano de Construcción con Tierra; II Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción con Tierra*. San Miguel de Tucumán: CRIATiC/FAU/UNT. 1 CD-ROM.
- UNIFORMIZAÇÃO das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional* (1985). Elaborado por BNH-DEPEA; ABCP; CEPED; IPT; TECMOR; COHAB-SP; SEAD-PR; CETEC; CEHAB-RJ. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA.

ANEXO – Normas iberoamericanas de BTC

No Brasil, a ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas*, no período de 1984 a 1989, publicou as seguintes normas para BTC com adição de cimento¹, sendo duas delas revisadas em 1994:

- NBR 8491 – Tijolo maciço de solo-cimento. Especificação. 1984
- NBR 8492 – Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1984
- NBR 10832 – Fabricação de tijolo maciço de solo-cimento com a utilização de prensa manual. Procedimento. 1989
- NBR 10833 – Fabricação de tijolo maciço e bloco vazado de solo-cimento com a utilização de prensa hidráulica. Procedimento. 1989
- NBR 10834 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Especificação. 1994
- NBR 10835 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Forma e dimensões. Padronização. 1989
- NBR 10836 – Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio. 1994

Na Colômbia, o ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas publicou, em 2005, a norma NTC 5324. *Bloques de Suelo Cemento para Muros y Divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de Ensayo. Condiciones de Entrega*, que é uma declarada tradução da norma francesa AFNOR XP P 13-901:2001

Ao final de 2008, a AENOR -*Asociación Española de Normalización y Certificación*- publicou a norma UNE 41410 – *Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo*.

Enquanto que as normas brasileiras e colombianas tratam do BTC estabilizado com cimento, a norma espanhola permite outros aglomerantes, inclusive os produtos de origem vegetal e animal, tais como os azeites naturais e a gema de ovo, já que a adição destes materiais como estabilizadores químicos foram avaliados previamente em laboratório.

Em todas as normas há critérios aplicáveis para qualificar as dimensões (com as respectivas tolerâncias) e os aspectos do BTC. A norma colombiana também se ocupa das variações dimensionais entre os estados convencionais extremos de contração e expansão.

Quanto à qualificação do produto, todas as normas contêm os requisitos relativos a resistência à compressão e ao comportamento com respeito à ação da água, apesar dos parâmetros diferenciados. Por outro lado, as normas colombiana e espanhola estabelecem requisitos para a resistência à abrasão; a norma espanhola indica outros parâmetros em função da aplicação do BTC. A comparação entre os valores estabelecidos como limite para a resistência à compressão das normas não é possível, já que os métodos de ensaio para sua determinação são bastante diferentes. Segundo a norma colombiana, se divide o bloco ao meio e as partes são unidas colocando-se uma encima da outra. O mesmo indica a norma brasileira, porém para blocos com altura máxima de 7 cm, já que para blocos com dimensões maiores que esta medida, não se divide o bloco, como indica a norma espanhola. Por outro lado, as normas brasileiras recomendam o ensaio com o corpo-de-prova úmido, enquanto que a norma espanhola utiliza seco, e a colombiana indica ensaios em ambas as condições, porém sempre utiliza a condição seca como referência.

A tabela 4 apresenta os principais requisitos e critérios estabelecidos pelas normas brasileira, colombiana e espanhola.

¹ As normas brasileiras fazem distinção entre o tipos de BTC, em função principalmente de suas dimensões, mais precisamente por sua altura: até 7 cm os chama de *tijolo* e, se é superior a este valor, os chama de *bloco*.

Tabela 4 – Requisitos e critérios das normas brasileiras, colombiana e espanhola (Neves; Coelho, 2009)

Norma	Brasileira		Colombiana				Espanhola			
Parâmetro	valor	condições	valor		condições		valor		condições	
dimensões (L x E x h) (cm)	20 x 9,5 x 5 23 x 11 x 5 (bloco maciço)	um só sentido de prensagem	29,5 x 14 x 9,5 22 x 22 x 9,5 (bloque maciço)		não informa sobre a prensagem		fabricante informa		não informa sobre a prensagem	
	39 x 9 x 14 39 x 14 x 14 39 x 19 x 14 (bloco com furos)	sentido duplo de prensagem								
terra	100% ≤ 5 mm 10% a 50% ≤ 0,075 mm LL ≤ 45% IP ≤ 18%		apresenta diagrama de granulometria e limites (LL e IP)				apresenta diagrama de granulometria e limites (LL e IP) argila ≥ 10% matéria orgânica ≤ 2% sais solúveis ≤ 2%			
estabilizante	cimento		cimento				cimento, cal, gesso e outros			
resistência à compressão mínima (MPa)	2,0	úmido	BSC20	BSC40	BSC60	seca	BTC1	BTC2	BTC3	seca
			2,0	4,0	6,0		1,3	3	5	
	h ≤ 7 cm – bloco partido e unido h > 7 cm – bloco inteiro		bloco partido e unido as duas partes				bloco inteiro			
resistência à abrasão mínima (cm ² /g)	não cita		2	5	7	exposto à abrasão	não cita			
capilaridade máx (g/cm ² xmin ^{1/2})	não cita		frágil 20		pouco 40		parede externa	fabricante informa		parede externa
absorção de água máx (%)	20%	obrigatorio	não cita				não cita			
molhagem e secagem	não cita		não cita				sem fissuras sem fragmentação		condições severas	
erosão	não cita		não cita				0 ≤ D ≤ 10			
gelo e degelo	não cita		não cita				fabricante informa			
esforço cortante	não cita		não cita				ensaio		uso estrutural	

TAIPA DE PILÃO

Márcio Vieira Hoffmann; Fernando Cesar Negrini Minto;
André Falleiros Heise

Arquitetura e construção com terra é o termo que se usa para designar toda edificação feita com terra. Nessas construções, a terra deve ser estabilizada com aglomerantes, fibras ou por meio de esforços mecânicos. É importante esclarecer que estabilização de solos é uma denominação geral que pode ser usada por diversas áreas da ciência e tem um sentido específico para cada uma delas. No caso da arquitetura e construção com terra, ela significa melhorar os parâmetros estruturais, principalmente a resistência e a durabilidade do edifício.

Pode-se afirmar que a origem da terra como material de construção perde-se no tempo (Dethier, 1993). Há ruínas de edifício de aproximadamente 5.000 A. C., vários patrimônios arquitetônicos encontrados no Oriente, na Ásia, muitos no norte da África, na Europa e outros, mais recentes, no continente americano (figura 1).

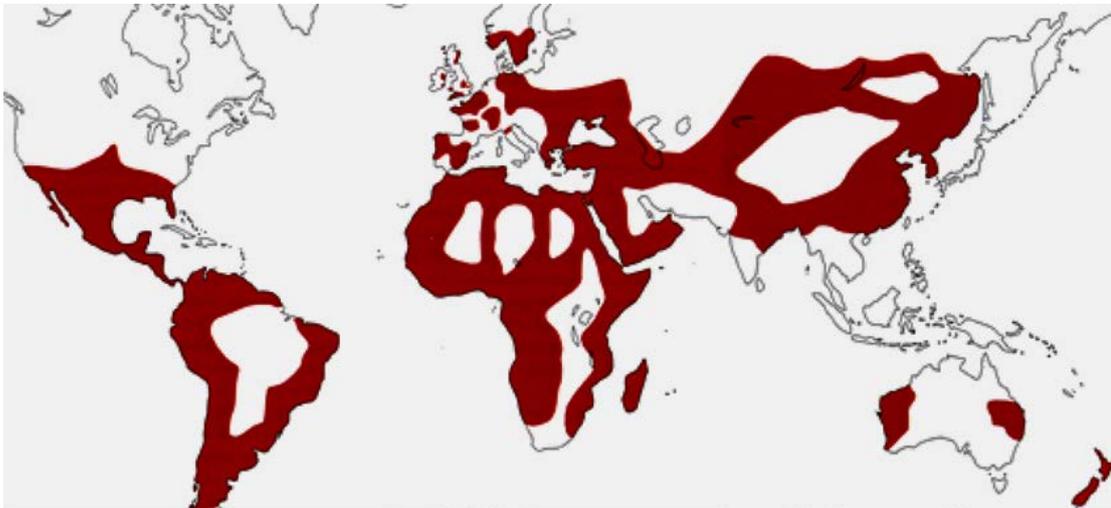


Figura 1 – Regiões onde há tradição de construção com terra (CRAterre¹)

Muitos autores apontam a terra como uma excelente opção de material para construção de habitações de interesse social. As construções com terra em sua grande maioria são produzidas com um alto grau de conhecimento intuitivo por parte dos trabalhadores, e nos lugares onde existe histórico do conhecimento, estes são facilmente apreendidos por outros operários da construção civil. Além disso, aproximadamente um terço da população do nosso planeta vive hoje em construções de terra, o que mostra a nítida vocação do uso deste material para produção de habitações.

São diversas as técnicas desenvolvidas para o uso deste material. A técnica aqui apresentada será a de parede de terra compactada, tradicionalmente conhecida como taipa de pilão ou simplesmente taipa. Inicialmente apresentam-se generalidades e um breve histórico, seguido de algumas especificidades e exigências para sua construção, as vantagens e as desvantagens para sua aplicação, e algumas informações sobre o material, os equipamentos necessários para a produção de paredes, os processos de produção, traços e misturas. Finalmente, comenta-se de como se avalia o comportamento da parede, indicando-se os principais testes e os resultados esperados.

¹ CRAterre – *Cultures Constructives et Développement Durable*: é uma Associação e um Laboratório de Pesquisa da Escola Nacional Superior de Arquitetura de Grenoble, França (<http://craterre.org/>).

1. A TÉCNICA

Antes de abordar os detalhes de execução da técnica, apresenta-se uma breve contextualização histórica, seguida pelas exigências particulares de desenho e por um rol de vantagens e desvantagens de seu uso.

1.1 Contextualização e breve história

Diversos sistemas construtivos usam a terra como material de construção. A escolha por cada sistema está diretamente ligada ao tipo de solo disponível (Neves et al., 2009) e a cultura construtiva de cada região. A taipa de pilão é um sistema construtivo utilizado para execução de fundações e paredes. Neste sistema, o solo é devidamente preparado e compactado. Muitas vezes, se acresce algum tipo de aglomerante durante a preparação do solo para melhorar ainda mais os parâmetros estruturais. O processo de produção da parede, resumidamente, consiste em destorroar o solo, secar, peneirar, adicionar aglomerante conforme a necessidade, acrescentar água até o ponto ótimo de umidade, colocar dentro de uma forma, também chamado molde ou taipal, e finalmente compactar até a massa específica máxima, usando compactadores manuais ou mecânicos (figura 2).



Figura 2 – Dois tipos de formas para a produção da taipa: taipal tradicional (à esquerda) e taipal metálico

Determinar onde surgiu a construção com terra é tão complicado quanto dizer onde nasceu o homem. As ruínas mais antigas, testemunhas do uso da terra nas construções, foram encontradas no Oriente Médio. A taipa foi difundida por quase todos os lugares onde a terra foi usada como material de construção. Inúmeros exemplos de monumentos em taipa são encontrados por todos os continentes, com as mais diversas soluções construtivas e expressões estéticas. Exemplos disso são as ruínas de Morro de Mezquitilla ou a fortaleza em Baños de la Encina na Espanha, os remanescentes da cidade de Chan Chan no Peru e as diversas construções bandeiristas² no Brasil.

A relação do homem com a terra sempre foi familiar e é necessário preservar essa tradição. Entretanto, é importante desenvolver e aprimorar técnicas de construção com terra de modo a equiparar sua eficiência aos sistemas construtivos hoje estabelecidos no mercado. Sem dúvida, as técnicas vernáculas são importante aporte para o conhecimento histórico dos processos e o reconhecimento dos valores históricos e estéticos, porém as técnicas têm que seguir esta história e acompanhar os benefícios do desenvolvimento. Hoje há inúmeros construtores em diversos países que desenvolvem e constroem com taipa de pilão.

² Movimento expansionista para colonização do interior do Brasil colonial durante o século XVII, especialmente na região do atual Estado de São Paulo

1.2 Exigências do desenho para construir em taipa

Nos projetos de arquitetura, todo desenho proposto tem uma relação direta com o material e com o sistema construtivo adotado, ou seja, é evidente que uma cobertura feita em cantaria com pedras brutas tenha uma forma diferente de outra feita com lonas tensionadas. Fica clara a importante relação entre o material da construção, o tipo dos elementos estruturais e o desenho do edifício. Então, ao projetar uma edificação cujo principal material é a terra e o sistema construtivo a taipa de pilão, necessariamente devem-se considerar suas especificações.

A taipa caracteriza-se, principalmente, como elemento estrutural moldado *in loco* com elevada resistência à compressão e baixa resistência à tração. Então devem-se prever as devidas soluções quando o caminho das forças configurarem momentos de torção, de flexão ou esforços de cisalhamento na parede. A resultante das forças nas paredes de taipa de pilão deve ser sempre perpendicular à superfície resistente. Deve-se evitar que as paredes de taipa de pilão recebam cargas horizontais (figura 3).

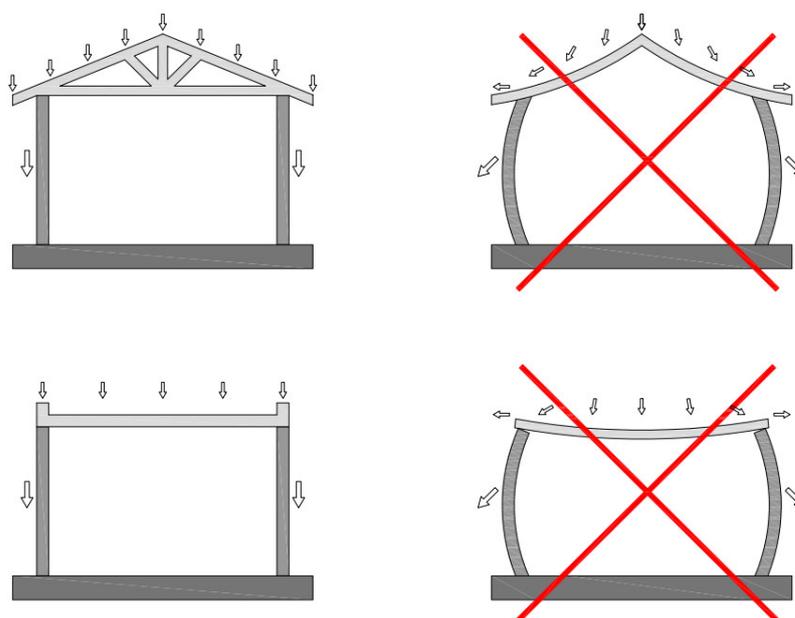


Figura 3 – Transmissão de cargas nas estruturas

É necessário que se tenha cuidado com a penetração de água nas paredes de taipa. Devem ser previstos elementos construtivos que protejam os topos das paredes como beirais ou pingadeiras, a impermeabilização das fundações ou as formas de evitar o contato direto da parede com o chão para proteger sua base, e ainda, a depender do índice pluviométrico da região, a aplicação de hidrofugante para proteger a superfície da parede. Outras medidas que ajudem a manter a água afastada das paredes como calçadas e drenos são recomendadas (figura 4).

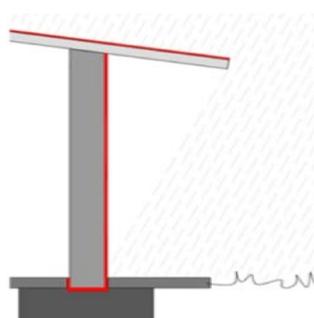


Figura 4 – Esquema de proteção contra a água na parede de taipa de pilão

Outro aspecto fundamental no projeto das construções em taipa diz respeito às dimensões das formas que sempre devem ser compatíveis com a modulação das paredes, podendo haver certa flexibilidade a depender do projeto da própria forma, que possibilite a construção de paredes de diferentes tamanhos, alcançando melhor rendimento do sistema. As formas representam um custo significativo na obra e tem relação direta com a produtividade devido ao grande número de repetição das atividades de montar e desmontar. Então o projeto das formas e a modulação do projeto do edifício devem receber grande atenção conjunta.

1.3 Vantagens e desvantagens da técnica construtiva

Nos diversos trabalhos publicados sobre o conceito de desenvolvimento sustentável foi definido que é preciso atender às necessidades do presente sem impossibilitar que as futuras gerações tenham atendidas suas próprias necessidades. É reconhecido que o setor da construção civil é um dos que causam maior impacto no meio ambiente. Além do uso de muito dos recursos naturais, utilizados como matéria-prima, o setor ainda consome grande parte da energia disponível na transformação e transporte desses materiais. Ele ainda é um grande gerador de entulho, classificado como resíduo sólido, tanto durante o processo de execução como na demolição das obras. É papel de todos os envolvidos com o setor propor novas idéias que conciliem o desenvolvimento das atividades da construção à preservação do meio ambiente

A taipa de pilão, em muitos lugares e situações, pode responder positivamente aos desafios colocados no atual panorama, pois, quando bem empregada, apresenta baixo consumo de energia no processo de produção, pode não necessitar de transporte de matéria-prima e é reciclável, pois quando demolidas, as paredes voltam quase totalmente à condição original de solo. Além dessas características, a taipa possui excelente inércia térmica, e permite trocas de umidade com o meio, garantindo assim, menor ou nenhum consumo de energia na climatização do ambiente construído.

Em regiões sujeitas a abalos sísmicos é preciso propor desenhos sismorresistentes, observando que a taipa oferece pequena resistência aos esforços de tração e flexão. Então é necessário desenvolver desenhos apropriados. A estabilidade das paredes se obtém definindo dimensões adequadas, o uso de reforços como contrafortes ou associar outros sistemas estruturais (Habiterra, 1993).

Na área da preservação e restauração, a água é um dos principais agressores das edificações. Apesar da simplicidade do sistema construtivo, a preservação e restauração da edificação de terra, sob o ponto de vista da técnica, é uma das mais difíceis. Segundo Oliveira e Santiago (1993), a terra é um material de grande complexidade devido ao comportamento físico-químico diversificado dos seus argilominerais. Isto implica a necessidade de investigações e muito cuidado nos procedimentos de intervenção em patrimônios arquitetônicos de terra.

2. MATERIAIS

A matéria-prima básica para produção da taipa é a terra, adicionada uma pequena quantidade de água. No entanto, não é qualquer tipo de terra que se presta à taipa. Portanto, é necessário conhecer suas principais características, assim como as alternativas para utilização de uma terra que naturalmente não se mostra totalmente adequada, seja por correção granulométrica ou pelo uso de aglomerantes e outros materiais.

2.1 Tipos de terra

As principais características físicas da terra para seu uso na taipa são a distribuição granulométrica, os índices de plasticidade e a curva de compactação. Elas indicam a necessidade de correção granulométrica, termo dado quando se misturam solos de diferentes características, ajudam a decidir sobre o uso de aglomerante apropriado e determinam a umidade de compactação. Os ensaios para determinar estas características são normatizados e possíveis de serem feitos em laboratórios de pedologia ou mecânica de

solos. Há ensaios mais complexos, custosos e de difícil acesso que identificam as características químicas dos solos, como a difratometria de raios-X, que podem ser usados dependendo do nível de exigência e complexidade do projeto. Em construções de pequeno porte, a caracterização da terra com testes expeditos pode ser adotada (Neves et al, 2009).

De maneira genérica, os solos mais indicados para a taipa de pilão são os arenosos. Sem dúvida esse material, quando bem selecionado e bem usado, além da pouca ou nenhuma necessidade de aglomerantes ou outros aditivos, pode resultar em paredes bastante resistentes e duráveis. O solo arenoso também facilita o primeiro trabalho a ser executado em uma construção com terra, que é a retirada do solo de seu local de origem, seja de uma jazida externa ou do próprio canteiro de obras.

Na atividade de extração, o solo argiloso, quando úmido, adere à ferramenta e faz botas e rodas patinarem, e estando seco, tem forte coesão, dificultando o trabalho. Esse difícil comportamento também ocorre nas operações seguintes, tais como a secagem, o destorroamento e o peneiramento. Independente do tipo de solo é importante que ele não tenha matéria orgânica, por isso se deve extrair o material a partir do horizonte B (já apresentado na figura 2, à página 13).

Grande parte dos estudos indica que os solos adequados para a taipa devem apresentar baixa quantidade de silte, pouca matéria orgânica, e teor em torno de 30% de argila e 70% de areia (CRATerre). Entretanto, mesmo para solos com distribuição granulométrica semelhantes, têm-se grande variabilidade de resultados que pode ser atribuídas principalmente às características da argila e, em alguns casos, as da areia. O CEPED, para execução de parede de painéis monolíticos de solo-cimento, especifica solos com teor de areia entre 45% a 90%, teor de silte e argila entre 10% a 55%, limite de liquidez $\leq 45\%$, índice de plasticidade $\leq 18\%$ e retração no ensaio da caixa³ ≤ 2 cm.

Além de requerer maior quantidade de areia, o solo também deve ter sua curva granulométrica bem distribuída (figura 5), pois assim se obtém maior massa específica⁴ na compactação. Para melhor compreender essa afirmativa, imagine o preenchimento de uma piscina com bolas esportivas, de maneira a ter o menor volume de vazios possível. Alguém poderia sugerir encher com bolas grandes como as de basquete. Porém os poucos espaços seriam grandes também, o que levaria a um grande volume de vazios. Outro poderia pensar em encher a mesma piscina com bolinhas pequenas como as de tênis de mesa, pois assim teria pequenos espaços entre elas, mas, devido ao grande número desses pequenos espaços, no total, ainda se teria um elevado volume de vazios. Então se conclui que a melhor maneira de encher essa piscina com o menor volume de vazios é com bolas de tamanhos variados. Analogamente, isso significa que se deve buscar um tipo de terra com quantidades bem distribuídas de areia grossa, areia média, areia fina, silte e argila de modo a obter, quando adensada, menor volume de vazios e, conseqüentemente, maior massa específica. Este conceito é denominado continuidade granulométrica.

A plasticidade é outra importante característica física do solo. Essa medida é influenciada por sua classe textural e pela natureza mineralógica das argilas presentes. Quanto maior o índice de plasticidade (figura 6), mais sujeito às variações dimensionais estará o material, resultante do inchamento do solo quando úmido e de sua retração, quando seco.

A curva de compactação (figura 7) determina a umidade ótima para a execução da taipa, ou seja, a quantidade de água ideal para lubrificar todas as partículas do solo sem ocupar os espaços entre elas, o que levará a maior massa específica do material quando compactado. A curva muda de acordo com a distribuição granulométrica e com a plasticidade do solo. Então deve ser verificada a cada mudança desses fatores. Não se deve esquecer que a água usada deve sempre ser livre de impurezas nocivas a hidratação dos agentes aglomerantes.

³ O teste da caixa é descrito por Neves et al (2009)

⁴ Massa específica corresponde à relação entre a massa do solo compactado e seu volume (g/cm^3)

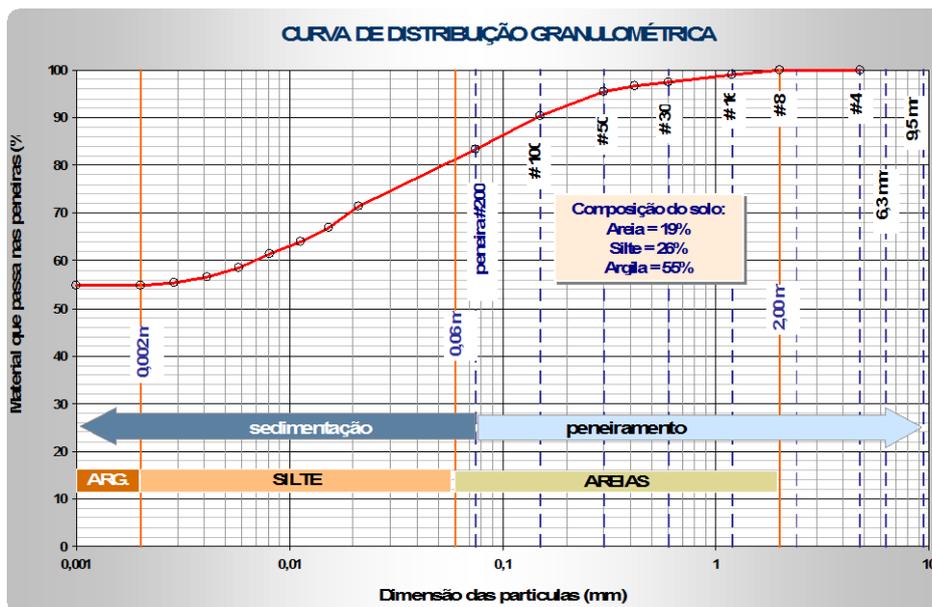


Figura 5 – Curva de distribuição granulométrica com ótima continuidade (Neves et al, 2009)



Figura 6 – Limites de Atterberg (Neves et al, 2009)

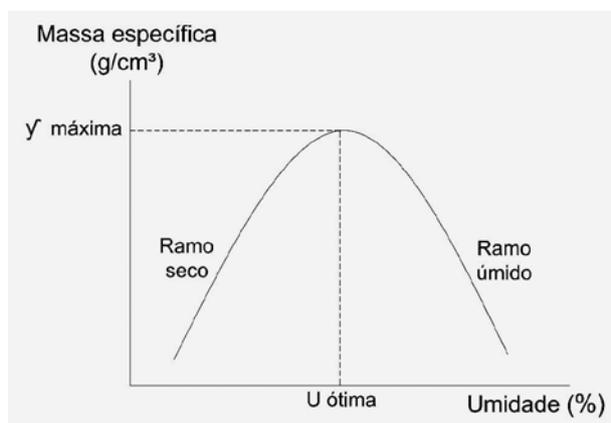


Figura 7 – Curva de compactação do solo

Portanto, não há um ou alguns tipos de solo indicados para taipa, mas uma série de considerações que se deve fazer para usar esse extraordinário material na construção. Conhecer, desde o início do projeto, as especificações do material que irá usar para construir sempre é importante, mas isso não significa a necessidade de análises complexas ou desenvolvimento tecnológico. Vale lembrar que o conhecimento sobre as características de uma boa terra para construção de parede de taipa era de alguma maneira, disseminado entre os antigos taapeiros, pois estudos recentes mostram grande semelhança das características físico-químicas das terras usadas em diversos patrimônios arquitetônicos (Flores, 2000).

Para selecionar a terra adequada para a execução da taipa de pilão é importante considerar, além das características intrínsecas do material, o local da obra, a oferta de tipos de solos e

aglomerantes, disponibilidade de máquinas, meios de transporte e ainda outros aspectos como o desenho proposto, a cultura construtiva e disponibilidade de recursos financeiros. A depender das exigências e volume da obra é recomendada a consultoria de um especialista.

2.2 Correção granulométrica da terra

Depois de analisar o solo disponível, a primeira consideração que se deve fazer é sobre a necessidade de sua correção, ou seja, de misturar com outro tipo de solo para melhorar as características. Por exemplo, um construtor que dispõe de um solo com 40% de areia (chamada de Tco, terra do canteiro de obras) pode corrigir a distribuição granulométrica acrescentando outro tipo de solo, evidentemente mais arenoso ou mesmo areia pura (chamada de Tt, terra transportada). Se acrescentar um solo com 80% de areia, deve-se misturar três partes de terra transportada para apenas uma parte da terra disponível para obter a terra ideal (Ti) com 70% de areia. Se usar a areia pura (100% de areia) será necessário apenas uma parte de cada material para atingir a mesma distribuição granulométrica da terra ideal.

Para determinar a proporção (P) da mistura dos solos, pode-se usar a seguinte equação:

$$P = \frac{Tco - Ti}{Ti - Tt}$$

onde Tco, Tt e Ti correspondem ao teor de areia de cada tipo de solo.

Nos exemplos acima, onde a Tco tem 40% de areia, para se obter a terra com 70% de areia, calcula-se:

- 1) Se Tt tiver 80% de areia,

$$P = \frac{40 - 70}{70 - 80}$$

P = 3, ou seja, serão necessárias 3 partes de Tt para 1 parte de Tco.

- 2) Se Tt tiver 100% de areia,

$$P = \frac{40 - 70}{70 - 100}$$

P=1, ou seja, será necessária 1 parte de areia para 1 parte de Tco.

É sempre importante analisar a possibilidade da correção granulométrica da terra, pois assim o trabalho é facilitado no momento da compactação e minimiza a necessidade de adicionar aglomerantes.

2.3 Aglomerantes e outros materiais

Após analisar a vantagem e disponibilidade de correção da terra, deve-se avaliar a necessidade do uso de aglomerantes ou de outro material para ajudar na estabilização. A idéia é sempre adicionar um produto que melhore as características de resistência, de durabilidade e, em alguns casos, a trabalhabilidade do material. Ressalta-se, entretanto, que para a taipa, o maior responsável pela estabilização da terra é a energia de compactação (Hoffmann, 2002).

Os aglomerantes mais usados para a execução da taipa são a cal e o cimento. Há também diversos trabalhos que propõem o uso de silicatos e resinas e estudos com materiais naturais como óleo de animais e ceras vegetais. Esses materiais normalmente são usados com funções diversas, tais como impermeabilização e agregação de partículas, melhoria da trabalhabilidade da terra, entre outras. Vale lembrar que no caso da taipa, não se deve acrescentar materiais elásticos ou que apresentem baixa densidade como fibras vegetais ou sintéticas.

A primeira consideração a fazer para a escolha do tipo de aglomerante é identificar o tipo de terra disponível. De modo geral, terras arenosas combinam melhor com cimento e terras argilosas com cal. Tanto esses aglomerantes como as resinas e os silicatos podem ser usados concomitantemente, com o devido cuidado no momento da mistura. No caso da cal e do cimento, quando juntos, devem ser misturados a terra em momentos diferentes, primeiramente a cal e depois o cimento, para que não aja uma disputa pela água de amassamento. Vale lembrar que o acréscimo de aglomerante achata a curva de compactação ampliando o intervalo para atingir a umidade ótima.

Um dos critérios adotados para a escolha do tipo do aglomerante é aquele que relaciona o índice de plasticidade e a distribuição granulométrica do solo (figura 8). Para se estabelecer a quantidade de aglomerante precisa-se conhecer, além do tipo da terra, o desenho da edificação. Paredes mais esbeltas evidentemente necessitam de mais aglomerante que paredes mais grossas para atingirem a mesma resistência. Então, depois de analisar todos esses fatores, devem ser testadas algumas possibilidades e adotar aquela que apresentar melhor resultado.

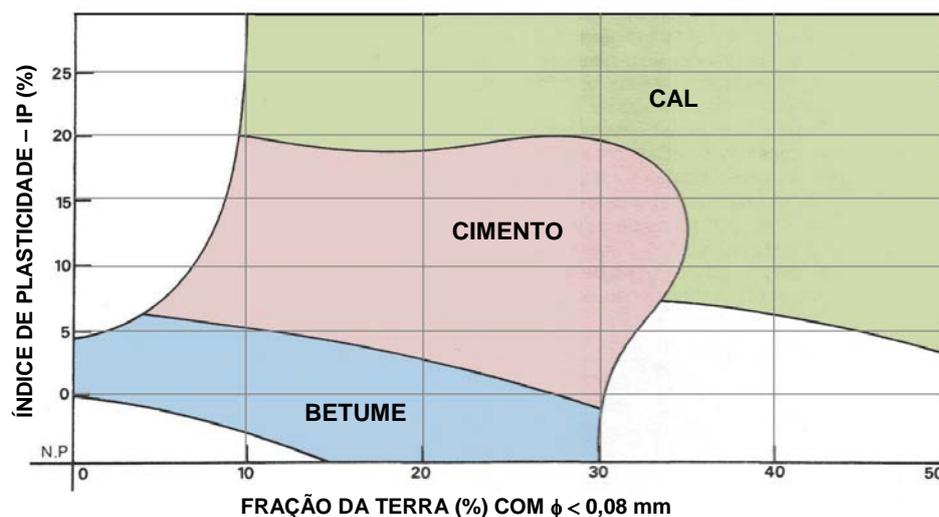


Figura 8 – Escolha do tipo de estabilizante em função do índice de plasticidade (IP) e da distribuição granulométrica da terra (Neves et al, 2009)

Fica claro que no momento de determinar o traço da terra, ou seja, para a escolha do tipo e da quantidade do aglomerante, é necessário considerar a qualidade do solo, a função e as dimensões das paredes, as condições climáticas do lugar, a tradição construtiva, as facilidades e dificuldades para obtenção do material, e as condições econômicas do momento. No Brasil, com solos arenosos, para a execução de paredes de painéis monolíticos de solo-cimento, com espessura até 15 cm, é recomendado o traço de 1:15 em volume; para obras com consumo acima de 1000 m³ do material, recomenda-se o estudo de dosagem e acompanhamento em laboratório que deve acarretar uma economia considerável na construção (Uniformização, 1985).

As resinas e os silicatos, normalmente encontrados em solução, podem também ser usados como consolidantes. Esse termo indica a aplicação de uma pasta para corrigir trincas, fissuras ou falhas que venham a aparecer (figura 9). Podem ainda serem aplicados diluídos sobre a superfície da taipa quando não for coberta com reboco ou outros materiais de acabamento para proporcionar proteção contra abrasão e umidade. Para esse fim também pode ser usado o acetado de polivinila, conhecido como PVA ou cola branca. Ainda, é possível adicionar pigmentos de óxido de ferro, no momento do preparo do solo com o aglomerante, para valorizar as cores da terra e obter uma taipa com desenhos das camadas compactadas (figura 10).



Figura 9 - Consolidação de trinca em painel monolítico



Figura 10 – Painel de taipa com diferentes cores de terra

3. EQUIPAMENTOS, PROJETO E FABRICAÇÃO DAS FORMAS

Os principais equipamentos para a execução da taipa são a forma, também conhecida como taipal ou molde, e o compactador, também chamado de soquete ou pilão.

Outros equipamentos podem ser adotados nas atividades de preparo da terra, tais como o destorroador e o misturador. O destorroador é usado para reduzir os torrões facilitando o trabalho para obter as partículas soltas do solo. O misturador é usado para o preparo da terra com o aglomerante e a água. O misturador indicado é o chamado misturador planetário ou misturador de pás rotativas. Diferentemente da betoneira, bastante comum nas obras, o misturador planetário é adequado para misturar material seco. O uso desse equipamento reduz o tempo desta atividade e conseqüentemente o tempo de produção da parede.

Sendo a taipa uma técnica milenar e empregada nas mais diversas regiões do mundo, é evidente que existem diferentes tipos de formas e compactadores. As formas devem ser resistentes à força do impacto do compactador e à pressão exercida pela terra durante sua compactação. Entretanto, apesar de bem estruturadas (figura 11), devem ser leves e fáceis de operar, pois as atividades de montagem e desmontagem das formas são determinantes para a produtividade.



Figura 11 – Formas desenvolvidas a partir do projeto de pesquisa realizado por CEPED (1984).

Na construção da taipa as formas mais usadas são:

- tipo caixa, fechada em três ou quatro lados, que permite a construção de grandes blocos que são repetidos até completar a parede, semelhante ao sistema de alvenaria convencional.
- pranchas laterais fixadas em guias fixas verticais que ficam embutidas na parede.
- pranchas laterais fixadas em guias móveis verticais que são retiradas durante a execução da taipa. A parede é composta de painéis monolíticos, construídos alternadamente, executados cada um até sua altura final.

As paredes cujo processo construtivo usa forma tipo caixa ou pranchas laterais com guias fixas são executadas horizontalmente, ou seja, todos os painéis de um nível são executados preferencialmente antes de começar a execução dos painéis do nível superior. Nas formas de pranchas laterais com guias móveis, cada painel é construído em toda sua altura. Após a conclusão de um painel, as guias são retiradas e o painel executado é usado como guia para o painel adjacente (figura 12). As guias fixas embutidas nas paredes podem ser de concreto, de madeira, ou metálicas. As guias móveis recuperáveis normalmente são de madeira ou metálicas.

É importante lembrar que as formas representam um custo significativo nas obras em taipa de pilão. Elas devem ser projetadas conforme o material disponível e de acordo com a modulação das paredes da construção. O desenho da forma deve permitir construir painéis que contemplem os tamanhos das paredes no projeto, obtendo-se assim o melhor aproveitamento possível. O projeto da forma deve também considerar a facilidade de sua montagem e permitir a desmontagem sem grandes impactos, pois, apesar da resistência inicial da taipa, batidas podem danificar a superfície da parede recém construída.

O material usado na fabricação das formas será junto com a terra o principal responsável pela textura do painel. Tábuas levarão a um acabamento mais áspero enquanto placas plastificadas de madeira ou chapas metálicas levarão a um acabamento mais liso. Para um acabamento liso normalmente as formas são fabricadas com placas de madeira compensada prensada com cola fenólica revestida de filme plastificado, estruturada com peças de madeira maciça. As placas têm dimensões padronizadas de 2,44 m x 1,22 m⁵ e diversas espessuras. Cada forma é composta de duas pranchas laterais, formada pela placa inteira ou sua metade, sendo o comprimento igual correspondente à maior dimensão. Isto é, a forma, fabricada com a chapa de madeira compensada, tem altura de 0,55 m ou 1,10 m,

⁵ No Brasil, são encontradas no mercado chapas de madeira compensada com cola fenólica plastificadas, com dimensões de 2,2 m x 1,1 m e espessuras que variam entre 10 mm e 20 mm

ou 0,61 m ou 1,22 m e comprimento de 2,20 m ou 2,44 m. As peças de madeira podem ter seção desde 2,5 cm x 7,0 cm até 8,0 cm x 20,0 cm. As peças mais largas permitem que se utilize a estrutura como andaime.

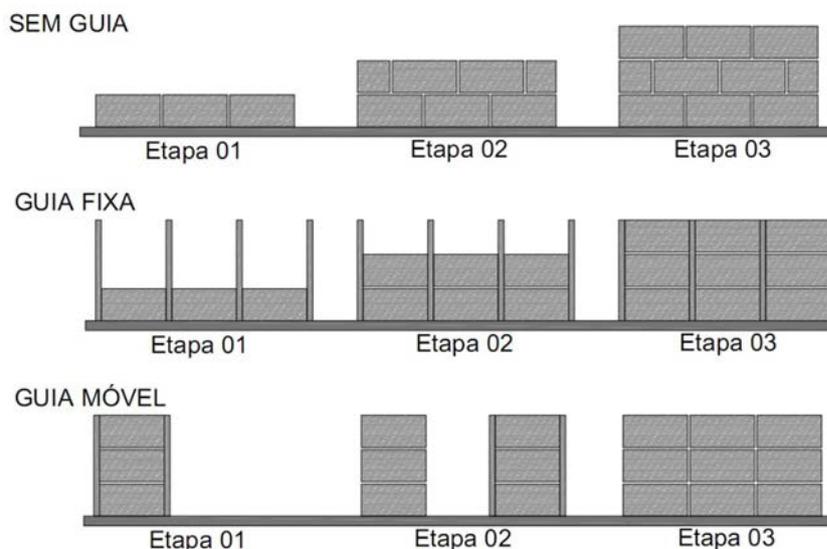


Figura 12 – Sequência de montagem das formas sem guias, com guias fixas e com guias móveis

A forma deve ser fabricada em uma marcenaria que conte com equipamentos adequados. As pranchas laterais da forma são, em geral, unidas por parafusos com diâmetro igual ou superior a 10 mm.

O compactador pode ser manual ou mecânico. Quando manual, deve ser firme e resistente, mas não muito pesado para facilitar o manuseio e minimizar o esforço do trabalhador. O compactador não necessita ter muito peso, pois a compactação não se dá pela força do impacto, mas pela frequência das batidas, fazendo com que as partículas do solo se acomodem e eliminem o máximo de vazios possível. Então, para a escolha do compactador mecânico, devem-se considerar os mesmos fatores. Ele deve ser leve e de fácil utilização. Compactadores muito pesados levam a densidades elevadas do material, causando a perda de características importantes da taipa como a troca de umidade com o meio. Podem também estourar a forma. O compactador mecânico mais recomendado para a taipa é o pneumático tipo agulha (figura 13).



Figura 13 – Exemplos de compactador mecânico.
Esquerda: compactador pneumático de agulha.
Direita: compactador elétrico de placa vibratória

4. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A taipa de pilão na grande maioria das situações é feita *in loco*, ou seja, é fabricado no próprio canteiro de obras. Então é importante discriminar todas as atividades envolvidas no processo de produção, pois delas dependerá o sucesso na construção. Para facilitar o mapeamento do processo de produção e descrever as atividades e os recursos necessários

para cada atividade nesta produção, apresentam-se aqui um diagrama de causa e efeito (figura 14).

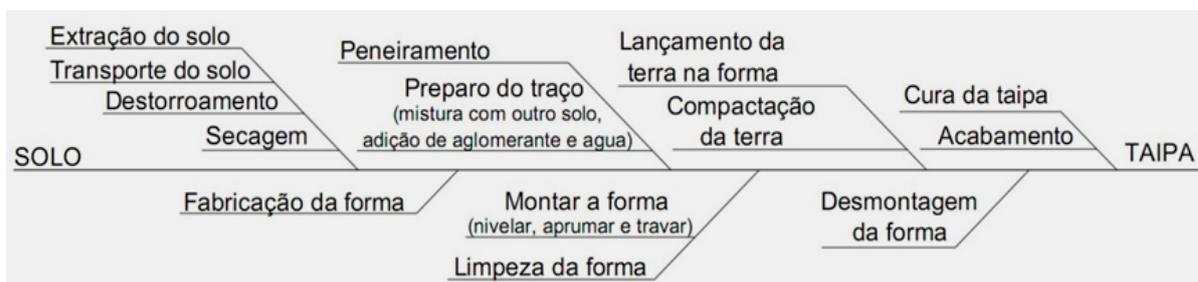


Figura 14 – Esquema do processo de produção da taipa de pilão

Para uma boa produtividade é importante controlar todas as atividades do processo e a interface entre essas. O produto de uma atividade deve sempre atender às necessidades da atividade seguinte numa relação semelhante entre o fornecedor e o consumidor. Então o solo deve estar devidamente preparado para ser lançado na forma, que deve estar corretamente montada para o início da compactação. Essa relação deve ser estabelecida desde a etapa do projeto até o término da construção. É importante também observar o peso de cada atividade dentro de todo o processo. Apesar de a primeira vista parecer que a compactação do solo é a operação mais trabalhosa na obra, Heise (2003) afirma que o preparo da terra e as atividades de montagem e desmontagem da forma são as que consomem maior tempo.

Como a forma tem o maior peso econômico e as atividades de montagem e desmontagem têm peso significativo na produtividade, fica clara a importância que deve ser dada ao projeto da forma e a sequência de montagem. Com as formas montadas, inicia-se a atividade de compactação. Nessa atividade devem ser considerados os custos, o tempo e o lugar da obra para optar entre o uso do compactador mecânico ou manual.

4.1 Preparação da terra

A primeira decisão é a escolha da jazida. Para isso será preciso considerar o tipo de solo e a distância até obra. Depois do solo extraído e transportado para o canteiro de obras, é necessário destorroar, ou seja, quebrar os grandes torrões e espalhar para secar.

Com o solo destorroado e seco deve ser feito o peneiramento em peneira com abertura de malha entre 4 mm e 8 mm e, quando necessária, a correção com outro solo e a adição do aglomerante selecionado. Essa mistura deve ser preparada seca, até obter uma coloração uniforme. Em seguida, aos poucos, adicionar a água até que atinja a umidade ótima para a compactação (figura 15).

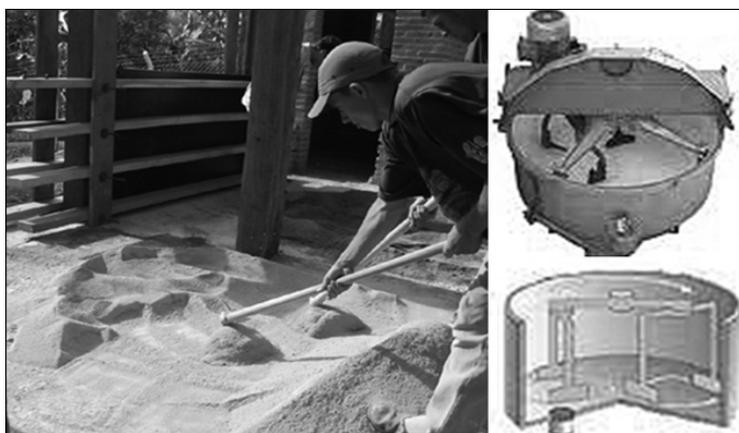


Figura 15 - Preparo da terra com adição de cal e cimento e exemplos de misturadores planetários

4.2 Compactação da parede

A forma deve ser nivelada, aprumada e finalmente travada. Em seguida, a terra é lançada em seu interior e espalhada até formar uma camada nivelada com aproximadamente 20 cm de altura. A terra é compactada com golpes contínuos (figura 16). Após a compactação da primeira camada devem ser novamente verificados o prumo e o alinhamento da forma.



Figura 16 – Atividades de montar e aprumar a forma, espalhar a terra e compactar

A forma é desmontada logo que terminada a compactação. Isso deve ser feito cuidadosamente para que não aconteçam danos à superfície da parede. Caso sejam necessários pequenos reparos, deve ser aplicada uma argamassa feita com o mesmo solo e, ao menos, o dobro da quantidade de aglomerante usado no traço compactado. Em seguida, a forma deve ser montada para prosseguir a execução da taipa

4.3 Cura da parede e acabamentos

A cura da taipa é consequência do tipo e da quantidade de aglomerantes. A taipa que usa a terra estabilizada com cimento deve ser mantida úmida, pelo menos, durante 3 dias, com a molhagem sucessiva da parede, pelo menos 3 vezes ao dia (figura 17). Quando usada a cal é importante que não seja aplicado nenhum material que seque a superfície da parede por ao menos 30 dias após a compactação. Terminado o processo de cura, podem ser aplicados diversos acabamentos sobre a superfície como rebocos, pinturas e hidrofugantes.



Figura 17 – Desmoldagem e cura do painel de taipa estabilizada com cimento

4.4 Recomendações para execução

Compactar a terra no ponto ótimo da umidade é essencial para a qualidade da taipa, então não é aconselhável preparar grandes quantidades de terra, pois ela tende a perder a umidade para o meio. É importante lembrar que as superfícies internas das formas devem ser sempre limpas antes da montagem e, periodicamente, untadas com desmoldante ou

óleo diesel para evitar que porções da terra compactada grudem na forma e comprometam o aspecto visual da superfície da taipa.

No decorrer da atividade de compactação, o trabalhador deve, além de controlar a quantidade de terra lançada dentro da forma, fazer o controle do grau de compactação e da umidade da terra⁶. Para verificar o grau de umidade, o trabalhador deve observar se soltam grumos do topo da parede que esta sendo construída com a batida do compactador ou se o solo esta aderindo à base do compactador. A primeira ocorrência indica que o solo está muito seco e a segunda que está muito úmido. O grau de compactação é empiricamente medido por meio da sensibilidade do trabalhador que se orienta pela emissão de um estampido seco no impacto do compactador quando o solo alcança o ponto ideal.

5. CONTROLE DE QUALIDADE

A qualidade de uma construção depende do controle eficaz de cada atividade do processo de produção. Com a taipa não é diferente. Então, além dos operários serem treinados, devem ser colhidas amostras, feitas análises e preenchidas fichas de controle a cada repetição da atividade. É bom lembrar que ensaios feitos com corpos-de-prova moldados em cilindros metálicos normalmente apresentam resultados superiores a aqueles encontrados em painéis moldados na obra. Isso acontece devido a baixa elasticidade do cilindro, o que transfere toda a energia de compactação para a terra. De qualquer modo é possível estabelecer uma correlação e trabalhar com um coeficiente de segurança.

Com o uso de solos apropriados e feito o controle rigoroso do processo de produção são esperados valores de (5.000 ± 2.000) MPa para o módulo de elasticidade (E), e valores de resistência à compressão de $(3,5 \pm 1,0)$ MPa. Depois de construída a parede é possível verificar a resistência por meio da extração de uma amostra indeformada com o uso de um anel metálico, chamado de ensaio do anel volumétrico. Estudos recentes verificam a possibilidade de determinação dos parâmetros estruturais com o uso de equipamentos de ultrassom.

No Brasil, não se tem normas técnicas específicas para a execução da taipa de pilão. Somente é possível consultar normas de solo-cimento para a produção de tijolos e blocos para alvenaria, pavimentação de estradas de rodagem e para barragens de pequeno porte. Em 1996, buscando especificar os materiais e a dosagem para seu emprego em paredes de solo-cimento, foi publicada a NBR 13553 (ABNT, 1996); no âmbito ibero-americano, a Rede HABITERRA/CYTED (1993) publicou recomendações para elaboração de normas técnicas de taipa, que contempla principalmente a construção em zonas sísmicas.

Então, para se certificar da qualidade da construção em taipa de pilão é importante seguir as recomendações dessa cartilha e verificar os resultados obtidos por meio de ensaios normatizados.

6. QUANTIDADE DE MATERIAIS

Não existe uma fórmula simples para o cálculo de quantidades de materiais e serviços que possa abranger todas as variáveis de uma obra. Então, fazer uma previsão dos custos requer, além de um projeto detalhado, todo o conhecimento sobre o lugar da construção e a qualificação da mão-de-obra. Ainda, no caso de uma obra, não se aplica a ideia de que o todo é a soma das partes, ou seja, o custo total da obra com diversas paredes de taipa não será a soma do valor de vários painéis, pois alguns valores serão diluídos e outros serão multiplicados. A tabela 1 indica a média de consumos para a construção de um painel de taipa de pilão.

⁶ A umidade ótima de compactação é também verificada por um teste expedito muito simples que 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 (Neves et al, 2009).

As quantidades indicadas na tabela 1 irão auxiliar a estabelecer uma relação entre este demonstrativo e sua própria obra. As informações são referentes à construção de uma parede de taipa de pilão com 2 m de comprimento, 30 cm de largura e 2,75 m de altura (1,65 m³ de terra compactada).

Tabela 1 – Médias de insumos e mão-de-obra para construção de uma parede de taipa, com 1,65 m³

Materiais consumidos	Unidade	Quantidade
Solo arenoso	m ³	2,6
Cimento Portland	saco (50kg)	4
Materiais usados*		
Placa de compensado, cola fenólica, plastificada, de 18 mm	unidade	2
Tábua de madeira, seção 30 cm x 2 cm com 2,75 m de comprimento	unidade	2
Peça de madeira seção 6 cm x 16 cm com 2,15 m de comprimento	unidade	12
Barras de aço (3/8") rosca infinita com 70 cm de comprimento	unidade	12
Conjunto de porca e arruela para barras de aço de 3/8"	unidade	24
Peça de madeira de 10 cm x 10 cm x 20 cm - compactador	unidade	1
Peça de madeira de 20 cm x 20 cm x 20 cm - compactador	unidade	1
Cabo de enxada – compactador	unidade	2
Óleo diesel	litro	2
Estopa	kg	10
Ferramentas básicas (colher, carriola, pá, enxada, etc.)	conjunto	1
EPIs (capacete, luvas, botas)	conjunto	2
Mão-de-obra		
Ajudante	horas	16
Pedreiro	horas	16

(*) os valores dos materiais usados para as formas devem ser depreciados em 30 paredes

Para a construção foi considerado o uso de uma forma de placa de madeira compensada de 18 mm com cola fenólica e plastificada, estruturada com peças de madeira 6 cm x 16 cm. As pranchas laterais são fixadas com barras de aço com rosca infinita com 10 mm de diâmetro e arruelas e porcas para aperto. As laterais da forma são em tábua de madeira removíveis (figura 18).

A preparação do solo, estabelecido como arenoso e misturado com 8% de cimento em volume (1 volume de cimento para 12 de solo), é feita manualmente, sem o auxílio de equipamentos, e a compactação é manual com compactador de madeira. É bom lembrar que quando possível, o uso de equipamentos mecânicos pode melhorar a produtividade e o controle de qualidade da obra.

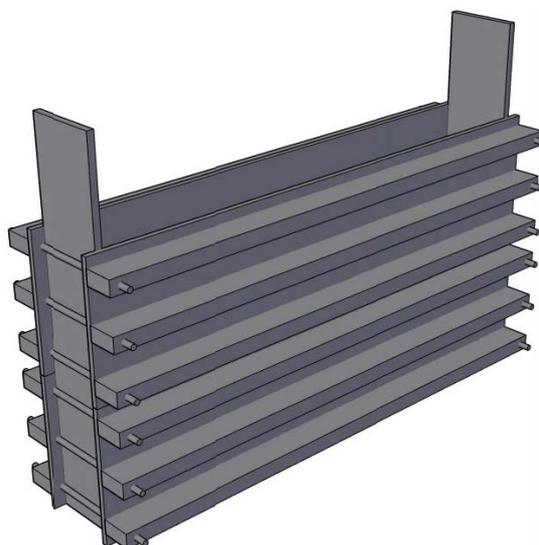


Figura 18 – Exemplo de forma para painel de taipa

Referências bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1996). NBR 13553 *Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural*. Rio de Janeiro: ABNT, 2p.
- CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO. THABA. CEPED (1984). *Manual de construção com solo-cimento*. Convênio: CEPED/ BNH/ URBIS/ CONDER/ PMC/OEA/ CEBRACE/ABCP. São Paulo: ABCP.
- DETHIER, Jean (1993). *Arquiteturas de terra – trunfos e potencialidades de um material de construção desconhecido: Europa – Terceiro Mundo – Estados Unidos*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, Centro de Arte Moderna José de Azeredo Perdigão; Editora Litografia Tejo.
- FLORES, Rosa (2000), *Estudio de tapial para la intervención en edificaciones de interés cultural - Brasil*. Terra 2000: 8th international conference on the study and conservation of earthen architecture. Preprints. Torquay, United Kingdom, 11-13 May 2000, pp. 231-237.
- HABITERRA (1995). *Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificaciones de adobe, tapial, ladrillos y bloques de suelo-cemento*. La Paz: HABITERRA/CYTED.
- HEISE, André Falleiros. (2003) *Desenho do processo e qualidade na construção do painel monolítico de solo cimento em taipa de pilão*. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Dissertação (mestrado).
- HOFFMANN, Márcio Vieira (2002). *Efeito dos argilominerais do solo na matéria-prima dos sistemas construtivos com solo cal*. Salvador: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal da Bahia. Dissertação (mestrado).
- LEPSCH, Igo Fernando (2010). *Formação e conservação de solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 2.ed.
- NEVES, Célia; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; CEVALLOS, Patrício Salas; HOFFMANN, Márcio Vieira (2010). *Seleção de solos e métodos de controle na construção com terra – práticas de campo*. PROTERRA. Disponível em <http://www.redproterra.org>.
- OLIVEIRA, Mário Mendonça de; SANTIAGO, Cybèle Celestino (1993). Comportamento de alguns solos tropicais estabilizados com cal. In: *Conferência internacional sobre o estudo e conservação da arquitetura de terra*, 7. Anais... Silves: DGEMN, p.404-409.
- UNIFORMIZAÇÃO das técnicas de aplicação do solo-cimento na construção habitacional* (1985). Elaborado por BNH-DEPEA, ABCP, CEPED, IPT, TECMOR, COHAB-SP, SEAD-PR, CETEC, CEHAB-RJ. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA

Na arquitetura e construção com terra, as técnicas mistas são sistemas construtivos executados em todas as regiões, principalmente com o uso de recursos naturais e, atualmente, com outros recursos industriais. Por sua grande diversidade em ibero-américa, há muito que investigar nesta área, principalmente pelo uso de materiais regionais e da prática construtiva cultural.

Como o nome indica, técnicas mistas são técnicas que incluem vários materiais e envolvem:

- O sistema estrutural, estrutura mestra portante, e a auxiliar, também denominada entramado, realizado com vários materiais de origem vegetal ou industrial, que corresponde ao corpo da edificação ou o esqueleto que a suporta.
- A terra ou o barro, que corresponde ao enchimento do entramado e do revestimento e responsável por uma das principais propriedades que caracteriza as técnicas mistas: responder adequadamente às condições ambientais com destaque no comportamento acústico e térmico.

Nas técnicas mistas, a terra funciona como uma pele, regulando a temperatura, a umidade e o som da edificação.

Como todos os sistemas construtivos, os projetistas e construtoras devem adquirir conhecimento principalmente sobre as propriedades dos materiais utilizados. Nas construções com qualquer um dos sistemas de técnicas mistas, é imprescindível conhecer as características da madeira, bambu, taquara, fibras vegetais, além das da terra. Além disso, os detalhes de encaixes, fundação e outras atividades da construção, próprias de cada sistema, devem ser planejados com antecedência.

1. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS TÉCNICAS MISTAS

Assim como já comentado em capítulos anteriores, as técnicas mistas têm suas vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens, podem ser destacadas:

- O aproveitamento da madeira e do bambu de forma racionalizada demonstra que as técnicas mistas respondem com qualidade a diversas condições ambientais caracterizando-se, na cadeia produtiva, como um sistema ecológico e sustentável.
- Dada a diversidade de materiais empregados, as técnicas mistas são naturalmente adaptáveis à disponibilidade de materiais locais.
- Em zonas de elevada sismicidade, as técnicas mistas apresentam desempenho estrutural e de flexibilidade compatível com os esforços gerados, podendo ser caracterizadas como técnicas sismorresistentes.
- As técnicas mistas propiciam a participação comunitária e o trabalho da mão-de-obra local.
- Se aplicadas com inovações decorrentes do desenvolvimento tecnológico, elas podem apresentar baixo custo e contribuir significativamente no processo de produção social do habitat.
- O processo construtivo permite cobrir inicialmente a área de construção. Em seguida, executar as fundações, a estrutura mestra (portante) e a auxiliar (entramado), e completar

¹ Tradução de Célia Neves

o fechamento vertical (barreamento) em ambiente protegido das intempéries, permitindo um processo rápido e seguro. Por isso, as técnicas mistas são consideradas sistemas de construção rápida.

- Dependendo do sistema escolhido e sua adaptação às condições ambientais, apresentam comportamentos térmico e acústico satisfatórios.
- A maioria dos sistemas construtivos é considerado como sistema leve, o que facilita seu uso em solo com baixa capacidade de carga.

Quanto às desvantagens, pode ser considerado o seguinte:

- Devido à facilidade de execução e acesso aos materiais, a má manutenção das edificações e pelo sistema de mercado formal da construção, são consideradas sistemas construtivos "para os pobres".
- Requer o desenvolvimento de técnicas construtivas para aperfeiçoar a execução da estrutura, dos sistemas de amarração, ancoragens e montagens que garantam sua durabilidade.
- Pode ser um sistema frágil devido à presença de fungos e insetos, se não usar a madeira e outros materiais vegetais devidamente tratados.
- Apesar de ser uma estrutura leve, algumas vezes recebe uma cobertura pesada que exige a execução fundações reforçadas; outras vezes, devido a cultura construtiva, recebe enchimentos internos que tornam as paredes pesadas, modificando uma das suas principais características.
- Há risco de incêndios, caso o revestimento de terra não proteja devidamente a estrutura de madeira
- Há a crença de que a doença de Chagas e a presença do "barbeiro" (*Triatoma infestans*) ou outras pragas é decorrente do material. Portanto, é necessário evitar que a construção sirva como um habitat para proliferação de insetos, realizando revestimentos lisos, evitando orifícios e, especialmente, realizar serviços permanentes de manutenção.

2. COMPONENTES DAS TÉCNICAS MISTAS

De uma forma geral, as técnicas mistas são compostas pela estrutura mestra, a estrutura auxiliar, o enchimento e o revestimento, esquematizados na figura 1 e explicados a seguir.

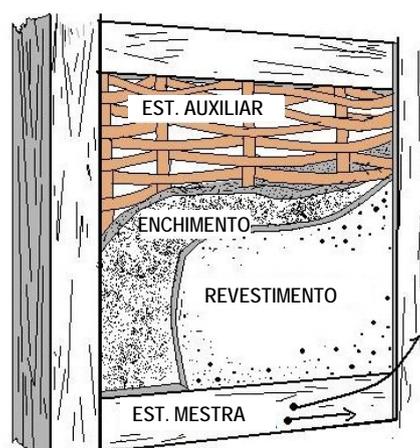


Figura 1 – Componentes de técnicas mistas

2.1 Estrutura mestra

Corresponde à estrutura básica da construção, em que seus elementos são os responsáveis pelo equilíbrio e resistência. A estrutura mestra é constituída dos elementos principais e secundários. Os elementos principais são as peças fundamentais da estrutura, que conferem suas características físicas e arquitetônicas; os elementos secundários

correspondem às peças que unidas aos elementos principais incrementam ou modificam as características físicas ou alteram o aspecto arquitetônico do edifício.

A estrutura mestra é classificada da seguinte forma:

- Sistema construtivo em madeira ou bambu sem ou com pouca habilitação das suas peças como material dominante.
- Sistema construtivo em madeira habilitada como material dominante e que compreendem diversas técnicas desde as que usam madeira maciça pesada e de grande seção até as de peças leves.

Segundo Hays e Matuk (2005), os sistemas construtivos podem ser agrupados em cinco grandes famílias, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos sistemas construtivos, segundo Hays e Matuk (2005)

Denominação	Características principais
Armação	Uso de madeira ou bambu sem ou com pouca habilitação das suas peças
Entramado pesado	Uso de madeira habilitada que apresenta multiplicidade de elementos construtivos cuidadosamente unidos entre si por amarrações específicas
Entramado leve	Combinação de elementos sem habilitação com elementos habilitados
Pilar e viga	Estrutura em pilar e vigas formando pórticos espaçados entre si e unidos horizontalmente por pequenas vigas ou tábuas
Pré-fabricado	Estrutura previamente fabricada em carpintarias ou <i>in situ</i> das partes elementares ou complexas da estrutura

Existem diferentes termos para denominar as técnicas que variam de acordo aos países e regiões. Por exemplo, na Espanha, a técnica denominada “taipa mista” consiste na combinação da taipa de pilão com reforços, que é outro tipo de técnica mista, com características mais pesada, diferente das técnicas mistas generalizadas no continente americano e não considerada neste capítulo.

2.2 Estrutura auxiliar (entramado)

Estrutura destinada a suportar e consolidar o enchimento da parede. Pode-se empregar materiais diversos, os quais determinam a rigidez ou flexibilidade estrutural, além de sua influência na aderência do enchimento. Pode-se eventualmente ter o papel de isolamento térmico da parede. Deve-se considerar a durabilidade dos materiais após o barreamento.

Como ilustrado na figura 2, existem diversas formas de montar a estrutura auxiliar (entramado) que, em geral, são determinadas em função dos materiais disponíveis em cada lugar.

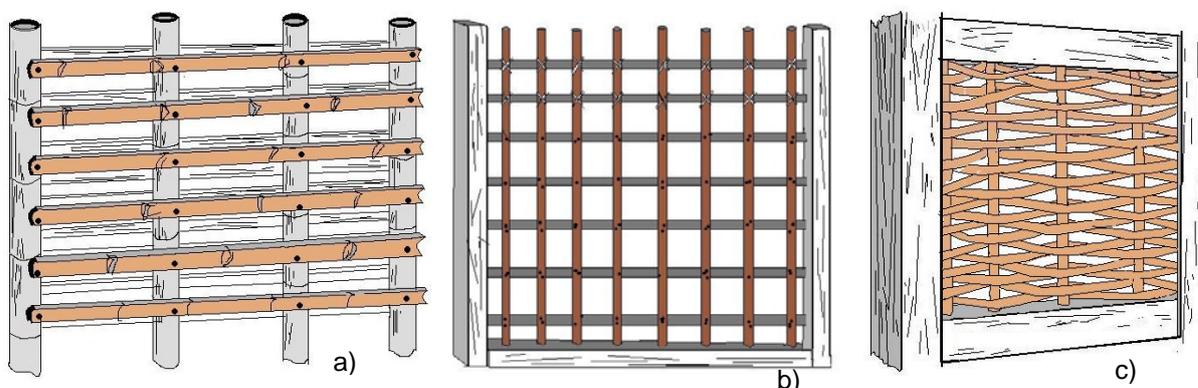


Figura 2 – Exemplos de estrutura auxiliar: a) entramado em bambu em trama dupla, uma em cada face da estrutura; b) entramado reticular simples no meio da estrutura; c) tecida em tramas estreitas no meio da estrutura.

2.3 Enchimento

O enchimento ou barreamento se comporta como uma “pele” e, como tal, oferece certo grau de isolamento térmico, além de regular as mudanças higrotérmicas entre o meio exterior e o ambiente interior da edificação. O enchimento deve funcionar de forma estável às mudanças climáticas e deve ser compatível com a estrutura vegetal. É muito importante sua aparência, pois ele representa o aspecto estético.

O enchimento, barro, é geralmente composto de terra, fibras e, eventualmente, de adições. A mistura das matérias-primas permite obter um material leve, permeável ao vapor d’água e com características elásticas necessárias para absorver os movimentos da estrutura (dinâmica).

3. MATERIAIS DE ENCHIMENTO

O principal material do enchimento é a terra, podendo ser acrescida de outros materiais quando ela não se apresenta adequada para a técnica mista. Estes materiais são muito diversos e serão tratados a seguir, por categoria.

3.1 Tipo de terra

Deve-se selecionar convenientemente o tipo de terra para o enchimento (embarramento ou barreamento). Uma vez que o material de enchimento não tem função estrutural, porém cumpre seu papel de envoltória ou “pele”, uma variada gama de tipos de terra pode ser empregada neste sistema, se comparado com outras técnicas de construção com terra (adobe, taipa de pilão, BTC, etc.). Mesmo assim, é necessário reconhecer e selecionar o tipo de terra, considerando principalmente suas características de granulometria e plasticidade.

A composição granulométrica das terras apropriadas para o enchimento das técnicas mistas deve conter grãos finos e uma porcentagem de argila suficiente para dar plasticidade à mistura, uma boa ligação com as fibras e com o entramado.

Em geral, pode-se fazer algumas observações sobre a composição granular da terra.

Areia: elemento importante porque é a parte estável da terra. De acordo com alguns estudos recomenda-se o mínimo de 50% de areia. Hays e Matuk (2005) sugerem que se use areia fina para proporcionar a superfície com melhor acabamento estético. Existem diferentes tipos de areia, que variam de acordo com sua procedência. Extrai-se areia de penhascos, jazidas, de rio ou de mar, cada uma com granulometria e textura diferentes devido aos componentes minerais e químicos. Não é recomendável usar areia do mar.

Silte: elemento de transição entre areia e argila, ele é suscetível às variações de volume na presença de água e não apresenta muita coesão, diferente da argila. Uma parede com excesso de silte pode degradar-se com a umidade. Sugere-se que a quantidade de silte não seja superior a 30%.

Argila: principal elemento de coesão do solo, permite a aderência das fibras na mistura. De acordo com a natureza geológica, existem diferentes tipos de argila, sendo que algumas podem absorver muita água, causando a sua expansão e instabilidade da terra. No processo de secagem, a argila pode provocar trincas. Por isso, deve-se buscar um equilíbrio e selecionar terras com argilas que não permitam a penetração de água para o interior das paredes e da estrutura (madeira).

A terra com muita argila pode apresentar muitas fissuras após a secagem; com pouca argila, ela pode não aderir à estrutura. Recomenda-se selecionar terras com teor de argila da ordem de 20%. Na ausência de argila na terra disponível, buscam-se outros elementos que aumentem a coesão da mistura e sua aderência.

A plasticidade do solo é geralmente definida pelos limites de Attenberg que correspondem aos limites de liquidez e de plasticidade, sendo a diferença entre eles denominada de índice de plasticidade. O limite de liquidez deve ser inferior ou igual a 50%, que corresponde

aproximadamente à umidade do barro para o enchimento da estrutura de madeira. Para o barreamento, requer-se umidade constante, sendo necessário mantê-la durante alguns dias, até mesmo com a pulverização de água, nas condições climáticas com muito calor ou muito vento.

Cada tipo de estrutura exige diferentes graus de umidade e algumas requerem um estado específico de fluidez, além do emprego de outros materiais que colaborem com a integração da estrutura e revestimento. Matuk e Hays (2005) sugerem a seleção de terras com índice de plasticidade² entre 4% e 11%.

Quando se dispõe de três ou mais tipos de terra, alguns autores sugerem o seguinte teste empírico para fazer a seleção da mais adequada:

- Tomar uma porção de terra seca;
- Adicionar água e fazer bolas com diâmetro de aproximadamente 3 cm;
- Deixar secar as bolas;
- A terra mais apropriada é aquela que a bola apresenta menos fissuras.

Se a bola é maleável e, ao secar, apresenta poucas fissuras, significa que a terra é apropriada para o enchimento de paredes de técnicas mistas; se a bola se pulveriza, significa que o solo é muito arenoso e não deve ser usado.

3.2 Adições

Existem diversos materiais que podem melhorar a resistência mecânica, durabilidade, impermeabilidade e aspecto estético do enchimento de terra. Entre eles, pode-se citar:

Cal viva: a adição de 2% a 3% de cal viva à terra argilosa reduz a plasticidade e melhora o processo de destorroamento, assim como evita a retração na secagem e melhora a trabalhabilidade.

Cal aérea apagada: reage com alguns tipos de argilas e pode atuar como material pozolânico, melhorando algumas características da terra. Sua quantidade varia entre 6% a 12% e a reação depende do tipo de argila. Em maior porcentagem, atua como aglomerante, melhorando o desempenho de terras com baixo teor de argila.

Para entramados leves, podem-se usar misturas de terra com pouca argila, cujas receitas assemelham-se às das argamassas tradicionais com cal, tais como:

- areia + esterco + cal aérea apagada (1:1:1)
- terra arenosa + palha + esterco + cal aérea apagada (2:1:2:1)

3.3 Produtos orgânicos

Os produtos orgânicos vegetais ou animais como gorduras, sabões, clara de ovo, tanino, leite, coalhada, colas animais, látex vegetais, etc. são utilizados tradicionalmente. Em cada lugar, devem-se avaliar a disponibilidade e custo dos recursos disponíveis. Em determinadas regiões pode-se dispor de materiais que são custosos em outras regiões e vice-versa; por isso é importante verificar, em cada local, os materiais normalmente utilizados para enchimento e revestimento das paredes de técnicas mistas.

3.4 Fibras

As fibras desempenham variadas funções no enchimento. Em geral, empregam-se fibras para melhorar a aderência do barro na estrutura auxiliar e evitar a fissuração de terra argilosa ao secar-se. Além disso, as fibras podem melhorar as seguintes propriedades do enchimento:

² Corresponde ao valor da diferença entre o limite de liquidez e de plasticidade

- **Ductilidade** – as fibras melhoram a capacidade de resistência frente às deformações elásticas importantes. As madeiras da estrutura criam movimentos e variações nas dimensões dos elementos e tendem a criar fissuras no enchimento.
- **Melhoria térmica** – as fibras produzem vazios no barro que o torna mais leve e melhora sua característica de isolamento térmico.
- **Melhoria estrutural** – o enchimento mais leve ajuda nas solicitações sísmicas.

Dentre as fibras provenientes de biomassa vegetal, algumas das mais utilizadas são:

- **Feno** – os diferentes tipos de gramíneas, por suas folhas com fibras longas, delgadas e resistentes, oferecem resistência elevada. As fibras são maciças e, por isso, não diminuem a massa específica da mistura. Estas fibras porém são adequadas para entramados tipo trançado e para entramados pesados.
- **Palha de trigo** – fibra bastante rígida, oca e com diâmetro aproximado de 5 mm. É pouco usada, pois é de difícil manuseio e não se mistura facilmente com o barro. Porém, é uma boa alternativa para misturas com argilas ativas, porque sua elasticidade absorve a expansividade natural destas terras. Para entramados leves se recomenda o uso de fibras com 10 cm a 15 de comprimento e consumo da ordem 5 kg por m³ de barro.
- **Palha de cevada** – o talo é menos rígido e com resistência inferior ao trigo. É misturada ao barro principalmente por sua suavidade e facilidade de aplicação.

4. REVESTIMENTO

A mistura de terra e fibras empregada para o enchimento das técnicas mistas resulta em um material poroso, com baixa massa específica e pouco resistente à ação da água de chuvas e geadas.

Para a proteção externa do enchimento, usam-se revestimentos apropriados, que podem ser o reboco ou o forro, que corresponde a todo tipo de revestimento sólido. Os rebocos são aplicados em estado plástico, diretamente sobre o enchimento e os forros são fixados à estrutura, independentes do enchimento.

O reboco deve ter durabilidade e elasticidade e diminuir a permeabilidade da parede.

Devem-se definir procedimentos para preparar os rebocos adequados para garantir sua aderência mecânica à superfície de contato, considerando a técnica de aplicação e as condições ambientais.

Todos os revestimentos exigem algumas etapas preliminares, como limpeza, umedecimento, escarificação e, em alguns casos, a colocação de malhas metálicas (usar metal galvanizado para evitar a oxidação por umidade ou reação com a cal). Sugere-se avaliar a compatibilidade dos materiais e usar materiais naturais para o tratamento das superfícies do reboco.

O reboco à base de terra atende aos requisitos de elasticidade e permeabilidade, mas é vulnerável aos agentes de erosão. Para superar esta debilidade, pode-se adicionar aglomerantes e aditivos, dentro dos limites de compatibilidade entre os materiais, tais como cal aérea, pequenas proporções de cimento ou cal hidráulica ou outros produtos estabilizantes. Também pode-se melhorar a granulometria do reboco pela adição de areia tanto de textura fina quanto grossa.

Como exemplo, tem-se a seguinte receita de reboco tradicional:

- **Terra:** 2% de areia grossa; 76% de areia fina; 13% de silte e 9% de argila.
- **Fibras:** 3% em massa, que equivale aproximadamente a 1 parte de fibra para 30 partes de terra.

5. EQUIPAMENTOS E FERRAMENTAS

Para os serviços de Carpintaria são necessárias as seguintes ferramentas: serra, furadeira com brocas variadas, serra de fita (serra tico-tico), formão, formão goiva, serrote, serra de arco, alicate, martelo, chave de fenda, esquadro, machadinha, facão, serra de corte especial para o bambu (figura 3).

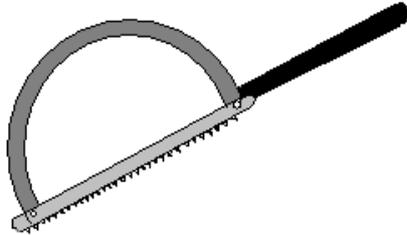


Figura 3 – Serra especial para o corte de bambu

Para a construção em geral e a alvenaria, são necessárias as seguintes ferramentas: carro de mão, pá, colher de pedreiro, balde, trena, mangueira de nível, tesoura, desempenadeira, prumo de face e outros.

6. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A localização e o uso do entramado são determinantes para definir o processo de produção, que depende de vários fatores, tais como:

- A localização do entramado em relação à estrutura mestra.
- O sistema construtivo.
- Requisitos arquitetônicos.
- O tipo de entramado e sua influência sobre a execução do enchimento.

6.1 Processo de enchimento com materiais naturais e com terra

Os enchimentos variam em função do sistema construtivo da técnica mista. Eles são desde os muito densos, até outros mais simples que são como pele ou cobertura, com a espessura máxima de 25 mm.

Podem ser aplicados no entramado de diversas maneiras, tais como: a cobertura, cheia, trançado, fardo, embutido, empastado ou por projeção mecânica.

Quando se realiza por embutimento (caso das armações do tipo lateral dupla), o enchimento à base de terra tem a espessura da largura da estrutura mestra. É um enchimento volumoso e, por isso, sugere-se torná-lo mais leve. Com entramados gradeados duplo (caso do pau a pique – Brasil) e enchimento fica dentro das grades e é mais estável, melhor armado, respondendo bem aos esforços dinâmicos (sismos e ventos).

Em caso de estruturas mestras com entramados leves, que são sistemas com elementos mais delgados, o enchimento, em termos de massa, corresponde ao uso de pouco material. O enchimento corresponde a uma pasta que se mantém em seu lugar e se adere devido ao material vegetal adicionado à terra. Tanto o enchimento como o revestimento são preparados com fibras, o que lhes dá um corpo. Mesmo assim, por ser aplicada apenas uma camada fina, ela pode soltar-se e cair devido aos esforços dinâmicos.

A maioria das misturas para enchimento é constituída de terra, fibra e água, sendo o material mais pesado logo após ser preparado, antes de evaporar a água. A fibra colabora com a aderência e sustenta o enchimento no entramado. As misturas devem ser preparadas previamente e algumas necessitam de repouso entre o preparo e aplicação, popularmente tratado como “dormir” o barro ou “a argila”, para que ele se expanda e as fibras se tornem mais flexíveis e maleáveis, o que facilita sua integração à estrutura.

As fibras poder ser o talo do trigo ou diversas gramíneas, cortadas entre 5 cm e 10 cm. Em geral, sugere-se usar fibras curtas para o enchimento, com exceção dos sistemas cujo entramado é preenchido com “lulos” ou rolos, em que se usam fibras bem mais compridas, e que exigem uma preparação prévia com a terra em estado líquido para sua aderência.

6.2 Processo de revestimentos

A preparação e o processo para a aplicação dos revestimentos exigem controlar e regular as condições ambientais. Como os revestimentos têm, como mínimo, 50% de umidade, todos os elementos que aderem à mistura (madeira, bambu, esteira ou enchimento) devem ser umedecidos antes e durante todo o processo de aplicação para facilitar a aderência, evitar retrações e deficiências na sua consolidação. Dependendo do tipo de revestimento se sugere colocar várias camadas de proteção, preferivelmente colocar entre uma a três camadas, sendo cada camada com diferente composição e espessura.

A primeira camada, dependendo do sistema, pode ter entre 2,0 cm e 2,5 cm; a segunda não deve ultrapassar 1,0 cm; e a última deve ser quase líquida, como uma emulsão, que cobre as fissuras e microfissuras, e dá o acabamento final. Na mistura desta última camada pode-se incorporar um impermeabilizante natural e pigmento colorido (mineral). Para a preparação da última camada do revestimento, usam-se fibras vegetais curtas para obter a textura fina e manter a umidade no processo de secagem, diminuindo a retração.

Na primeira camada, a mistura contém mais fibras e elas devem ser mais compridas para aderir à estrutura auxiliar ou entramado. A terra deve conter uma quantidade significativa de partículas argilosas ($\geq 50\%$), e outra quantidade de partículas finas como a arena e o silte que permitam sua estabilidade. Em caso de carência de argila, existem estabilizantes que podem substituir sua ausência, porém é necessário realizar previamente o ensaio de granulometria.

7. ATIVIDADES ESPECIAIS E TEMAS VULNERÁVEIS NAS TÉCNICAS MISTAS

As técnicas mistas, justamente por serem caracterizadas principalmente pela presença significativa de mais de um material, não apenas a terra, resultam em maior complexidade e vulnerabilidade. Os diferentes materiais, com as respectivas particularidades, requerem cuidados especiais com as interfaces, impermeabilidade das fundações e preservação dos componentes mais frágeis, como as fibras vegetais. A seguir são apresentadas algumas considerações sobre este tema.

7.1 A fundação e o baldrame³

Este elemento da construção, dependendo do sistema a usar, exige planejamento e estudo prévio de acordo com as condições e uso dos materiais. A estrutura mestra portanto não deve ser exportada diretamente à umidade e por isso o projeto deve tomar as devidas precauções para protegê-la e para que cumpram sua função de transmitir as cargas para a fundação.

Entre as várias formas de construir cada alternativa. Entre estas, podem-se citar:

- Sistemas cravados, colocados e apisonados. Isto significa que a parede é executada sobre pilotis, bases, fundações de concreto ciclópico ou qualquer outro sistema que a mantenha distante pelo menos 20 cm do nível do terreno e do acesso direto da umidade.
- Sistemas de fundações que permitam inserir a estrutura dentro de um elemento auxiliar estrutural mais resistente como o entubamento das madeiras que são revestidas com material impermeável que as protejam da umidade e escorra a água, porém sem a concentração da condensação (figura 4).
- Outra forma é colocar a estrutura fixada no baldrame, distante do piso por meio apoio para cada peça estrutural que atinja o piso. Estes apoios ou bases podem ser em

³ Corresponde à parte da fundação acima do nível do terreno

concreto ou alvenaria de pedra que permitam fixar tais como tubos, sapata com ancoragens, ou outros elementos pré-fabricados ou construídos no local. Deve-se avaliar a melhor forma de fixar estes elementos aos da estrutura mestra ou painéis (desde que estes tenham a função estrutural).

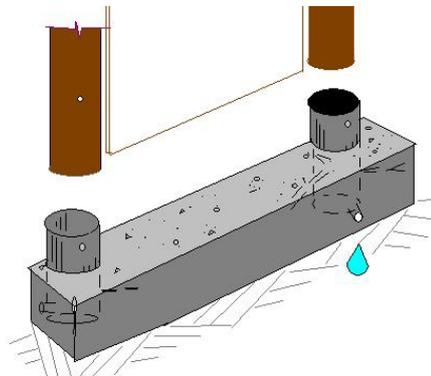


Figura 4 – Sistema de ancoragem da parede na fundação

Ao realizar a escavação, é necessário drenar a água que possa afetar de forma direta o piso da construção e, sobre uma base firme e resistente, colocar os elementos de proteção e impermeáveis. Deve-se sempre afastar a água do terreno que possa afetar a construção.

7.2 Compatibilidade dos materiais

Outro tema importante é a compatibilidade dos materiais, assim como os encaixes e amarrações entre eles. É muito importante conhecer o comportamento de cada material e da união entre eles, lembrando que se deve realizar a devida proteção da madeira. Por suas características vegetais, como um ser vivo e natural, as estruturas sempre apresentam alterações devido, principalmente, às condições ambientais.

Recomenda-se avaliar a união entre a madeira, o bambu (ou outro material do entramado) e o barro. Sugere-se sempre recobrir toda a madeira e o bambu com elementos que ajudem com esta transição tais como a malha metálica tipo galinheiro (galvanizada), pregos, papel, arame, tampa de garrafa, etc. Deste modo, o metal ou outro material funciona como um elemento de ancoragem e não expulsa o barro ou o revestimento.

7.3 Preservação dos materiais vegetais

A madeira, o bambu e as taquaras são recursos naturais renováveis capazes de resistir igualmente à tração e compressão paralela às suas fibras. Por ser materiais naturais e vegetais, são elementos que se mantêm vivos e, por isso, são vulneráveis.

Para seu uso e garantia da sua durabilidade, deve-se realizar o processo de secagem natural ou artificial, cujo objetivo é eliminar a água, mantendo sua umidade entre 14% a 20%. Estes materiais podem ser atacados por agentes biológicos – insetos, fungos e algas – e outros tais como o fogo, o desgaste mecânico, a ação das intempéries e produtos químicos. Todos eles afetam e podem diminuir sua qualidade e durabilidade.

As madeiras são classificadas por sua resistência e massa específica; seu uso acontece de acordo com suas propriedades e às características ambientais de cada lugar. Para sua preservação, usam-se compostos químicos aplicados sobre pressão, com brocha, por pulverização, imersão e banhos quentes e frios.

Para o uso de gramíneas (os bambus e as taquaras), existem diversos mecanismos de tratamento, porém o mais importante é produzi-las e cortá-las tecnicamente, usá-las em sua etapa madura e realizar tratamentos de baixo impacto ambiental (imunização com bórx e sulfato de cobre, por exemplo).

Literatura sugerida

ANGEL OSPINA, C.; SANCHEZ GAMA, C. (1990). *El bahareque en la región del Caribe*. Módulos 1 a 9. Bogotá: FIC; SENA.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (2001). Comportamiento sísmico del bahareque de guadua y madera. *Boletín Técnico No 56*. Bogotá: AIS.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (1998). NSR 98 – Diseño y construcción sismo resistente. Título E. *Construcciones de vivienda de uno y dos pisos de de bahareque encementado de madera y guadua*. Bogotá: AIS.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (s.d). *Manual de construcción sismo resistente de viviendas en bahareque encementado*. Bogotá: AIS. Disponible en: www.col.ops-oms.org/desastres/docs/bahareque/MANUAL_BAHAREQUE.pdf

HAYS, Alain; MATUK, Silvia (2005). Recomendaciones para la elaboración de normas técnicas de edificación con técnicas mixtas de construcción con tierra. In: *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Salvador: PROTERRA/HABYTED/CYTED. p. 121-350.

HAYS, Alain; MATUK, Silvia; VITOUX, François (1986). *Técnicas mixtas de construcción con tierra*. Lima: Craterre América Latina.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS (2006, 2007):

Nº 5300: *Cosecha y poscosecha de guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5301: *Preservación y secado de la guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5405: *Propagación vegetativa de guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5407: *Uniones estructurales con guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

Nº 5525: *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la guadua Angustifolia Kunth*. Bogotá: ICONTEC.

NTC. *Producción, uso y aplicación de la guadua Angustifolia Kunth como material de construcción*. Bogotá: ICONTEC.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. *Cartilla de construcción con madera*, 1980; *Manual de diseño para maderas*, 1984; *Manual del grupo andino para la preservación de la madera*, 1988. Lima: Proyecto PADT- REFORT. JUNAC.

MARUSSI CASTELLAN, Ferruccio (1989). *Antecedentes históricos de la quincha*. Documento técnico Lima: ININVI.

PROTERRA (2003). *TÉCNICAS mixtas de construcción con tierra*. Salvador: PROTERRA/HABITED/CYTED.

SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACIÓN PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN (1987). *Quincha prefabricada, fabricación y construcción. Manual técnico*. Lima: ININVI; SENCICO.

Denomina-se revestimento o processo de aplicação de uma camada externa nas superfícies das edificações com terra a fim de protegê-las dos agentes ambientais e de possíveis danos físicos de origem natural ou provocados por atividade humana. Em cada região, a tradição desenvolve combinações de materiais e técnicas construtivas de acordo com os recursos disponíveis, mas, em geral, as proteções superficiais compatíveis com as edificações de terra podem ser agrupadas em duas categorias: as de terra (barro) y as de cal e areia.

1. A TÉCNICA

A aplicação de superfícies protetoras parte do princípio do aproveitamento da capacidade de aderência entre os materiais porosos e a necessidade de gerar superfícies mais resistentes que as dos sistemas construtivos da base, mas sem que se perca a capacidade de troca de ar e vapor de água com o meio ambiente.

2. PROCESSO DE PRODUÇÃO

Tanto os revestimentos de terra como os das misturas de cal e areia são feitos mediante a sobreposição de camadas em estado plástico, que variam em espessura e proporção relativas aos seus ingredientes e que se mantenham aderidas aos pisos, paredes ou coberturas. O princípio geral consiste na aplicação de pelo menos duas camadas sobrepostas. A primeira tem 2 cm a 3 cm de espessura e é feita com materiais de granulometria mais grossa; e a segunda camada, com alguns milímetros de espessura, é feita com materiais de granulometria fina.

As misturas a aplicar devem ter um período de repouso para que os materiais que as compõem aumentem sua capacidade de aderência. Nas práticas de oficinas de capacitação, para que os assistentes adquiram o conhecimento relativo ao preparo e aplicação dos revestimentos, é conveniente contar com paredes de trabalho (figura 1) e misturas previamente realizadas, além de matérias-primas para a elaboração de novas misturas.



Figura 1 – Parede de trabalho para oficinas (à esquerda) e limpeza de uma parede, antes de aplicar o reboco

A preparação de misturas de barro consiste em peneirar o solo natural seco, adicionar materiais estabilizantes (palha, esterco, serragem, cal, gesso, areia, etc), umedecer progressivamente, misturar e deixar em repouso (figura 2). A terra que se utiliza para o

¹ Tradução de Célia Neves

reboco inicial deve ser passada por uma peneira com abertura de malha de 5 mm e as fibras picadas com comprimento entre 5 cm e 10 cm. A terra para o reboco final deve passar por uma peneira com abertura de malha de 2 mm e as fibras não devem medir mais de 3 cm de comprimento.



Figura 2 – Peneiramento da terra e mistura da terra com a palha

O processo de revestimento inicia pela limpeza do pó na superfície da base (figura 1), seu umedecimento, a aplicação da mistura com a mão ou com a colher de pedreiro (figura 3) e a secagem.



Figura 3 – Mistura do reboco inicial de barro; aplicação do reboco à mão; e, aplicação com colher de pedreiro

A segunda camada tem poucos milímetros de espessura e é aplicada sobre a anterior, também umedecida, com a desempenadeira, até obter a superfície lisa (figura 4). Para o revestimento de barro é possível prescindir da desempenadeira, aplicando o material com as mãos.



Figura 4 - Mistura para o reboco final de barro e sua aplicação com desempenadeira.

Por seu lado, a argamassa de cal e areia também se inicia com o peneiramento da areia, seguido da adição da cal (em pó ou pasta), o umedecimento progressivo, a mistura e o repouso (figura 5). A areia para a primeira camada deve passar por uma peneira com abertura de malha de 5 mm e misturada em uma proporção de 3 volumes de areia por 1 volume de cal. Para a camada final, a areia deve passar por uma peneira de 2 mm e misturada em uma proporção de 2 volumes de areia por 1 volume de cal.



Figura 5 – Argamassa de cal e areia: adição de cal em pasta e umedecimento progressivo da mistura

Igual ao revestimento de barro, o processo inicia pela limpeza do pó na superfície da base, seu umedecimento, a aplicação da mistura com a colher de pedreiro e a secagem.

A segunda camada tem poucos milímetros de espessura e é aplicada sobre a anterior, também umedecida, com a desempenadeira, até obter a superfície lisa. Estas etapas podem ser melhor compreendidas, observando-se a figura 6.



Figura 6 – Umedecimento da base; aplicação da mistura com a colher de pedreiro; e, reboco final com a mistura de cal e areia aplicada com a desempenadeira

3. PINTURA À CAL

A pintura de cal tem grande utilidade na proteção final das paredes de terra. Ela pode ser aplicada diretamente sobre a superfície de terra ou sobre os rebocos e, em ambos os casos, apresenta notáveis qualidades para sua proteção à ação da chuva e da abrasão física. Diferente das tintas comerciais que são fabricadas a partir de polímeros vinílicos ou acrílicos, a pintura de cal não sela as superfícies, permitindo a troca natural de ar e vapor de água entre a parede de terra e o meio ambiente. Além disso, a alcalinidade da cal é também eficaz para eliminar fungos e bactérias patogênicas e inibir o desenvolvimento de colônias de insetos nas estruturas.

A base desta pintura é o hidróxido de cálcio que, com adequado nível de hidratação, se mistura com pigmentos naturais. Ao aplicar esta mistura nas paredes, os pigmentos formam

uma estrutura cristalina que em contato com o ar absorve CO_2 e perde água, transformando-se em carbonato de cálcio $[\text{CaCO}_3]$, uma substância insolúvel em água. Deste modo obtêm-se superfícies que podem manter sua cor e resistência durante séculos, além de conservar as qualidades de controle higrotérmico que caracterizam as edificações de terra.

Igualmente para o caso de misturas de cal para o reboco, é muito importante a seleção adequada da matéria-prima. O ideal é poder contar com o óxido de cálcio $[\text{CaO}]$ triturado ou pulverizado. Caso não seja possível obter este produto, deve-se utilizar então a cal parcialmente hidratada que normalmente é comercializada em sacos de 25 kg. Em ambos os casos, preferir o uso da matéria-prima com pouca idade de fabricação, pois sua exposição ao meio ambiente altera suas características adesivas.

Uma vez que se tem o óxido de cal ou a cal parcialmente hidratada, colocar o material em recipiente aberto e resistente ao calor e agregar água com muito cuidado. Este processo, conhecido como “apagar a cal”, converte a matéria-prima em hidróxido de cálcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ou “pasta de cal”, que apresenta a grande vantagem de conservar e inclusive de melhorar suas propriedades, desde que seja mantida coberta de água.

Em algumas regiões, conserva-se a tradição do uso de extrato de cactáceas para a dissolução da cal, obtendo-se misturas mais fáceis de trabalhar e com maior aderência. Os componentes essenciais dos extratos de cactáceas são mucilagens que têm a característica de reter água. Esta propriedade, que permite que as cactáceas sobrevivam sem o líquido vital por muito tempo, possibilita, nos rebocos e pintura de cal, a secagem lenta e uniforme, incrementando notavelmente sua resistência final. Para extrair a mucilagem dos cactos, basta cortá-los e deixá-los macerar em água (figura 7). Dependendo da temperatura do ambiente e da espécie de cactácea, este processo pode demorar de um dia até duas ou três semanas, e isso deve ser levado em consideração ao planejar o trabalho.



Figura 7 – Macerado de cacto. Adição e mistura da mucilagem em um recipiente cheio até a metade com pasta de cal

Embora existam opiniões diversas fundamentadas nas tradições locais, em geral é aconselhado deixar o macerado de cactos até o momento em que começa a perder seu odor fresco, sintoma de que se inicia o processo de fermentação. Passa-se o produto por um coador de modo a obter a emulsão limpa da mucilagem na água. A densidade desta substância varia em função do espécime de cactácea utilizado, sua data de corte, da temperatura ambiente e de outros fatores ambientais, sendo necessário algumas vezes agregar mais água até que adquira a consistência parecida com a de leite espesso.

Evidentemente, a falta do cacto não é impedimento para a utilização da pintura a cal, já que ela é usada em todo o mundo há muitos séculos dissolvendo o hidróxido de cálcio em água.

Para dar cor à pintura de cal, separadamente, dissolve-se o pó do pigmento mineral em uma pequena quantidade de água e se mistura perfeitamente até desfazer todos os grumos

(figura 8). Os pigmentos minerais são óxidos metálicos (geralmente de ferro) que, atualmente, são comercializados como “terras” ou “cores” para o cimento.



Figura 8 – Hidratação de pigmentos para a pintura e sua mistura à cal

Como não é fácil obter uma cromática uniforme cada vez que se prepara a tinta para a pintura, é recomendável calcular o volume total requerido e preparar uma única mistura, no recipiente com a capacidade necessária. Também é importante considerar que a tonalidade da cor é mais clara após a secagem e, por isso, antes de pintar grandes superfícies deve-se fazer provas em pequena escala.

Em alguns lugares, é costume agregar sal de cozinha ou sulfato de alumínio à tinta com a finalidade de melhorar sua aderência (figura 9). É suficiente uma colher de sopa para cada 20 litros de tinta preparada.

Assim como acontece com os rebocos, a aplicação da pintura deve ser realizada sobre a superfície previamente umedecida. Além disso, devem-se buscar maneiras de retardar a secagem o maior tempo possível. Convém selecionar as fachadas e pintar em função das horas que não recebem a ação direta dos raios solares e, caso não seja possível, colocar algum tipo de sombra para controlar a secagem.



Figura 9 – Adição de fixador à cal pigmentada e aplicação da pintura na parede preparada

Literatura sugerida

AZCONEGUI M., Francisco; MARTÍN S., Mónica; CASCOS F., Pedro Pablo; DÍAZ N., Alberto (1998). *Guía práctica de la cal y el estuco*. León: Centro de los Oficios de León.

CORNERSTONES COMMUNITY PARTNERSHIPS (2006). *Adobe conservation*. Santa Fe, New Mexico: Sunstone.

GÁRATE, Ignacio (2002). *Artes de la cal*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

- GARRISON, James W.; RUFFNER, E. F. (editores) (1983). *Adobe: practical and technical aspects of adobe conservation*. Tucson: Heritage Foundation of Arizona.
- GUERRERO, Luis (1994). *Arquitectura de tierra en México*. México: UAM-Azcapotzalco.
- GUERRERO, Luis (2005) Lime in the construction and restoration of the Mexican architectural heritage. In: *Lime: technical advances for conservation and case studies*. Santiago de Chile: Consejo de Monumentos Nacionales.
- GUERRERO, Luis (2006). Aplicación de la cal en estructuras tradicionales de tierra. En: *Anuario de Investigación sobre Diseño Sustentable*. Tampico: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- GUERRERO, Luis (2007). Tierra y cal. In: *Anuario de Estudios de Arquitectura 2007*. México: UAM- Azcapotzalco.
- HOFFMANN, Márcio Vieira (2002). *Efeito dos argilominerais do solo na matéria-prima dos sistemas construtivos com solo cal*. Salvador: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal da Bahia. Dissertação (mestrado)
- MAGALONI, Diana (1995). Técnicas de la pintura mural en Mesoamérica. En: *Arqueología Mexicana*. México: Ed. CNCA-Raíces.
- MARTÍNEZ, Wilfredo et al (2007). Estabilización volumétrica con yeso y cal de arcillas montmorilloníticas para empleo en adobes en Michoacán, México. In: *5º Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Memórias*. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- OLGUÍN, Mario A. (2008). *Comportamiento físico-mecánico de piezas de arcilla dopadas, estabilizadas con minerales como cal y/o yeso*. Morelia: UMSNH. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil.
- OLIVEIRA, Mário Mendonça (2005). O solo-cal: uma visão histórica e documental. En: *Terra e Seminário IV SIACOT – III ATP. Memórias*. Monsaraz: *Argumentum*; Escola Superior Gallaecia. p. 106-109.
- PAZ, Pedro (coord.) (2001). *Construcción práctica por Antonio Torres Torija*. México: INAH.
- WARREN, John (1999). *Conservation of earth structures*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- www.calhidra.com.mx/index1.html
- www.ambar-minera.com.ar/cal_s.html

Célia Neves, engenheira civil, mestre em Engenharia Ambiental Urbana, coordenadora da Rede TerraBrasil, membro do Projeto de Investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED e da Rede Ibero-americana PROTERRA, pesquisadora aposentada do CEPED – Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, Brasil; cneves2012@gmail.com

Obede Borges Faria, engenheiro civil; mestre em Arquitetura; doutor em Ciências da Engenharia Ambiental; membro do Projeto de Investigação PROTERRA/HABYTED/CYTED e da Rede Ibero-americana PROTERRA; presidente do Conselho Municipal de Habitação de Bauru; professor da Faculdade 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

Ana Paula Milani, engenheira civil, mestre e doutora em Engenharia Agrícola com ênfase em construções e ambiência, membro da Rede Ibero-americana PROTERRA e da Rede TerraBrasil, professora do Departamento de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cidade Universitária 79070-900 Campo Grande-MS Brasil Tel (55 67) 3345 7478 anamilani@dec.ufms.br; zanapaula@hotmail.com

André Falleiros Heise, arquiteto, mestre em Engenharia Civil pela Unicamp, associado do ABCTerra, professor de projeto da UNIBAN, proprietário da HEISE arquitetura. Tel: (55 19) 8144 2911 andre@abcterra.com.br

Fernando Cesar Negrini Minto, arquiteto, mestre em Arquitetura e Urbanismo pela FAUUSP, membro da Red Iberoamericana PROTERRA e da Rede TerraBrasil, associado da ABCterra, professor da disciplina de projeto da UNIBAN e de Industrialização da Construção na PUCCamp. Associado da assessoria técnica USINActah. Tel. (5511) 8609 5177; fernandonegrini@usp.br

Lucía Esperanza Garzón, arquiteta, com 20 anos de experiência em arquitetura e construção com terra e materiais naturais, membro da Rede Ibero-americana PROTERRA. Desenha, constrói, investiga e transfere tecnologias com materiais não convencionais. Coordena diversos programas de formação e promove cursos e seminários internacionais sobre tecnologia sustentável com terra. Participa de conferências, eventos e oficinas internacionais em EEUU, México, Portugal, Espanha, Brasil, Peru, Chile, EL Salvador, Venezuela, Costa Rica, Uruguai entre outros. Av. Calle 24, nº 82-51. Modelia, Bogotá, Colombia. Tel: (571) 263 5342.; luciagarzon@gmail.com

Luis Fernando Guerrero Baca, arquitecto, nestre em Arquitetura, doutor em Projeto com especialidade em Conservação Patrimonial. Coordenador da Rede Ibero-americana PROTERRA. Coordenador do Comitê Científico de Terra do ICOMOS–Mexicano. Profesor-pesquisador da *Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco*. Calle Grieta 165. Jardines del Pedregal. México D.F. c.c. 01900. Tel: (5255) 56527731, coordinacionprotterra@gmail.com luisfg1960@yahoo.es

Marcio Vieira Hoffmann, arquiteto e urbanista, mestre em Preservação e Restauração de Patrimônios Históricos pela FAUFBa, membro da Rede Iberoamericana PROTERRA e da Rede TerraBrasil, sócio da FATO arquitetura Ltda. Piracicaba, SP, Brasil. Tel: (5519) 34331573 www.fatoarquitetura.com.br, marcio@fatoarquitetura.com.br

Ramón Aguirre, arquiteto, especialista em abóbadas e coberturas leves de baixo custo, diretor técnico de *Arcilla y Arquitectura*, membro da Rede Ibero-americana PROTERRA. Instrutor de oficinas em México, Cuba, Argentina, Espanha, Guatemala, Uruguay e Colômbia. Atua há mais de 18 anos em pesquisa e construção de abóbadas mexicanas. Oaxaca, México. www.arcillayarquitectura.com aguirre30@msn.com

Rodolfo Rotondaro, 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 *Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo/UBA*. Pabellón III, 4to piso, Ciudad Universitaria C1428EHA, Buenos Aires, Argentina. Tel: (54 11) 45740398 rotondarq@telecentro.com.ar; rodolforotondaro@gmail.com

Currículo dos colaboradores

Andrés Nogués, arquiteto, diretor e chefe de projetos do escritório LAND arquitectos, membro da Rede Ibero-americana PROTERRA desde 2004. Docente da *Facultad de Arquitectura de la UDELAR*, Montevideu, Uruguai, desde 1986. Expositor no III SIACOT, *Tercer Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra*, em San Miguel de Tucumán, Argentina, 2004. Conferência “*Arquitectura de Tierra: 3 Proyectos – 5 Técnicas*”, *Colegio de Arquitectos de Mendoza*, Argentina, 2005. Atua há mais de 14 anos em pesquisa, projeto e construção de obras com diferentes técnicas de terra, adobe, *fajina*, BTC. arqnogues@gmail.com www.landarquitectos.com.uy

Ana Cristina Villaça Coelho, arquiteta e urbanista, mestra em Urbanismo, especializada em sustentabilidade das construções, doutoranda em Engenharia dos Materiais, consultora em sustentabilidade das edificações, projetista e construtora com os sistemas convencionais, membro da Rede Ibero-americana PROTERRA e da Rede TerraBrasil. Rua Vilhena de Moraes, 100 bl1 ap 406, 22793-140 Rio de Janeiro – RJ, Brasil. Tel: (55-21) 91466874 anavillaca@gmail.com

Juan Trabanino, guatemalteco, arquiteto especialista em construção com terra (DSA-terre, CRATerre-ENSAG) e artista. Instrutor para autoconstrutores com terra e materiais naturais na França e na Guatemala. Membro da Rede Ibero-americana PROTERRA e da rede Mesoameri-Kaab. Membro e fundador da associação ARCOLAN para a divulgação e pesquisa em arquitetura e construção com terra. Organizador do 1º ciclo de palestras em arquitetura de terra na FAOP (Fundação de Arte de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil) em maio 2010. juantrabanino@gmail.com <http://juantrababook.blogspot.com/>



Os trabalhos realizados atualmente pela Rede Ibero-americana PROTERRA, no âmbito da **Arquitetura e Construção com Terra**, são agrupados em quatro linhas de ação: Pesquisa, Educação Formal, Oficinas e Difusão. A diversidade na formação, atuação profissional e personalidade própria de cada um dos membros da Rede, influenciam a forma como se vinculam estas linhas de ação.

A fim de estruturar, de maneira lógica, a inter-relação dessas linhas e, sobretudo, para torná-las acessíveis à ampla gama de leitores, surgiu a idéia de criar um texto coletivo, em que alguns membros da rede colaborassem com sua experiência em diferentes técnicas de construção. Assim surgiu “Técnicas de Construção com Terra”.

O principal objetivo deste texto foi atender à necessidade de estabelecer um padrão de qualidade para as atividades oferecidas no âmbito do programa pedagógico das oficinas, realizadas com o apoio da Rede Ibero-americana PROTERRA. No entanto, o texto foi mais adiante. A profundidade dos assuntos tratados e com a clareza pedagógica de sua redação tornaram este documento adequado para o ensino e a prática de construção com terra em maior amplitude.

Este é um documento destinado às pessoas que se encarregam da realização de oficinas de transferência de tecnologia, mas também é muito útil para estudantes, professores, construtores, pesquisadores e profissionais de instituições de apoio à edificação com terra como um guia para a sua prática cotidiana. Com esta publicação, a Rede Ibero-americana PROTERRA dá mais um passo no cumprimento de seus objetivos, fazendo a ponte entre os diversos profissionais envolvidos com a arquitetura e construção com terra e a sociedade a quem se destina a servir.

Luis Fernando Guerrero Baca

Coordenador da Rede Ibero-americana PROTERRA



ISBN 978-85-64472-00-6



9 788564 472006