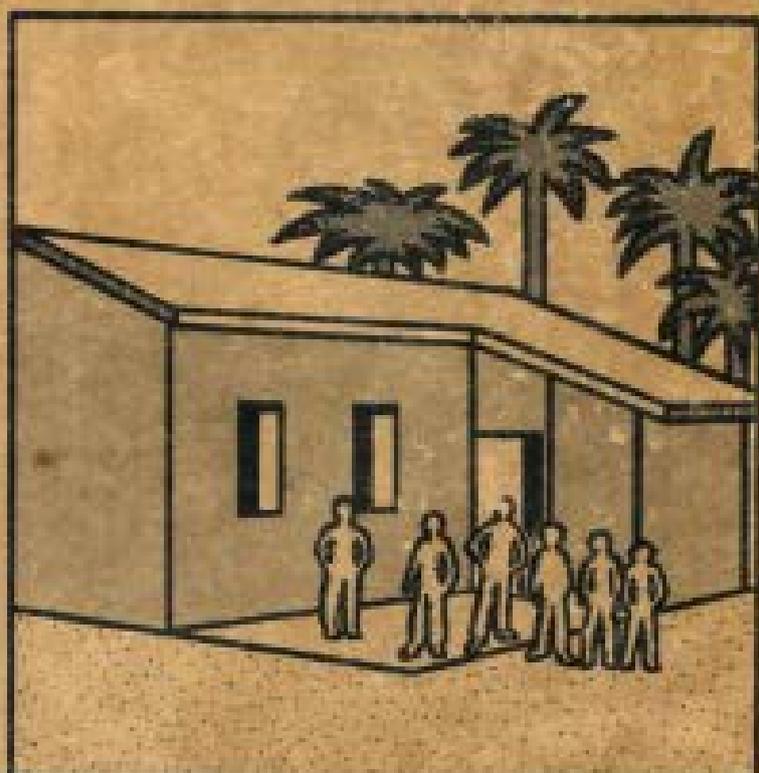
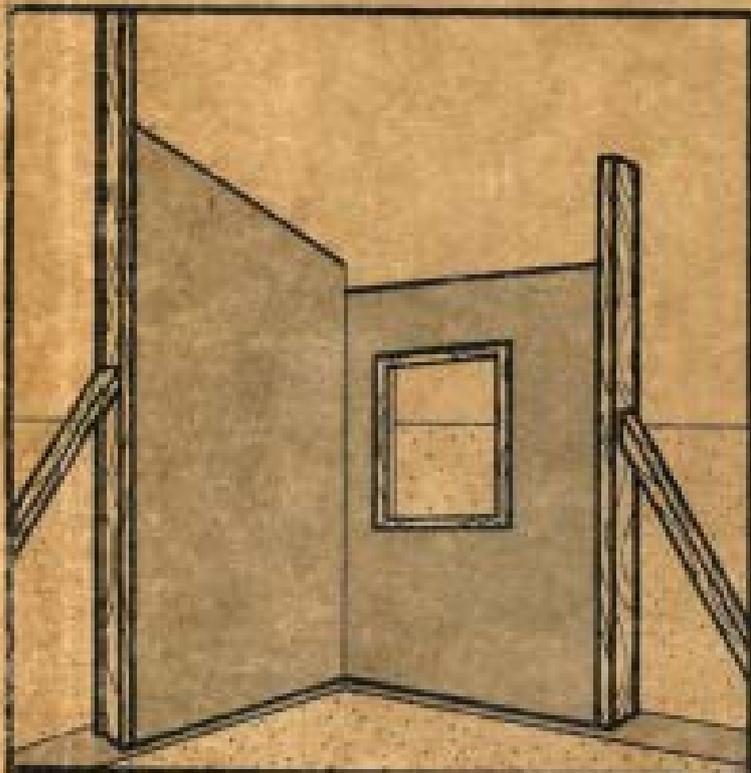
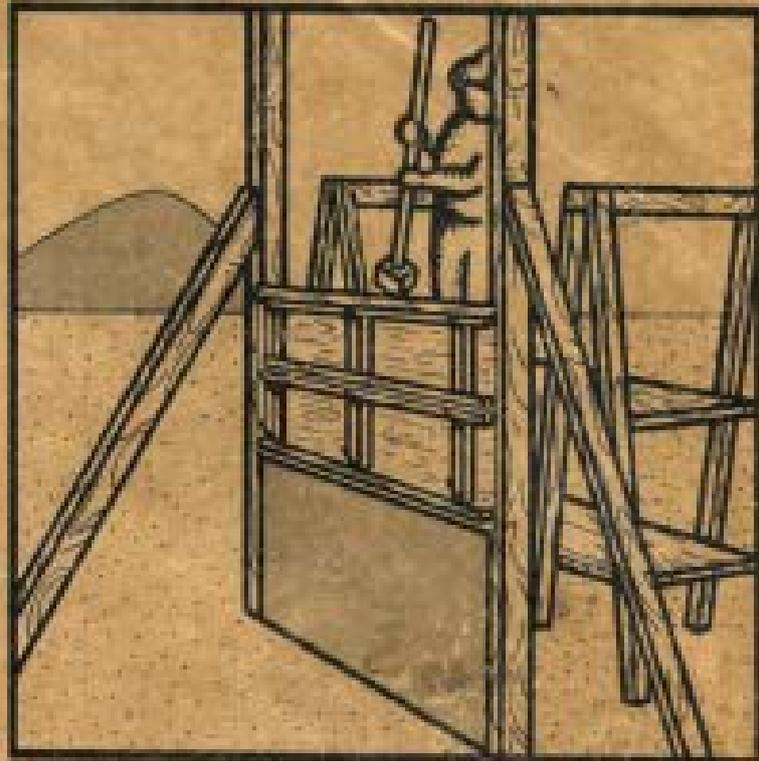
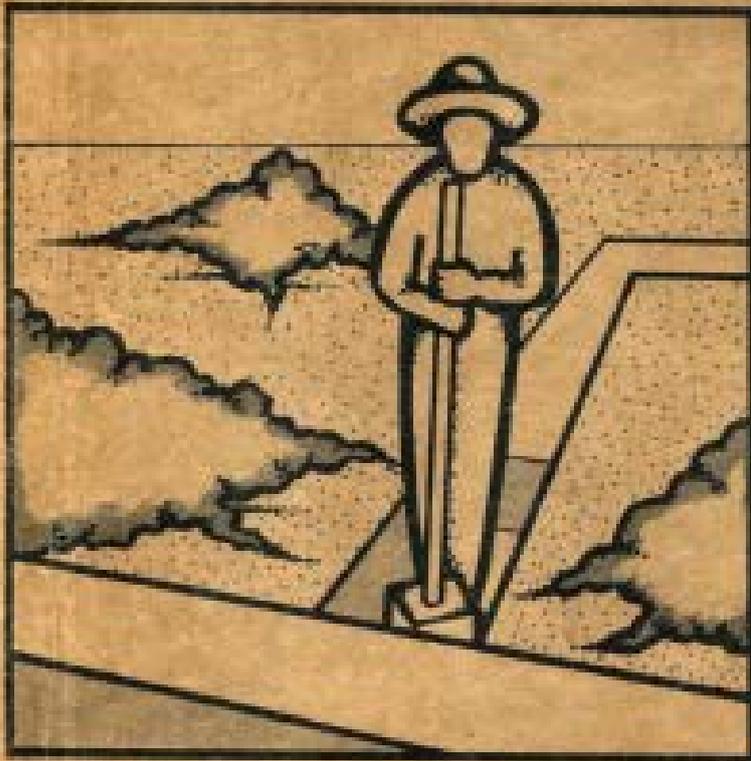


manual de construção com solo-cimento



MINISTÉRIO DO INTERIOR

BNH
BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO

CEPED
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS

thiba

ABCP
ASSOCIAÇÃO
BRASILEIRA DE
CIMENTO PORTLAND

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO – CEPED
PROGRAMA TECNOLOGIAS DA HABITAÇÃO – THABA

MANUAL DE CONSTRUÇÃO COM SOLO-CIMENTO

3ª EDIÇÃO ATUALIZADA (1984)

VERSÃO DIGITALIZADA (2020)

BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO – BNH

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÕES E EQUIPAMENTOS ESCOLARES – CEBRACE

COMPANHIA DE URBANIZAÇÃO DA BAHIA – URBIS

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR – CONDER

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMAÇARI – PMC

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS – OEA

ABCP
SÃO PAULO

1984

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO - CEPED
PROGRAMA THABA

Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. THABA,
Camaçari. *Manual de construção com solo-
cimento*. Convênio CEPED/BNH/URBIS/CONDER/PMC/
OEA/CEBRACE. 3. ed. atual. São Paulo, ABCP,
1984. 147p. il. Bibliografia. (Versão digital,
98p. il., 2020)

1. Construção com solo-cimento. 2. Habitação
popular. I. Título.

CDD 18. ed. 693.22
CDU 1976 691.41

SUMÁRIO

	Página
PRÓLOGO DA VERSÃO DIGITAL	6
APRESENTAÇÃO	7
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTOS HISTÓRICOS DA CONSTRUÇÃO COM TERRA	9
1.1 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA	10
<i>Adobes</i>	11
<i>Taipa de mão</i>	12
<i>Tijolos</i>	14
<i>Paredes monolíticas</i>	15
<i>Outros sistemas</i>	19
1.2 NOTAS HISTÓRICAS	19
CAPITULO 2 - SOLO-CIMENTO PARA A CONSTRUÇÃO DE PAREDES	26
2.1 INVESTIGAÇÕES REALIZADAS	28
2.2 CRITÉRIOS PARA DOSAGEM	29
<i>Resistência à compressão</i>	30
<i>Durabilidade</i>	33
2.3 RESULTADOS OBTIDOS	34
2.4 ESCOLHA DO SOLO A SER USADO	38
CAPÍTULO 3 - EXECUÇÃO	45
3.1 NIVELAMENTO E LOCAÇÃO	46
<i>Nivelamento</i>	46
<i>Locação</i>	47
3.2 PREPARO E CONTROLE DO USO DA MISTURA SOLO-CIMENTO	48
<i>Dosagem</i>	48
<i>Homogeneização</i>	49
<i>Umidade</i>	50
<i>Compactação</i>	51
3.3 FUNDAÇÕES	52
<i>Dimensionamento</i>	53
<i>Execução</i>	53
<i>Impermeabilização</i>	54

3.4 PAREDES	56
Estabilidade e isolamento térmico	57
Guias	59
Modulação e formas	52
Execução	63
Cura e Acabamento	68
<i>Esquadrias</i>	71
3.5 INSTALAÇÕES E COBERTURA	72
3.6 PISO	73
3.7 PINTURA	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXO – FOTOGRAFIAS DE OBRAS EXECUTADAS	81

PRÓLOGO DA VERSÃO DIGITAL

A primeira edição do Manual de Construção com Solo-cimento foi publicada em 1978, pelo Programa THABA do CEPED, que desenvolvia, desde 1975, projetos de pesquisa dedicados à busca de alternativas tecnológicas para a produção de habitações de interesse social. O Programa contava com o apoio de instituições governamentais estaduais e, principalmente, do Banco Nacional de Habitação (BNH), instituição federal criada em 1964 destinada ao financiamento de empreendimentos imobiliários. O propósito de investimento em projetos de pesquisas sobre alternativas tecnológicas para produção de habitações de baixo custo do BNH combinava perfeitamente às atividades do THABA, proporcionando uma valiosa parceria para o desenvolvimento e resultados almejados.

Neste ambiente, o Programa THABA iniciou um interessante projeto de pesquisa sobre o uso de solo-cimento compactado para a execução de paredes, notadamente para habitação de interesse social. O projeto abrangeu o estudo do material solo-cimento, o desenvolvimento de sistemas construtivos apropriados, análises de aspectos sociais e econômicos relativos à habitação popular, e a transferência da tecnologia.

Este Manual registra investigações relativas ao material e ao sistema construtivo, considerando aportes provenientes das atividades da transferência da tecnologia, que aconteciam paralelamente à etapa das pesquisas realizadas em laboratório, compartilhando resultados das pesquisas aos experimentos e vice-versa.

A terceira edição atualizada foi publicada em 1984, pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), que também apoiava os projetos de pesquisa do THABA.

Mesmo quase 40 anos depois da última edição, considera-se que o conteúdo deste Manual não está ultrapassado e, consciente da dificuldade de se encontrar exemplares disponíveis, decidiu-se produzir sua versão digital, o que permitirá sua difusão pelos meios informativos atuais.

Ao digitalizar, adotaram-se os termos técnicos atualmente vigentes assim como as unidades estabelecidas no sistema internacional de unidades, diferentes dos empregados na época da elaboração do Manual. Também se reorganizou a localização das figuras, colocando-as logo após sua citação no texto, e reconstruindo alguns gráficos pouco legíveis após a digitalização. A baixa nitidez das fotos do Anexo decorre da publicação impressa.

A versão digital é dedicada a Franciso Ferreira dos S. Azevedo, quem idealizou e iniciou a concretização do Programa THABA, cuja reconhecida e saudosa equipe prosseguiu após sua partida.

Célia Neves
dezembro de 2020

APRESENTAÇÃO

Cálculos mostram que a simples reposição do déficit atual de habitações e sua projeção até o final do século XX demandará um volume equivalente ao que existe desde que o primeiro homem construiu sua casa. A situação se agrava quando colocada diante de uma economia de mercado, com populações cuja renda mal cobre a própria manutenção.

Quase sempre a atitude diante de um problema deste porte tem resultado num salto para um nível superior de tecnologia: uma tentativa de produção em massa, com menores custos operacionais. Assim foi no pós guerra, em alguns países europeus que buscavam resolver rapidamente seus problemas habitacionais e optaram pela industrialização da construção. Assim vem sendo agora em alguns países do terceiro mundo, onde seus técnicos extasiavam-se diante da engenhosidade dos novos processos e seus empresários abrem os cofres para os contratos de *know-how*, compra de equipamentos e as promessas de um retorno maior. As novas tecnologias chegam com seus magníficos e custosos equipamentos, com a utilização de matérias-primas de aplicação mais nobre, e com seu baixo índice de empregos. Nessa altura já se perdeu de vista um dos objetivos básicos: construir mais barato. E o pior: não se tem pessoal especializado, não se tem um fornecimento regular de matérias-primas, não se pode assegurar uma absorção regular da produção, não se pode assegurar manutenção eficiente dos equipamentos, nem sempre se tem estradas e têm-se empresários com capacidade gerencial e financeira limitadas.

Além disso, uma casa pode ser construída com materiais cerâmicos, pedra, madeira, terra, cimento e um percentual elevado de mão de obra, quase toda sem especialização. Uma ponte, uma barragem, constrói-se com concreto, aço, equipamentos e mão de obra especializada. Mesmo que houvesse uma redução de custos na produção industrializada de habitações, haveria que se considerar o balanço de produtividade no quadro geral da sociedade, as consequências sociais e as demandas de caráter mais abrangente, que seguramente seriam afetadas. As tecnologias, sejam quais forem, devem guardar coerência e responsabilidade com as sociedades e os recursos humanos e naturais que as cercam, e as mais nobres, que são expressão da dignidade do próprio homem, de sua inteligência e capacidade criadora dos insumos de que se serve.

A "pacote" tecnológico corresponde o "pacote" habitação. A casa passa a ser um todo indivisível e as decisões envolvidas são tomadas autoritariamente. Compram-se com a casa as horas do arquiteto e do engenheiro, cujas decisões substituíram as do proprietário; a mão de obra, que poderia ter sido compartilhada; os materiais, que poderiam ser outros, pelo menos provisoriamente; e o cronograma da construção, que poderia ter tido interrupções, de modo a permitir uma recuperação financeira em cada etapa.

Segundo levantamento das Nações Unidas, cerca de 50% das habitações construídas nas grandes cidades da América Latina o foram por mecanismos de autoconstrução ou ajuda mútua, valendo-se dos mais variados materiais, quase sempre provenientes do desperdício na grande cidade ou de recursos naturais existentes: materiais usados, madeira, zinco, taipa, papelão, adobe, etc. Comparar este volume de construção com o que tem sido feito com a intervenção do setor formal da construção é ridículo. Não por ineficiência, mas, principalmente, pela rigidez deste setor de produção, ou, como queira, pela vitalidade que caracteriza o que tem sido feito informalmente. Assim, em verdade, uma casa tem mais a ver com as instituições humanas do que com as tecnologias de construção.

Dentro deste balizamento foi que se procurou orientar este trabalho, para que não se distorcesse em mais uma aventura tecnológica para solução de problemas sociais. A pesquisa aborda um dos aspectos do problema habitacional, o da produção de habitações. Dentro desta limitação, buscou-se preservar algumas variáveis que garantissem o uso dos resultados em um contexto de maior autonomia. Os materiais são de fácil obtenção, o sistema construtivo é razoavelmente simples e o investimento em equipamentos é mínimo. Os custos reduzidos são uma decorrência dessa flexibilidade que se tentou dar e que pode ser maior ainda.

Mas uma avaliação só poderá vir do próprio processo social, quando submetido ao jogo das forças e dos contrastes. É nossa esperança que aí mesmo, no desencontro da realidade, possa adquirir outras dimensões e diversificar-se.

Francisco Ferreira dos S. Azevedo
Célia Maria Martins Neves
Anilton Santos Silva
Dionísio A. Caribé de Azevedo
Eduardo H. Saphira Andrade
Diva Maria Ferlin Lopes
Suely da Silva Guimarães
Ismar Pacheco Assunção



CAPÍTULO 1

FUDAMENTOS HISTÓRICOS DA CONSTRUÇÃO COM TERRA

A terra, a pedra e a madeira foram seguramente os materiais de construção que até recentemente abrigaram a humanidade. A terra, principalmente, pela abundância e facilidade de aplicação. Mas a produção industrial de materiais, os novos padrões estéticos, as grandes concentrações urbanas e os custos crescentes da mão de obra foram aos poucos inviabilizando seu uso.

Nos períodos de escassez, após as duas grandes guerras, tentou-se reviver a prática de construção com terra. Após a segunda guerra, a ciência nascente da mecânica dos solos veio em apoio ao antigo sistema construtivo, propondo as novas técnicas de seleção de solo e uso de aditivos estabilizadores. Mas outro fator agora começava a pesar: as economias obtidas com o material usado eram cobertas por custos elevados de mão de obra, resultantes de sistemas construtivos primitivos com elevada incidência deste item.

A reconstituição histórica desta experiência permitirá a identificação mais precisa do processo desenrolado e dos fatores que obstruíram, ao mesmo tempo em que irá enriquecer a avaliação das alternativas propostas.

Antes, porém, apresenta-se antes uma descrição sumária dos vários métodos de construção com terra.

1.1 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO COM TERRA

A terra como material de construção pode ser utilizada, basicamente, de dois modos:

- a) a terra embebida em água, constituindo uma massa de consistência plástica ou "argamassa de solo";
- b) uma mistura úmida de terra e água, compactada ou prensada.

No primeiro caso, o produto resultante possui uma porosidade elevada devido à evaporação da água adicionada na preparação da massa. Por essa razão apresenta características mecânicas e de impermeabilidade inferiores ao material obtido no segundo procedimento. Além de tal fato, a evaporação da água pode provocar tensões capilares de retração no material, resultando em trincas muito comuns que aceleram a deterioração do mesmo. Na segunda alternativa, a terra é compactada ou prensada com uma umidade muito inferior à empregada para a massa plástica. Esta umidade, chamada umidade ótima, varia para cada tipo de solo e caracteriza as condições em que se pode obter a melhor compactação (maior massa específica seca); pode ser determinada em laboratório por procedimentos já rotinizados, embora existam critérios bastante simples para sua avaliação no campo. Devido à menor umidade, são menores os efeitos de retração no solo compactado, ao mesmo tempo em que é menor a porosidade, caracterizando assim um material mais durável e mais resistente mecanicamente.

Em ambos os casos de utilização de terra como material de construção, as propriedades mecânicas e de impermeabilidade podem ser melhoradas significativamente pela adição de pequenas porcentagens de alguns produtos ditos estabilizadores. Deste modo, a mistura de pedaços de palha ou fibras reduz acentuadamente o efeito da retração na secagem da massa plástica. A adição de óleos vegetais ou animais e emulsões asfálticas, tanto à massa plástica como ao solo compactado, tem o efeito de aumentar significativamente a impermeabilidade, melhorando as condições de durabilidade. A mistura de cimento ou cal pode produzir aumentos consideráveis da resistência mecânica.

A massa plástica de solo, o solo compactado e o solo prensado podem ser empregados na construção de fundações, muros, paredes, etc. A sistemática de utilização pode ser:

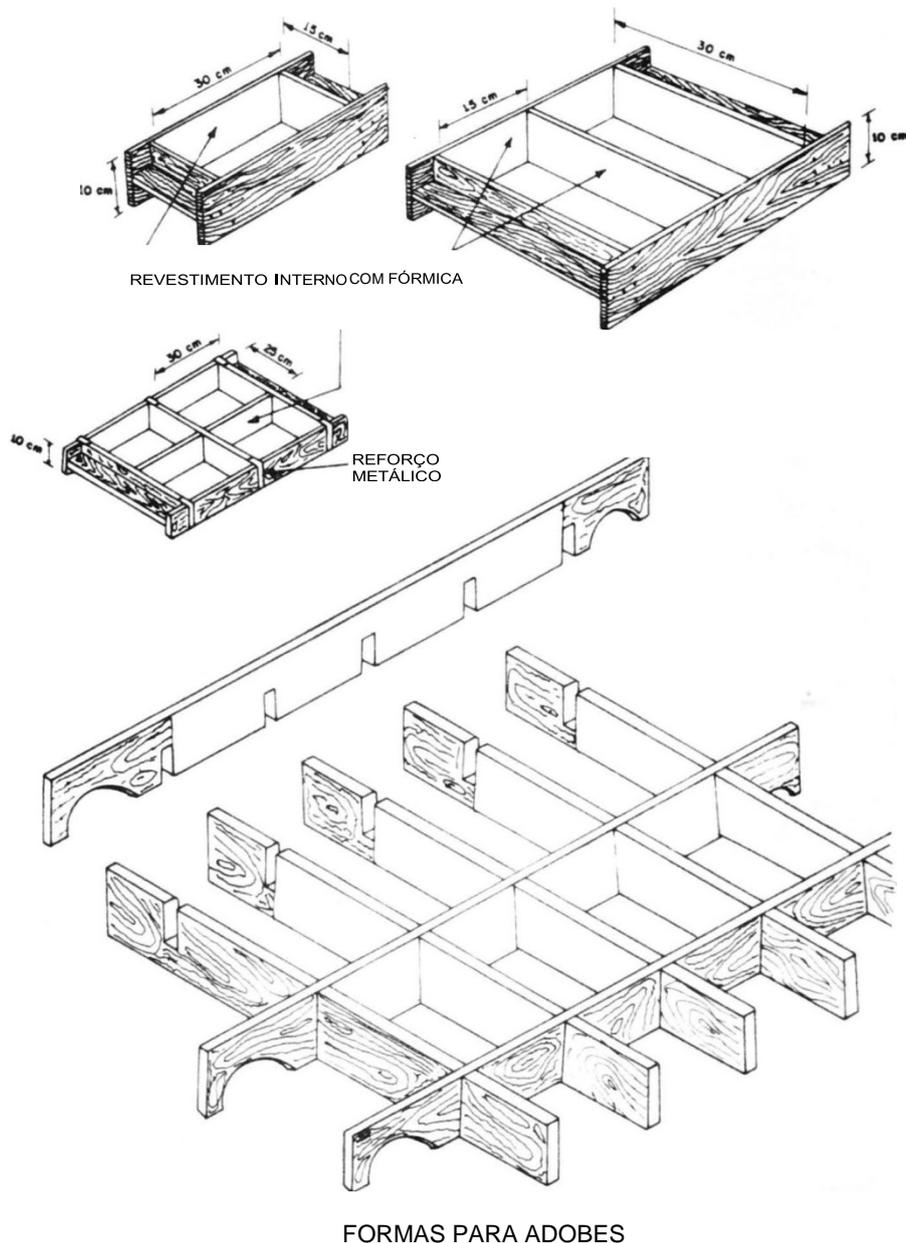
- a) massa plástica ou argamassa de solo – fabricação de adobes e material de enchimento da taipa;
- b) solo compactado – fabricação de tijolos por compactação, construção de fundações, paredes e muros monolíticos;
- c) solo prensado - fabricação de tijolos e telhas.

Adobes

Os adobes constituem um dos sistemas mais primitivos de construção com terra. São fabricados por colocação manual da massa plástica no interior de uma forma apoiada em superfície plana, procedendo-se imediata desmoldagem. Na figura 1, têm-se alguns modelos de forma que permitem a moldagem simultânea de vários adobes. O revestimento interno da forma pode ser feito em fórmica para facilitar a desmoldagem.

Após cada utilização, a forma deve ser limpa e lubrificada internamente com óleo. O inconveniente básico na fabricação de adobes é que se torna necessária a existência de uma área apreciável para a secagem inicial dos mesmos, até que tenham condições de ser empilhados. Essa área deve ser de preferência protegida da chuva, sol e dos animais que possam pisar nos mesmos, quando ainda não secos. Em locais onde a precipitação pluviométrica seja superior a 600 mm é conveniente o emprego de algum aditivo estabilizador cuja função seja a redução da retração e da impermeabilização. Entre os aditivos mais comuns estão a palha ou qualquer espécie de fibras, emulsões asfálticas e o cimento.

O tempo para empilhamento pode demorar de dois a até cinco dias, a depender do tipo de solo e aditivos usados. No caso de adobes melhorados com cimento, os cuidados nessa etapa inicial devem ser ainda mais rigorosos, em vista da cura do cimento.



FORMAS PARA ADOBES

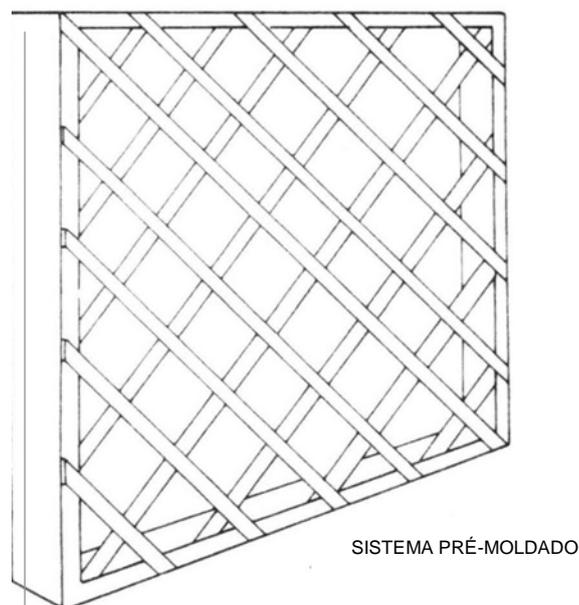
Figura 1

Taipa de mão

A construção com taipa (taipa de mão) consiste na montagem de uma trama reticulada de madeira e a posterior cobertura dessa trama com uma massa plástica de solo. Os efeitos da retração da massa de enchimento são muito pronunciados nesse tipo de construção, devido à heterogeneidade do material. Um revestimento posterior à secagem pode deter o efeito desagregador. No entanto, o maior inconveniente será no aspecto de durabilidade da madeira embutida nas paredes. O tempo médio de durabilidade de uma casa de taipa na Bahia é de três a cinco anos, embora existam casas protegidas com varanda à toda volta, em que as paredes têm até mais de 15 anos. Tentou-se no CEPED a substituição de parte da madeira empregada por uma tela metálica. A investigação demonstrou a inviabilidade econômica da tentativa, uma vez que a tela a ser usada teria que ser de grande rigidez,

portanto muito cara, porque a massa plástica de terra, mesmo enriquecida com cimento, não podia conferir a rigidez necessária. Uma tentativa interessante com tal sistema construtivo desenvolveu-se em Salvador e Recife, onde se tentou utilizar painéis reticulados de madeira, pré-moldados, que seriam posteriormente assentados e recobertos (figura 2).

Além do inconveniente de pouca durabilidade da madeira e da retração da massa plástica de enchimento, é necessário ressaltar o aspecto predador associado a tal sistema construtivo, uma vez que a madeira é cortada de uma vegetação ainda em formação, sem qualquer critério ou controle.

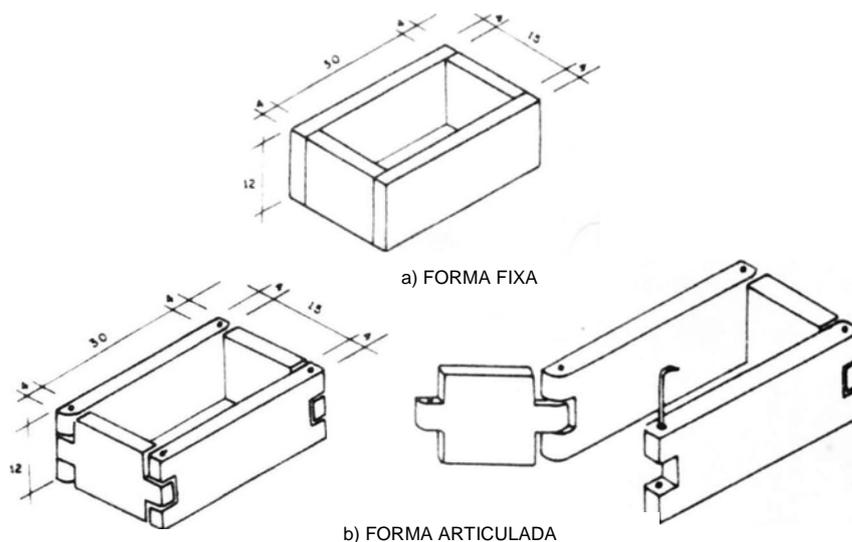


DETALHE DE CONSTRUÇÃO DE TAIPA

Figura 2

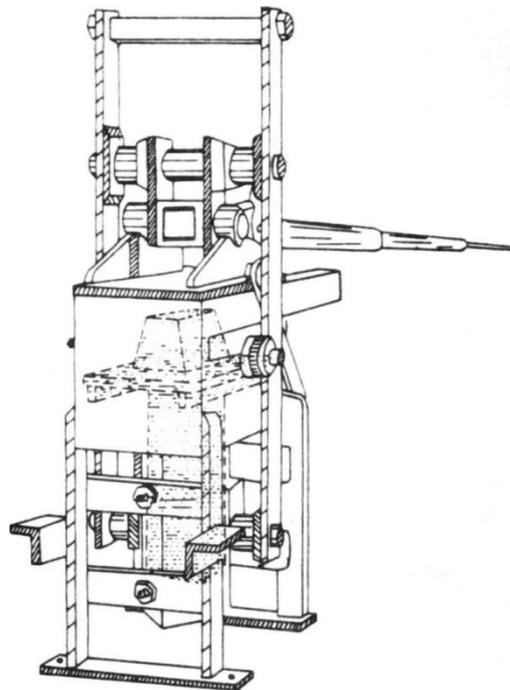
Tijolos

Os tijolos compactados ou prensados são fabricados utilizando-se de misturas de solo e cimento, compactados ou prensados na umidade ótima. O tijolo compactado é produzido com auxílio de uma forma simples em que a mistura úmida de solo-cimento é socada dentro de uma forma, de preferência articulada, o que permitirá uma rápida desmoldagem (figura 3). Na fabricação do tijolo prensado usa-se de um dispositivo mecânico com um sistema de alavanca para prensagem do solo-cimento (figura 4). O princípio fundamental de tais máquinas consiste em submeter uma mistura de solo-cimento a pressões muito elevadas dentro de uma forma metálica. Em prensas manuais a pressão de moldagem é de 2 MPa a 4 MPa, mas em algumas máquinas com prensagem hidráulica, essas pressões podem alcançar valores de mais de 10 MPa. Em ambos os processos o tijolo obtido é sobejamente superior aos adobes mencionados anteriormente e podem ser empilhados decorridos dois dias de sua fabricação. Devido às pressões elevadas de prensagem, o consumo de cimento é reduzido, da ordem de 5%, e o tijolo obtido é de excelente qualidade, superior mesmo aos de barro cozido. Seu custo atual no mercado em Salvador é superior ao destes. A produção prevista com dois operadores em máquinas manuais pode variar de 300 a 800 blocos por dia com oito horas de trabalho, enquanto em prensas hidráulicas pode ser de 800 a 1.200 tijolos por dia. Algumas máquinas desenvolvidas na África do Sul como a Ellson e Lahdcrete, mesmo manuais, dariam, segundo seus fabricantes, uma produção da ordem de 800 a 1.200 tijolos por dia, mais ou menos a mesma que com prensas hidráulicas.



FORMAS PARA COMPACTAÇÃO DE TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO

Figura 3



DISPOSITVO MECÂNICO PARA Prensagem de Tijolos de Solo-Cimento (CINVA-RAM)

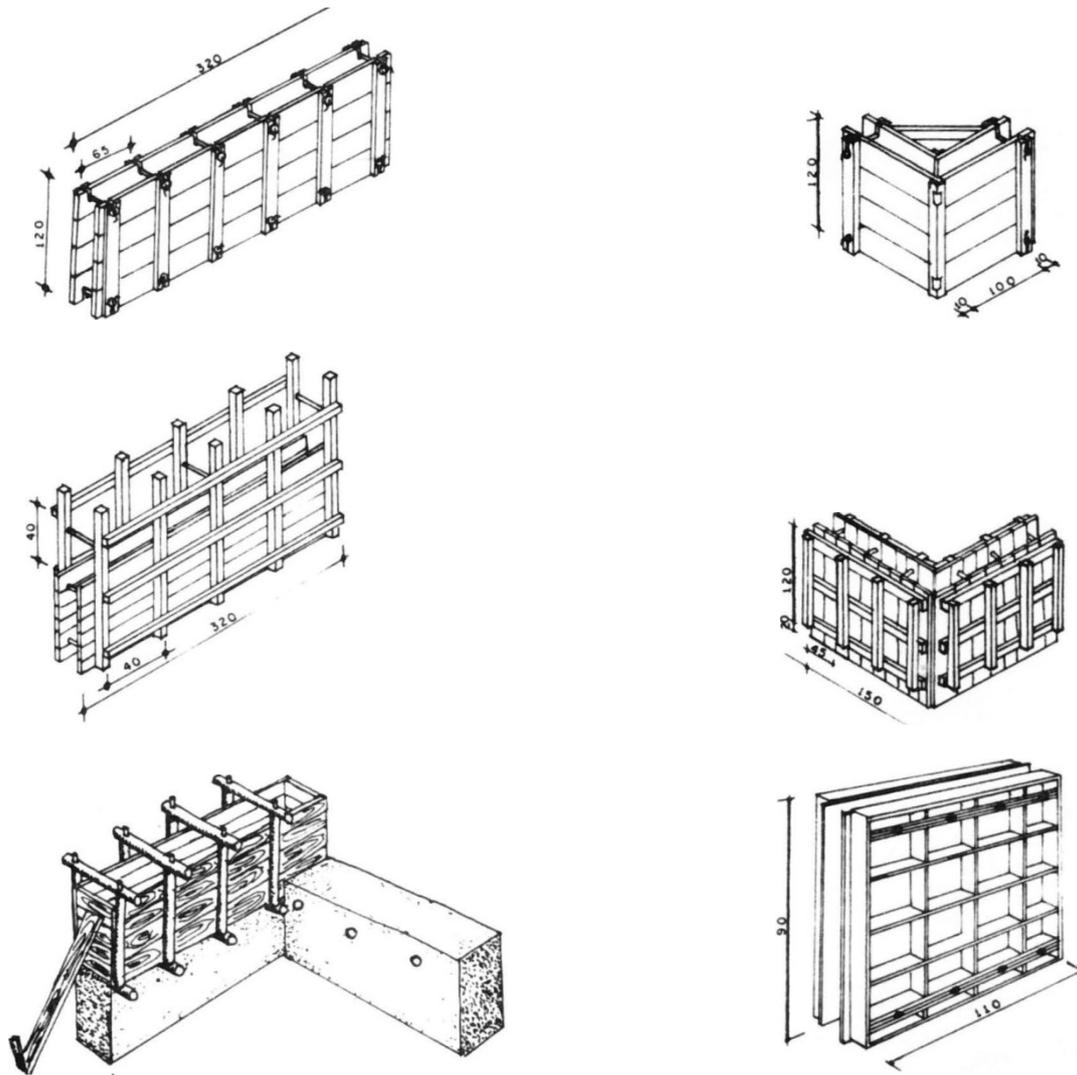
Figura 4

A fabricação manual de tijolos por compactação raramente alcança 300 tijolos por dia, com dois trabalhadores. Assim, em vista da facilidade de operação das máquinas de prensagem, e de seus custos relativamente baixos, no caso das prensas manuais, a solução de fabricar tijolos compactando-os individualmente em uma forma torna-se antieconômica para a produção em maior escala. No entanto, é um uso ainda muito difundido entre a população de baixa renda, fora da influência do mercado formal da construção.

Paredes monolíticas

A construção de muros e paredes monolíticas é executada com a compactação do solo sem aditivos, ou com solo-cimento, entre dois pranchões, usualmente de madeira. A compactação na umidade ótima permite imediata desmoldagem e compactação da camada seguinte, sobre a anterior. Este método é também conhecido como "taipa de pilão" em contraposição à trama de madeira recoberta, que é chamada "taipa-de-sebe", "taipa de mão", ou simplesmente "taipa".

Vários modelos de forma têm sido propostos, muito semelhantes em sua concepção fundamental. Tratam-se, normalmente, de pranchões de madeira, reforçados externamente e presos uns aos outros por parafusos. O prumo e alinhamento são feitos no assentamento de cada forma e a fixação é externa com o auxílio de alguns barrotes (figura 5). Quanto às dimensões, o fator limitativo refere-se ao peso de cada placa lateral que, neste caso, deve permitir condições de manuseio fácil além do fato de que o apoio das duas placas dar-se-á sobre a camada executada anteriormente.



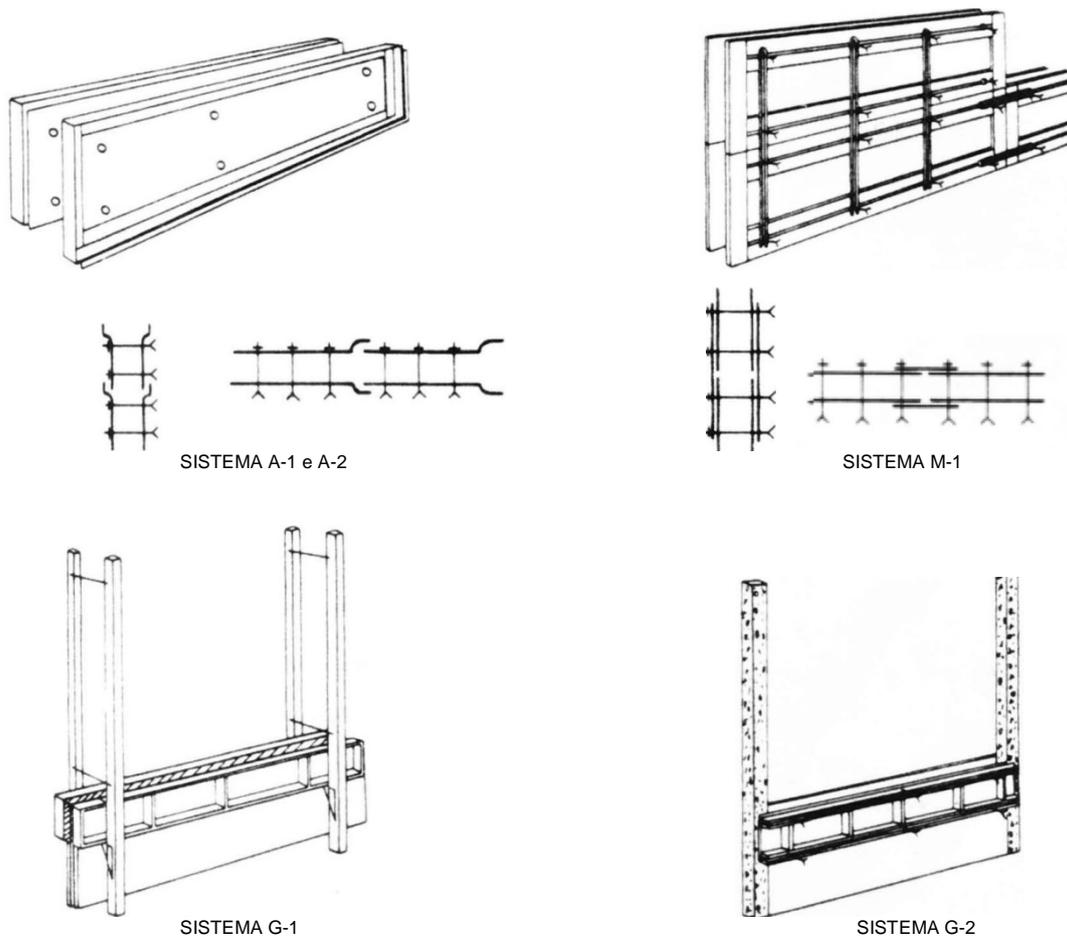
ALTERNATIVA DE FORMA PARA EXECUÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS DE SOLO-CIMENTO

Figura 5

Foi executado no CEPED um estudo para avaliação do desempenho de alguns modelos de forma. Na figura 6, tem-se esquematicamente, cada sistema ensaiado. Como critério de avaliação consideram-se os tempos gastos nas operações de montagem, enchimento e compactação, e desmontagem. Não se tomou em conta as características de acabamento, porque este não chegou a diferir muito de um sistema para outro, embora o uso das formas metálicas tenha permitido obter uma superfície menos porosa e mais lisa.

A dificuldade básica na construção de paredes monolíticas de solo-cimento está em se lograr um sistema prático de manter o alinhamento e o prumo das formas. Os tempos de montagem constituem sempre a maior demora durante a execução. As formas dos sistemas A1, A2 e M1 tentaram uma solução para tal problema, retendo em posição a forma correspondente a camada compactada anteriormente para guiar a fixação da forma seguinte por essa. O sistema não deu resultado, pois a articulação das formas teria que ser bastante precisa - qualquer imprecisão causa desalinhamento ou desaprumo que dificilmente será corrigido.

Melhores resultados foram obtidos com o sistema de guias G-1 e G-2, que demonstraram reduções sensíveis nos tempos de operação, mesmo considerando-se a instalação das guias. O sistema G-2 de guias embutidas na parede, recuperáveis ou não, é o se usa com mais frequência nas construções do CEPED. A preferência por este sistema está na facilidade de fabricação e manuseio dos dispositivos construtivos, não necessitando tanto rigor na sua utilização quando comparado ao sistema G-1. Nas figuras 7 e 8 têm-se graficamente os tempos medidos e o percentual de horas/m² de parede, distinguindo-se os tempos de servente e pedreiro.



SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA EXECUÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS DE SOLO-CIMENTO
(ENSAIADOS NO CEPED)

Figura 6

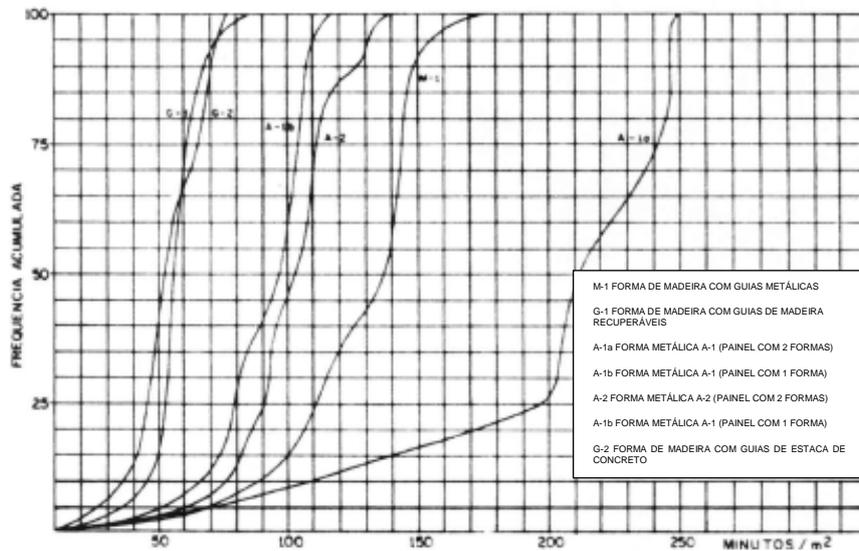
Os sistemas construtivos em paredes monolíticas apresentam vantagens em relação aos sistemas de fabricação de adobes, tijolos e a taipa, tais como:

- não é necessária a mão de obra que se utiliza para a fabricação de adobes e tijolos;
- não são necessárias as áreas usadas para a fabricação e estocagem de adobes ou tijolos;
- não é necessária a espera de cura para posterior execução das paredes;

d) o acabamento final das paredes é bastante razoável, dispensando o uso de revestimento na maioria dos casos;

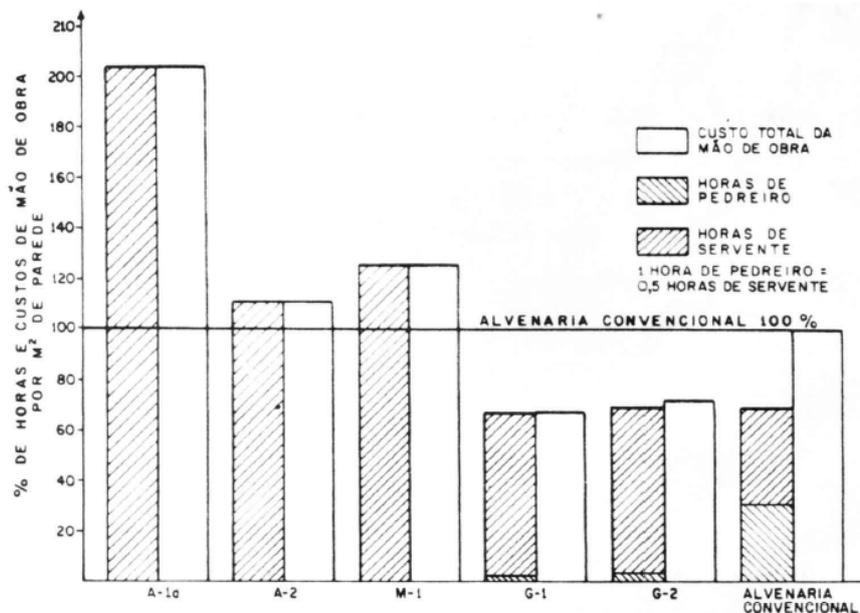
e) as paredes são monolíticas, com excelente desempenho estrutural, dispensando, em terrenos com boas condições de apoio, o uso de qualquer elemento estrutural de concreto como cintas, baldrames, etc.;

f) as condições de durabilidade podem ser equivalentes aos materiais convencionais e superiores às das paredes de adobes e de taipa.



TEMPO DE OPERAÇÃO PARA DISTINTOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Figura 7



NÚMERO DE HORAS E CUSTOS DE MÃO DE OBRA PARA DISTINTOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Figura 8

Outros sistemas

Outros sistemas construtivos, mais primitivos, são citados pelo Eng. Ângelo Murgel, em um artigo sobre a casa rural brasileira (44):

- a) tijuco: consiste no empilhamento de cascarões de barro, formados por secagem em terrenos argilosos;
- b) barroca: ereção de paredes pela superposição de camadas de barro plástico sem emprego de formas, cujos bordos excedentes são aparados a faca antes da secagem completa;
- c) torrões: construção rural de uso mais difundido no Rio Grande do Sul, em que se cortam blocos da camada superior do solo, armada pela trama radicular das gramíneas.

Estes sistemas caracterizam usos e hábitos regionais, exteriorizando não apenas a precariedade de recursos, mas também costumes de migrações permanentes. Apresentam interesse em que expressam um poder criativo que parece acentuar-se na medida da própria carência.

1.2 NOTAS HISTÓRICAS

A terra como material de construção e uma manifestação marcante das possibilidades de utilização de recursos naturais abundantes na convivência do homem com a natureza. Os antigos conheceram essa disponibilidade e souberam explorá-la do melhor modo possível. Várias de suas obras alcançaram nossos dias desafiando séculos de ação abrasiva de ventos e chuvas: na China, a Grande Muralha é um dos primeiros exemplos, na Índia, no Paquistão, onde se descobriu recentemente um edifício construído com terra há três mil anos, na Babilônia e em quase toda a Mesopotâmia, na Assíria, no Egito, onde blocos de adobe foram usados pela primeira vez para a construção de arcos e domos.

A técnica construtiva variou desde os adobes moldados de uma mistura plástica de terra e água, aos adobes melhorados com asfalto natural, como no caso de construções na Babilônia e Assíria, adobes com palha e bambu para reduzir o efeito de retração como no Egito, até as construções com taipa na Europa Central e os muros de terra compactada em fortificações ainda na Babilônia.

Com a expansão do Império Romano, essa técnica construtiva alcançou partes da França, Alemanha, Inglaterra e Península Ibérica. Na França, o sistema introduzido de construção com terra compactada, ainda largamente usado ao sul do país, recebeu o nome hoje muito divulgado de "pisé". Nas Américas, os métodos de construção com terra existiam independentemente em países como Peru, México e Sudoeste dos Estados Unidos, regiões

mais favorecidas por suas características de clima quente e seco. Os espanhóis, principalmente, no México e países da América Latina adotaram a construção com adobes. Dai a técnica se difundiu aos Estados Unidos, onde um dos primeiros edifícios foi o Palácio dos Governadores, em Santa Fé, Novo México, em 1609. Quase da mesma data, tem-se o Convento de São Francisco, na cidade argentina de nome também Santa Fé, cujas paredes terminaram em 1695. Infelizmente, por problemas de sismos consecutivos, muitas das construções do período colonial não alcançaram sobreviver até os dias atuais.

No Brasil, as construções com terra constituem a grande maioria da arquitetura colonial. Aqui, esse processo construtivo foi seguramente trazido pelos portugueses, uma vez que não se tem notícias de que o índio tivesse empregado sistematicamente a terra como material de construção. Carlos Cerqueira (35), em seu estudo sobre a Casa Colonial Paulista, comenta que, durante três séculos do período colonial, a matéria-prima para construção em São Paulo foi a terra e o sistema construtivo a "taipa de pilão". Segundo este autor, as primeiras notícias de casas de tijolos cerâmicos (denominados tijolo de barro cozido na época) somente aparecem por volta de 1700 a 1800. Também em outras regiões do país, como no Nordeste e Centro-Oeste, as construções com terra foram as mais frequentes e ainda hoje são práticas comuns em áreas rurais e entre a população de baixa-renda. No entanto, ao contrário da taipa de pilão, largamente usada em São Paulo e também em Minas Gerais e Mato Grosso, as construções são preferencialmente em taipa de mão adobe.

As tentativas de formulação de uma tecnologia de construção com terra parecem que primeiro ocorreram na Rússia em 1870, quando foi criada em Nikolsk uma escola para ensino de métodos de construção com terra; outra manifestação deu-se em 1806, quando S. W. Johnson Brunswick, Nova Jersey, Estados Unidos, escreveu um livro sobre construção com terra compactada. Ainda no início do século dezanove, alguns livros-texto de construção, publicados na França e na Alemanha, apresentavam um capítulo sobre construção com terra. O engenheiro Alvaro Milanez (41) cita um manual publicado em 1880 no Rio de Janeiro, de autoria de Cesar Rainville e intitulado "O vinhola brasileiro".

No entanto, com o desenvolvimento das facilidades de transporte, o surgimento da produção industrial de materiais mais duráveis e a abolição gradual da mão de obra escrava, a técnica construtiva, que havia abrangido até então uma grande parte da humanidade, foi gradativamente marginalizada das grandes obras públicas e privadas, nas quais começaram a concorrer o gosto pelos padrões estéticos ditados pelos novos materiais. No entanto, entre as populações menos favorecidas, tais técnicas sobreviveram justamente devido aos custos elevados da construção no mercado, sempre puxados para cima pela demanda nas outras faixas de renda. Por vezes, seu uso foi limitado por disponibilidade de terra, como ocorre em alguns aglomerados urbanos subnormais, onde é maior a facilidade

de obtenção de outros materiais no desperdício da grande cidade, como pedaços de tábuas, caixotes, papelão, latas, plásticos, etc.

Mas essa técnica construtiva foi revivida em século XX, em períodos de escassez de materiais e habitação. Isto se deu em vários países da Europa, logo após as duas primeiras guerras. É conhecida a campanha informativa iniciada na Inglaterra após a Primeira Guerra, pelo editor J. St. Loe Strachey nas colunas de seu periódico "Spectator". Tais informações foram responsáveis pela construção de algumas casas pelo governo, além do interesse com que alcançou as colônias da África do Sul, onde se desenvolveu um ativo programa de construção. Também tais artigos atraíram a atenção do "Literary Digest" nos Estados Unidos, iniciando uma fase de renascimento da construção com terra e de importantes programas de investigação: em 1936, é publicado o primeiro de três importantes trabalhos de Ralph L. Patty (45), que iniciou no South Dakota Experimental Station uma atitude mais científica de experimentação com a construção com terra compactada. Durante mais de dez anos, Patty construiu muros de prova, investigou as características do material e estudou revestimentos e pinturas para a terra compactada.

Outro engenheiro, também natural de Dakota, Elbert Hubbel, interessou-se pelo trabalho de Patty e construiu silos, casas para índios e uma grande escola. Em 1941, Hubbel foi convidado pelo *Bureau of Standards* a trabalhar num projeto em que se investigavam propriedades estruturais e térmicas de uma série de materiais de construção, entre os quais estava incluída a terra compactada. As investigações realizadas pelo *Bureau of Standards* constituem as primeiras observações do comportamento estrutural de paredes de terra compactada, solo-cimento compactado, blocos de solo-cimento e adobes melhorados com asfalto. Os resultados confirmam o excelente desempenho de tais materiais, especialmente as paredes monolíticas de terra e solo-cimento.

Ainda nos Estados Unidos, nessa mesma época, durante a Segunda Guerra, a *Federal Works Agency* patrocinou a construção de uma série de casas experimentais em Cameron Valley, próximo a Alexandria. O projeto, confiado ao engenheiro Ton Hibben, era a primeira tentativa de construção em massa de casas de terra compactada. A inovação consistia na utilização de grandes formas de metal e compactadores mecânicos. Segundo Merrill (39), o insucesso do projeto deve-se a várias falhas desde a escolha dos materiais ao uso das formas metálicas, que, por peso, apresentavam dificuldades de manuseio.

Outro interessante projeto americano, que, no entanto, não foi executado, deve-se ao conhecido arquiteto Frank Lloyd Wright. Tratavam-se de casas para um grupo de operários de uma fábrica de Detroit. A inovação proposta pelo genial arquiteto foi a de construir as paredes exteriores da casa em talude, o que simplificaria a utilização de formas que só seriam empregadas no lado interior da parede.

Esta fase de desenvolvimento da construção com terra compactada encerra-se ainda na década de 1940, com o clássico livro de Merrill "The Rammed-Earth House", publicado em 1947. É que já alguns anos antes, em 1935, a *Portland Cement Association* (PCA), considerando os promissores resultados obtidos do comportamento de misturas compactadas de terra e cimento, iniciou um intenso programa de pesquisas com vistas à utilização de tal material na construção de estradas. Na verdade, os primeiros ensaios com solo-cimento que chamaram a atenção do PCA foram feitos em 1932, por Charles H. Moorefields, no *South Carolina State Highway Department*. Nos laboratórios da PCA desenvolveram-se os notáveis trabalhos de Miles D. Catton (12), que definiram as propriedades e critérios básicos de dosagem, ainda em uso. Catton foi ainda capaz de anteciper a possibilidade de utilização do novo material, o solo-cimento, como material para construção de casas, alternativo aos materiais convencionais. É interessante notar que, dada a excelência do material, logo o mundo inteiro interessou-se por seu uso, principalmente em estradas, cabendo citar que, já em 1941, o Brasil, através de sua organização similar, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), já dispunha de um método de dosagem.

Merrill também previu as promissoras possibilidades de utilização do solo-cimento na construção de casas, mas esse uso não se generalizou como se esperava. Em seu livro o autor chega a citar resultados de inspeções feitas juntamente com a PCA em duas obras executadas com blocos de solo-cimento. Na primeira dessas obras, em Fort Washakie, utilizou-se de uma máquina portátil hidráulica para prensagem dos blocos. A segunda obra foi o grande edifício de investigações da Universidade de Kansas, em que os blocos foram compactados manualmente e extraídos dos moldes por um dispositivo mecânico. O autor fala ainda em planos comerciais que estariam existindo para fabricação mecânica de solo-cimento. No entanto, além de tais iniciativas, as notícias de uso de solo-cimento, especialmente no que se refere à construção de paredes monolíticas, são bastante escassas.

As informações referem-se, principalmente, a construção de algumas casas cuja decisão se deve mais ao espírito arrojado de algum interessado do que à expressão de uma utilização generalizada da nova técnica.

Algumas experiências através da ABCP já haviam sido tentadas nessa época no Brasil e compreendem, fundamentalmente, uma construção com 42 m² para uma casa de bombas em Santarém, no Pará, algumas casas residenciais em Petrópolis e um hospital em Manaus, este com uma área de 10.800 m², com capacidade para 432 leitos, terminado em 1950. Esta última obra, conforme inspeção feita pela própria ABCP em 1976, apresenta-se em excelente estado, apesar dos 26 anos decorridos de sua construção (58). Com os resultados das duas primeiras experiências, a ABCP publicou em 1948 o seu boletim n^o 54,

"Casas de paredes de solo-cimento" (9), com critérios para dosagem, métodos de preparo da mistura, desenho de formas e tipos de pintura. Esta publicação é até hoje uma das poucas existentes sobre o assunto em língua portuguesa.

Simultaneamente com a experiência brasileira, o *Instituto del Cemento Portland Argentino* (ICPA), através da experiência americana, organizou vários boletins e folhetos sobre o novo sistema construtivo, além de ter sido responsável pela construção da primeira casa de solo-cimento no país. Ainda na Argentina, o Ministério da Agricultura construiu silos em solo-cimento para armazenar um milhão de toneladas de grãos, além de uma casa na *Exposición de Ganaderia de la Sociedad Rural Argentina*, terminada em 1943. O arquiteto argentino José Luis Moia, que traduziu para o espanhol o livro de Merrill (39), fala sobre outras experiências de construção com solo-cimento compactado, que teriam tido grande sucesso. Ainda em um boletim do ICPA, encontra-se a informação da construção de uma casa com 400 m² de área, em solo-cimento, em Sanandita, na Bolívia (32).

No Brasil, talvez por influência da experiência argentina, o Eng. Ângelo Murgel publica na Revista do Serviço Público, em 1949, o artigo "A casa rural brasileira" (44), com informações bastante didáticas de construção com adobes e paredes monolíticas, utilizando-se, inclusive, de solo-cimento.

Também no Chile, através da *Estación Experimental de Vivienda da Universidad Católica de Chile* (22), tem-se notícias de construção de duas casas experimentais a partir de 1952 e de um programa de investigação em solo-cimento reforçado com fibras vegetais, arame farpado, ferro redondo, etc. Infelizmente, não se dispõe de maiores informações sobre tal programa.

Na década de 1950, talvez os programas mais interessantes de investigações e construções com terra tenham sido os desenvolvidos em Israel (17), através do Ministério do Trabalho daquele país e com a participação da Administração de Ajuda Técnica das Nações Unidas e a do *Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento* (CINVA) (16), estabelecido em 1951, em Bogotá, Colômbia, com a participação da Organização dos Estados Americanos (OEA).

O Relatório resultante do trabalho em Israel foi publicado por S. Cytryn (17), diretor do departamento responsável, com tradução em espanhol. Foram construídas cerca de nove casas experimentais entre 1953 e 1954, sendo oito com paredes exteriores monolíticas de terra compactada, sem agente estabilizador, e a restante com blocos prensados com e sem estabilização. Embora sem muitas inovações quanto ao sistema construtivo, as investigações reúnem interessantes observações quanto a critérios para escolha de solos, dosagem e uso de equipamentos mecânicos para mistura e fabricação de blocos. Cytryn

preocupou-se em reunir toda a bibliografia disponível sobre o assunto, o que faz de seu relatório um marco fundamental de referência.

O trabalho do CINVA, na Colômbia, além da OEA, teve a participação de serviços de assessoria técnica da Universidade de Yale, além da participação do próprio governo colombiano. Sua publicação "Suelo-cemento, su aplicación en la edificación" (16), editada em 1963 e posteriormente reeditada pela ONU, é um clássico sobre o assunto. Neste trabalho, a maior ênfase é dada nas construções com blocos de solo-cimento, para cuja fabricação desenvolveu-se nesta entidade um modelo bastante simples de prensa manual, hoje muito conhecida pela denominação CINVA-RAM. Máquinas desse tipo já haviam sido desenvolvidas na África do Sul, em Johannesburg, com as denominações comerciais de "Landcrette" e "Ellson". O CINVA dispõe ainda de interessante experiência em aspectos de organização comunitária para atividades de ajuda mútua em programas de construção.

Cumprir notar ainda, que neste período, em 1958, foi que se deu a publicação no Brasil do livro "Casa de terra" do Eng. Álvaro Milanez, editado pelo Serviço Especial de Saúde Pública do Ministério da Saúde (41).

As experiências que se seguiram após esse período de pós-guerra foram dispersas e sem maior continuidade. De modo algum se pode afirmar que corresponderam às expectativas que tiveram os primeiros pioneiros, logo quando visualizadas as possibilidades de uso do solo-cimento.

As seguintes razões poderiam ser identificadas:

- a insegurança quanto a uma tecnologia que é propriedade, quase sempre a contragosto, de alguns poucos centros de investigação dispersos em vários países;
- o pouco interesse na divulgação de uma tecnologia que poderia concorrer vantajosamente com o mercado já consolidado dos materiais de construção convencionais; Merrill (39), em 1947, já insistia várias vezes quanto a esse boicote; Meza Cuadra, em comunicação pessoal, fala dessas dificuldades quando na implantação de um programa de construção, empregando adobes estabilizados com asfalto, em Lima, Peru;
- os custos de mão de obra.

No entanto, em vista da assustadora e crescente demanda habitacional nas grandes cidades, especialmente no mundo subdesenvolvido e para as faixas de mais baixa renda, os governos de tais países veem-se cada vez mais pressionados pela necessidade de identificar alternativas ao uso de materiais convencionais. A tendência tem se localizado no sentido de utilização dos blocos prensados de solo-cimento, talvez pela facilidade de se obter as máquinas de prensagem, já fabricadas comercialmente em muitos países. São

vários os exemplos de iniciativas governamentais ou entidades beneficentes ou religiosas na África, México, Estados Unidos, Argentina e Brasil, nas quais programas de autoconstrução e ajuda mútua são implantados com a utilização de tais equipamentos. No Brasil, apesar das características de centralização dos programas habitacionais, têm-se notícias de que são desenvolvidos trabalhos de tal natureza em 75 comunidades espalhadas pelo país. Na Bahia, em Salvador, o trabalho em duas comunidades já dura nove anos e foram construídas mais de cento e sessenta casas, todas com blocos prensados de solo-cimento.

Esta solução, embora possa permitir a obtenção de blocos a menor custo, tem, no entanto, a limitação de exigir na construção a mesma mão de obra especializada que nas construções convencionais. Crítica idêntica pode-se fazer com relação a fabricação de adobes melhorados a exemplo da recente experiência no Peru, com adobes estabilizados com asfalto.

Ainda com relação a construções com terra a nível regional, é importante citar o projeto de Cajueiro Seco (30), no Recife, em 1963, em que se pretendia a construção de casas de taipa, utilizando-se de painéis pré-moldados de madeira. A ideia também foi desenvolvida na mesma época na Bahia pelo arquiteto Walter Gordilho. Infelizmente, com as mudanças políticas de 1964, tais proposições não tiveram continuidade.

Recentemente, em 1975, a tentativa de construção de casas de taipa ao nível do mercado formal da habitação foi revivido em Salvador pela COHAB local. Os resultados foram surpreendentes, tendo as casas de taipa custado mais caras que as casas construídas com materiais convencionais e mesmo acabamento.

Concluindo, atualmente no Brasil, o uso de terra como material de construção ainda pode ser distinguido em dois níveis: por um lado, a sobrevivência dos sistemas construtivos mais primitivos - a taipa e o adobe, gerados pela carência em que vivem algumas populações; por outro lado, e em numero muitas vezes menor, os programas de construção marginais ao mercado formal da habitação, vinculados a trabalhos comunitários por entidades religiosas, e que se utilizam basicamente de tijolos prensados.

O presente trabalho é mais uma das tentativas feita no sentido de superar tecnologicamente as deficiências encontradas anteriormente, e ao mesmo tempo, propor alternativas coerentes, por simplicidade, eficácia e custo, existentes às soluções existentes.



CAPÍTULO 2

SOLO-CIMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE PAREDES

A estabilização de solos para adequá-los ao uso que se pretende não é um procedimento recente. Como se conhece, a adição de asfalto natural ou palha na confecção de adobes para melhorar a impermeabilidade ou reduzir a retração é uma prática milenar. A própria compactação do solo, ou a mistura com outros para melhorar suas características granulométricas, são tipos de estabilização de uso muito frequente.

Apenas um tipo de estabilização é discutido neste trabalho. Como as preocupações básicas se orientaram para as possibilidades de utilização do solo estabilizado como material de construção, as intensões na estabilização referem-se ao aumento de resistência mecânica e de durabilidade. Foi eleito um estabilizador químico de obtenção fácil no mercado de materiais de construção, o cimento, cujas propriedades na estabilização de solos consagraram seu uso há já quase quarenta anos, na construção de estradas.

As reações que envolvem as mudanças de propriedades dos solos por adição de cimento não são bem conhecidas. Sabe-se que em areias a ação de cimentação é a mesma que se processa nos concretos, desenvolvendo vínculos de coesão nos pontos de contato entre grãos. Nos solos argilosos, além destas reações normais de endurecimento, existem reações entre a superfície dos grãos de argila e a cal liberada na hidratação do cimento. Deste modo, resulta evidente que os principais fatores que irão intervir nas características finais do solo-cimento serão, logicamente, o teor de cimento, a natureza do solo e a compacidade da mistura.

A cal é outro produto de fácil obtenção e que apresenta propriedades de estabilização em alguns solos. Na verdade a estabilização com a cal é acompanhada de reações semelhantes às que ocorrem com o cimento nas frações mais finas, além da reação normal de carbonatação. Como a reação de carbonatação é limitada, visto que depende da permeabilidade do CO_2 atmosférico ao interior da amostra, a maior contribuição da cal deve-se justamente as reações com os minerais argílicos. Em tais condições, os melhores resultados são obtidos com solos que apresentem minerais argílicos do grupo da montmorilonita ou pozolanas, em sua fração mais fina. As reações com pozolanas são particularmente notáveis, porque se dão formando produtos cimentantes. Assim, a estabilização com cal é mais eficiente em solos argilosos que arenosos e os melhores resultados são obtidos com argilas mais plásticas, ou no caso em que contenham um teor significativo de materiais pozolânicos em sua fração fina. No entanto, por razões que serão discutidas em outro item, estes solos são inadequados para construção de paredes, motivo porque não se trata das possibilidades do uso da cal como estabilizante.

2.1 INVESTIGAÇÕES REALIZADAS

Existe um extenso volume de dados e de investigações com relação à experiência na estabilização de solos com cimento, aplicados na construção de aterros para estradas. No entanto, pouco se dispõe em termos de critérios de dosagem para uso na construção de paredes. Neste caso, as diferenças entre uma aplicação e outra está justamente nos tipos de solicitação do material em uso.

Os critérios mais usuais de dosagens ou não fizeram ainda muita distinção entre as duas condições de solicitação ou se baseiam em ensaios não sistematizados. Em estradas, os esforços são de natureza mais dinâmica e as condições de abrasão mais severas. Por outro lado, na construção de paredes as exigências referem-se à homogeneização do material a ser aplicado, resistência a esforços estáticos de compressão, maior durabilidade, impermeabilidade e baixa condutibilidade térmica.

Em vista disso, instalou-se um programa de investigações, buscando identificar critérios de dosagem que estivessem mais próximos das condições de uso pretendidas. Optou-se por utilizar as metodologias normalizadas pela Associação Brasileira de Cimento Portland, para aplicações de solo-cimento em estradas, introduzindo-se modificações nos procedimentos de ensaios, de modo a melhor reproduzir as condições previstas de solicitação.

Os ensaios efetuados buscaram identificar características das misturas: a resistência mecânica e a durabilidade. Aspectos de impermeabilidade e características térmicas do material são discutidos em outras partes deste trabalho.

A resistência foi identificada pelo valor médio dos resultados de ensaios de compressão simples sobre dois corpos de prova, com uma única diferença quanto as dimensões dos mesmos: esculpiram-se corpos de prova com relação altura/diâmetro variando entre 2,0 a 2,5. As razões em se usar outras dimensões estão na necessidade de eliminar os efeitos de extremidade, que se observam quando é ensaiado o volume total do cilindro de Proctor. O atrito nas extremidades provoca um estado de tensões que mascara o valor real da resistência a compressão simples. Os valores obtidos com a relação altura/diâmetro mencionada são inferiores aos medidos com as dimensões do cilindro de Proctor. No caso de uso para estradas, o ensaio é justificável, pois o que se pretende é um controle de qualidade do material. No entanto, no caso das aplicações pretendidas, é de fundamental importância que os ensaios simulem as condições de uso, que são outras. As solicitações em paredes podem ser assimiláveis, de um modo simplificado, às condições dos ensaios não confinados.

Quanto ao estudo de durabilidade, empregaram-se os mesmos procedimentos anteriores de moldagem de corpos de prova. A durabilidade refere-se à ação da água em sucessivos ciclos de umedecimento e secagem. O embebimento do solo em água provoca variações volumétricas com possibilidade de ruptura dos vínculos entre grãos e daí uma desagregação progressiva. Tais condições são simuladas em laboratório submetendo-se corpos de prova a ciclos de umedecimento, submergindo-os em água, e secagem, deixando-os em estufa a 70°C, durante 72 horas. Ao final de 12 ciclos, a perda de massa percentual é definida como durabilidade. No entanto, também neste método, efetuaram-se modificações a fim de adequá-lo a reproduzir mais coerentemente as condições de uso previstas. Deste modo, não se empregou a escovação dos corpos de prova, pois as condições de abrasão em paredes são muito menos severas que as previstas em estradas.

Foram ensaiadas dosagens de 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14% de cimento em massa para os solos em estudo. Foram amostradas mais de 60 variedades de solo na área da Região Metropolitana de Salvador.

2.2 CRITÉRIOS PARA DOSAGEM

De posse dos resultados de ensaio, a fixação da dosagem em misturas de solo-cimento envolve uma verificação da compatibilidade das solicitações de uso previstas com os valores obtidos nos ensaios laboratoriais, que simulam tais solicitações. Como os ensaios simulam, mas não reproduzem as condições de uso, a dificuldade maior está justamente em transformar tais resultados em critérios de projeto.

Uma das poucas iniciativas no sentido de sistematização de dosagem nas aplicações de solo-cimento na construção de paredes foi formulada pela ABCP em 1948 (9). Foram os seguintes os critérios propostos:

a) perda de massa seco ao fim do 6º ciclo no ensaio de durabilidade inferior a:

- 14% para os solos arenosos
- 10% para os solos siltosos
- 7% para os solos argilosos;

b) variação máxima de volume em qualquer fase dos ensaios, até o 6º ciclo, inferior a 1% do volume inicial;

c) teor de umidade nunca superior ao teor de saturação do corpo de prova;

d) resistência a compressão crescente com a idade, devendo apresentar a 28 dias um valor mínimo de 1 MPa, após uma hora de imersão em água.

Tais critérios basearam-se numa tentativa de adequação de procedimentos propostos pela ASTM em 1940 e normalizados em 1944, para utilização de solo-cimento em estradas. Posteriormente, em 1957, a ASTM e AASHTO fizeram uma revisão de seus métodos e os requisitos que se referem à variação de volume e ao teor de umidade (b e c) passaram a ser verificados para solos excessivamente argilosos e expansivos. Em 1960, a ABCP adotou as modificações introduzidas pela ASTM para aplicações de solo-cimento em aterros, embora não se tenha feito nenhuma revisão nos critérios indicados acima, destinados a construção de paredes.

Alguns outros critérios são propostos pelo CINVA ou por autores como Merrill (39) ou Cytryn (17). No entanto, são baseados em ensaios não muito sistematizados, envolvendo, por vezes, julgamentos subjetivos, o que não pode assegurar a reprodutibilidade de resultados. Não que tais critérios não devam ser usados, pois, na maioria das vezes, talvez sejam os únicos viáveis de execução, pela sua simplicidade e por não demandar equipamentos mais sofisticados de laboratório. Porém, no momento, quando ainda não se dispõe de um volume adequado de resultados, é importante que se assegure a possibilidade de que as experiências, em cada local, possam ser aproveitadas integralmente e que cada procedimento simplificado seja precedido de uma investigação anterior que confirme sua eficiência.

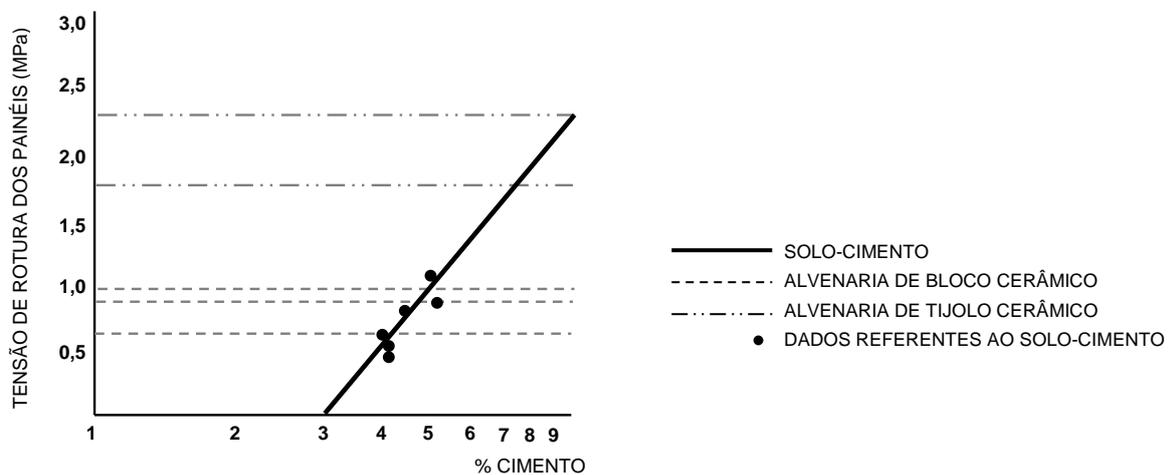
A dificuldade básica, uma vez que já existem ensaios normalizados para uma reprodução aproximada das solicitações previstas, está em estabelecer os valores numéricos que deverão alcançar os ensaios em laboratório. Rigorosamente, a fixação de tais valores só se pode fazer depois de um acompanhamento, durante certo tempo, do estado do material empregado em um número razoável de construções, nas quais se conheçam as condições iniciais de aplicação. Tais dados não existem, o que obriga a fixação de qualquer critério apoiada em uma das seguintes opções: orientar-se a partir dos outros usos do mesmo material, uma comparação com materiais convencionais, ou a partir de estudos de características estruturais das paredes.

Resistência à compressão

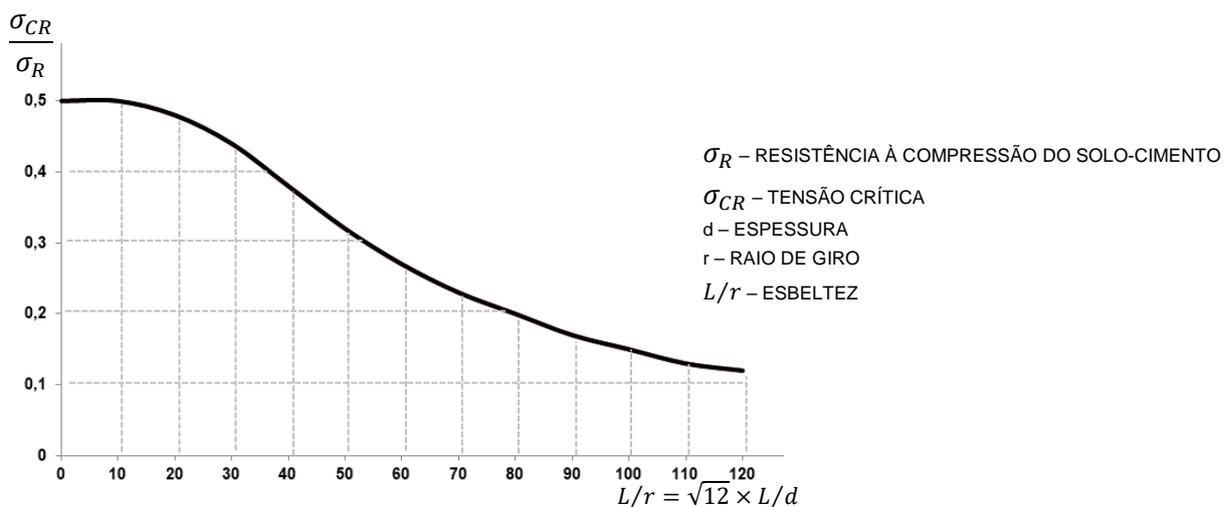
Com relação à resistência a compressão, apenas a última opção é válida. Outros usos de solo estabilizado referem-se à construção de estradas, onde os esforços de solicitação são muito diversos; as comparações com materiais convencionais são limitadas, uma vez que valores de resistência a compressão em tijolos e blocos cerâmicos, por questão de forma, não equivalem a resultados de ensaios de compressão simples em corpos de prova cilíndricos de solo estabilizado.

As cargas de compressão na base de uma parede em uma casa térrea referem-se, basicamente, à carga de telhado e peso próprio da parede. Essas cargas raramente excederão valores de 0,1 MPa em telhados convencionais com telhas cerâmicas. Quando o telhado não se apoia sobre as paredes, as cargas são apenas de peso próprio e não chegam a ser superiores a 0,05 MPa.

A fim de se determinar um critério de resistência para paredes de solo-cimento, realizaram-se no CEPED, ensaios de painéis com várias dosagens e espessuras diversas. Foram feitos ensaios à compressão e a impactos, sendo também ensaiados painéis de alvenaria de tijolos vasados e maciços para comparação dos resultados. Os valores comparativos são mostrados na figura 9a. Para cada painel moldaram-se corpos de prova cilíndricos com a mesma mistura, de modo a se ter uma relação resistência do painel/resistência do corpo de prova.



a) TENSÕES DE RUPTURA DOS PAINÉIS DE SOLO-CIMENTO E ALVENARIA CONVENCIONAL



b) RELAÇÃO ENTRE TENSÃO CRÍTICA E RESISTÊNCIA DO SOLO-CIMENTO EM FUNÇÃO DA ESBELTEZ

Figura 9

Uma parede pode ser considerada como um pilar largo, aplicando-se então as teorias de flambagem da Resistência dos Materiais. Os módulos de elasticidade do solo-cimento (200 MPa a 450 MPa) necessários à aplicação das fórmulas de flambagem foram determinados a partir dos ensaios dos corpos de prova correspondentes aos painéis. Com a análise dos ensaios realizados chegou-se ao gráfico mostrado na figura 9b, no qual a relação tensão crítica/resistência do solo-cimento é dada em função da esbeltez da peça. Assim, com ensaios de corpos de prova à compressão simples, pode-se ter a provável resistência do painel moldado com o mesmo solo e dosagem. A análise foi feita considerando uma excentricidade de carga igual a 1/6 da espessura¹, prevendo as imperfeições que ocorrem numa construção: as cargas nunca são centradas, nem as peças perfeitamente retilíneas.

As condições de apoio de uma parede são de engaste na fundação e livre na parte superior. Nesse caso, a tensão crítica de flambagem é quatro vezes menor, tomando o pilar bi-rotulado como referência. Por outro lado, no caso de paredes, existem restrições laterais que aumentam a tensão crítica. As paredes de solo-cimento são encaixadas nas guias e nesse caso, a tensão crítica é aumentada quatro vezes², assim, o gráfico da figura 9 foi feito para uma coluna bi-rotulada. Esse gráfico pode ser usado para o dimensionamento de peças de solo-cimento com quaisquer condições de apoio, bastando considerar o comprimento L como o comprimento de flambagem.

As paredes usuais de solo-cimento têm esbeltez em torno de 80 (uma parede com 2,80 m de pé-direito e 12 cm de espessura tem uma esbeltez igual a 81). Pelo gráfico da figura 9 tem-se que, com essa esbeltez, a tensão crítica na parede é 0,20 da resistência do solo-cimento à compressão. Considerando um coeficiente de segurança igual a 2, chega-se aos critérios de resistência mostrados na Tabela 1.

Tabela 1
CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIAS (MPa)

Hipótese de carga	Paredes monolíticas (CS = 5)
Cargas do telhado sobre as paredes	$\frac{2 \times 0,1}{0,20} = 1$
Cargas do telhado sobre pilares	$\frac{2 \times 0,05}{0,20} = 0,5$

CS = coeficiente de segurança

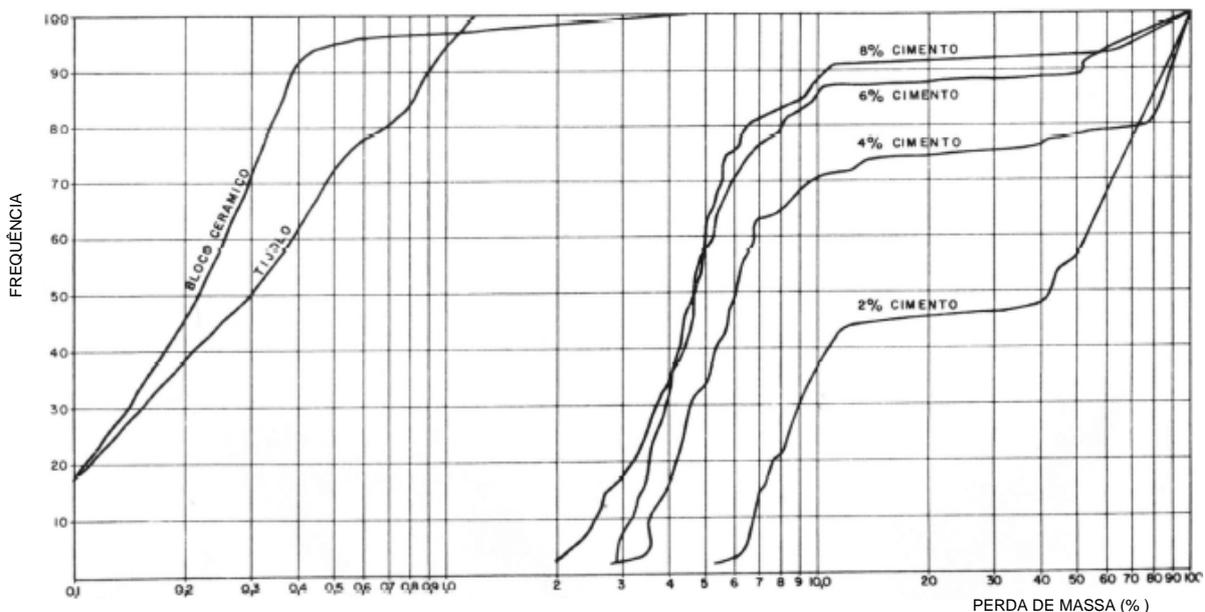
¹ Excentricidade prevista na ASTM E-72-74, segundo a qual foram feitos os ensaios dos painéis

² Para maiores esclarecimentos ver: TIMOSHENKO, S. & GERE, J.M. "Theory of Elastic Stability", McGraw-Hill Book Company, New York, 1961

Ensaio de painéis citados pela ABCP e outros autores (17, 22, 24), que teriam sido realizados na Universidade de Illinois, na *Portland Cement Association* e no *Bureau of Standards* conduziram às conclusões de que as paredes monolíticas têm uma resistência igual a 0,70 da resistência do solo estabilizado empregado em sua execução. Deve-se notar, entretanto, que as paredes lá ensaiadas tinham grandes espessuras, algumas com aproximadamente 35 cm (14"), o que reduz bastante a esbelteza das mesmas.

Durabilidade

A escolha de um critério com relação à durabilidade não é menos complexa. Na verdade, a única possibilidade é através de uma comparação com parâmetros admitidos para outros usos de solo estabilizado, e através da reduzida experiência de execução de algumas casas em solo-cimento. A comparação com materiais convencionais mostrou que mesmo os melhores resultados de durabilidade das misturas ensaiadas eram inferiores a valores medidos em blocos cerâmicos e tijolos maciços, amostradas em 13 cerâmicas da Região Metropolitana de Salvador (figura 10).



PERDA DE MASSA DE SOLO-CIMENTO-CIMENTO E MATERIAIS CONVENCIONAIS

Figura 10

Este fato, em verdade, apenas realça as qualidades excelentes de durabilidade dos materiais convencionais, mas de modo algum inviabiliza o uso do solo estabilizado. Edificações construídas em solo-cimento, há mais de 20 anos, existem ainda hoje em excelentes condições. Também os exemplos de algumas construções com terra que resistiram milenarmente, sem que fora empregado qualquer aditivo estabilizador, parecem confirmar que se pode admitir critérios de perda de massa maiores que os medidos para materiais convencionais. Em vista dos resultados obtidos, decidiu-se por testar um critério

mais rigoroso que o da ABCP, mencionado anteriormente, sem fazer, entretanto, qualquer distinção de granulometria. Assim, o valor proposto para durabilidade foi igual a 10% ao final do 12º ciclo. Trata-se de um critério mais rigoroso que o da ABCP, pois esta admite tal valor ao final do 6º ciclo. Foram também testados critérios mais flexíveis de 15% e 20%, a fim de se ter uma avaliação das economias que poderiam resultar caso houvesse menor rigor.

2.3 RESULTADOS OBTIDOS

A análise estatística dos resultados dos ensaios permitiu identificar, para vários tipos de solo, os percentuais em massa de cimento que atendem aos critérios descritos anteriormente. Na identificação dos solos, tomou-se em consideração o teor de areia presente em cada um. Os solos ensaiados foram reunidos nos grupos descritos na tabela 2. Na verdade, somente foi possível ensaiar solos dos grupos G-1 a G-IV, uma vez que os solos com teor de areia superior a 85% mostraram-se difíceis de serem desmoldados do cilindro de Proctor sem se partirem.

Não se consideraram, na análise dos resultados, as possibilidades de utilização de solos com teores de areia inferiores a 45%, embora tenham sido ensaiados. Na verdade, tais solos sofrem restrições outras que se referem a aspectos práticos de uso e que se discutirá mais à frente.

Tabela 2
IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS AGRUPADOS PELO TEOR DE AREIA

Grupo	Teor de areia (%)
G-I	45 a 55 esclusive
G-II	55 a 65 esclusive
G-III	65 a 75 esclusive
G-IV	75 a 85 esclusive
G-V	≥ 85

Nas Tabelas 3 e 4, têm-se os resultados da análise estatística procedida, admitindo-se uma chance com 95% de probabilidade de atender aos critérios propostos.

Conforme se pode perceber, os critérios de resistência impõem os teores de cimento mais altos, de modo que o critério de durabilidade é sempre satisfeito. Evidentemente, o critério de dosagem proposto na tabela 3 é conservador, uma vez que o teor de areia não é a única variável na dosagem, pois outros fatores com os limites plásticos, distribuição granulométrica e minerais argílicos apresentam influências fundamentais. Deste modo, a tabela 3, ao propor valores mais conservadores, está simplificando o apoio de laboratório,

ao mesmo tempo em que cobre as possibilidades de ocorrência de solos cujas características nem sempre são as mais favoráveis. Caso se deseje utilizar uma dosagem dimensionada com maior rigor, deve-se proceder ao ensaio de compressão simples (dois corpos de prova), conforme os métodos e modificações descritos anteriormente. Por outro lado, cumpre notar que as variações de dosagem, nessa faixa de granulometria, raramente serão superiores a 2% ou 4% de cimento, o que deverá repercutir normalmente em menos de 5% do custo da obra. Deste modo, os ensaios laboratoriais só serão justificáveis para um volume grande de obras.

Tabela 3
DOSAGEM – CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA

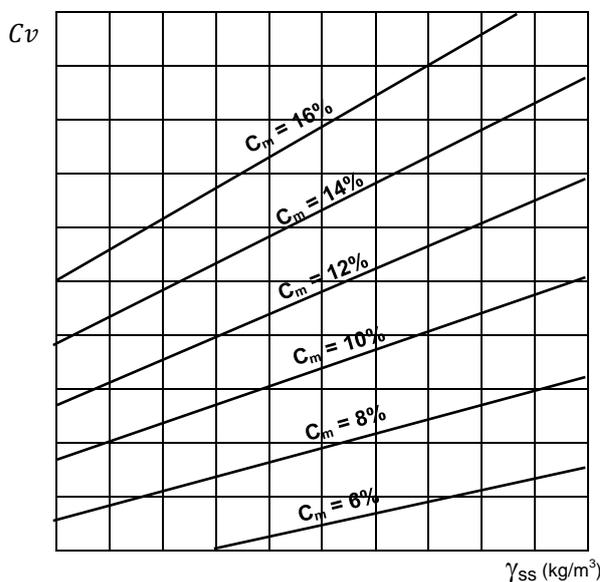
Teor de areia (%)	Resistência à compressão (MPa)	Teor de cimento em massa(%)
45 a 55	≥ 0,5	10
	≥ 0,75	14
	≥ 1,0	14
55 a 65	≥ 0,5	10
	≥ 0,75	14
	≥ 1,0	14
65 a 75	≥ 0,5	14
	≥ 0,75	14
	≥ 1,0	14
75 a 85	≥ 0,5	14
	≥ 0,75	14
	≥ 1,0	14

Tabela 4
DOSAGEM – CRITÉRIOS DE DURABILIDADE

Teor de areia (%)	Perda de massa (%)	Teor de cimento em massa(%)
45 a 55	≤ 10	4
	≤ 15	4
	≤ 20	4
55 a 65	≤ 10	4
	≤ 15	4
	≤ 20	4
65 a 75	≤ 10	4
	≤ 15	4
	≤ 20	4
75 a 85	≤ 10	4
	≤ 15	4
	≤ 20	4

Do ponto de vista prático, é conveniente trabalhar-se em obras com uma dosagem em volume, ao invés da dosagem em massa. Essa transformação pode ser feita com auxílio da figura 11(a e b), que permite determinar-se a dosagem em volume a partir da dosagem em massa e da massa específica seca do solo solto (γ_{ss}). Em caso de que não se conheça o valor de γ_{ss} , pode-se adotar um valor entre 1,1 a 1,2 t/m³. Os cálculos da massa de cimento e volume de solo necessários são feitos com auxílio dos gráficos das figuras 11 e 12, podendo-se adotar γ_{smax} de 2,0 t/m³.

Para um cálculo aproximado de consumo pode-se considerar que, para um traço de 1:15 em volume, de 1m³ de solo-cimento compactado, gasta-se 3,0 sacos de cimento e 1,6 m³ de solo solto.



$$Cv = \frac{VOL. CIMENTO}{VOL. SOLO SOLTO}$$

$$Cm = \frac{MASSA CIMENTO}{MASSA SECA SOLO SOLTO}$$

$$Cv = \frac{Cm}{\gamma_c} \times \gamma_{ss}$$

$$\gamma_c = 1420 \text{ kg/m}^3$$

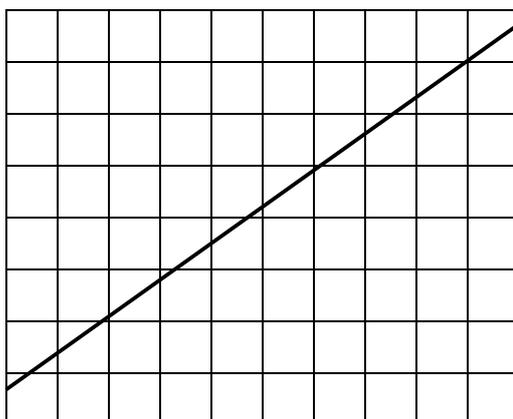
Cv – TEOR DE CIMENTO EM VOLUME

Cm – TEOR DE CIMENTO EM MASSA

γ_c – MASSA ESPECÍFICA SOLTA DO CIMENTO (kg/m³)

γ_{ss} – MASSA ESPECÍFICA SECA SOLO SOLTO (kg/m³)

a) RELAÇÃO DO TEOR DE CIMENTO EM MASSA E VOLUME EM FUNÇÃO DE γ_{ss}



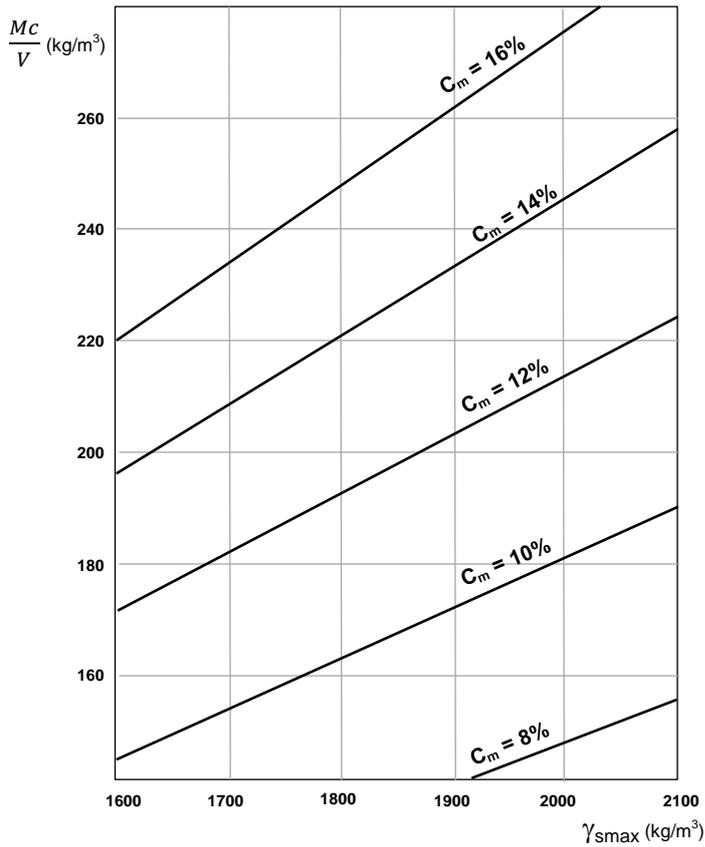
$$\gamma_{smax} = 1406,30 + 7,09 \times (\% \text{ areia})$$

$$r = 0,87$$

γ_{smax} – MASSA ESPECÍFICA SECA MÁXIMA (kg/m³)

b) CORRELAÇÃO ENTRE TEOR DE AREIA E γ_{smax}

Figura 11



$$\frac{M_c}{V} = \frac{C_m}{1 + C_m} \times \gamma_{smax}$$

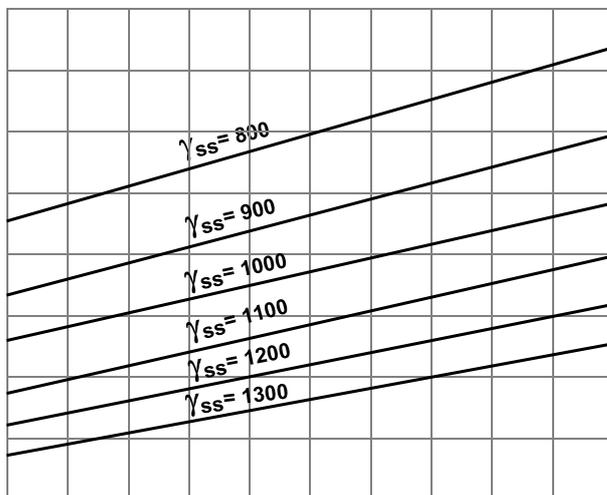
M_c – MASSA DO CIMENTO (kg)

V – VOLUME COMPACTADO (m³)

C_m – TEOR DE CIMENTO EM MASSA

γ_{smax} – MASSA ESPECÍFICA SECA MÁXIMA (kg/m³)

$$\frac{V_{ss}}{V} \left(\frac{m^3}{m^3} \right)$$



$$\frac{V_{ss}}{V} = \frac{1}{1 + C_m} \times \frac{1}{\gamma_{ss}} \times \gamma_{smax}$$

(adotou-se $C_m = 6\%$)

V_{ss} – VOLUME DO SOLO SOLTO (m³)

V – VOLUME COMPACTADO (m³)

C_m – TEOR DE CIMENTO EM MASSA

γ_{ss} – MASSA ESPECÍFICA SECA SOLO SOLTO (kg/m³)

γ_{smax} – MASSA ESPECÍFICA SECA MÁXIMA (kg/m³)

GRÁFICOS PARA O CÁLCULO DA MASSA DO CIMENTO E VOLUME DE SOLO SOLTO

Figura 12

2.4 ESCOLHA DO SOLO A SER USADO

O presente trabalho orienta as aplicações do solo-cimento para a construção de paredes monolíticas compactadas. Deste modo, os critérios que serão discutidos neste item referem-se a procedimentos práticos de escolha de solo e dosagem para este sistema construtivo.

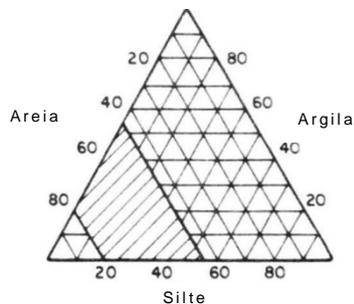
Todas as variedades de solo apresentam uma melhoria de propriedades mecânicas quando devidamente misturados com cimento e compactados. No entanto, existem limitações ao uso de determinados tipos de solo, por razões de trabalhabilidade e de consumo de cimento. Vários autores têm afirmado a possibilidade de utilização de solos do próprio local da construção como uma das grandes vantagens de se construir com terra. Tal afirmativa, no entanto, é temerária, em vista de que nem sempre os volumes são suficientes e nem sempre o solo é adequado. Os volumes necessários exigem normalmente que sejam importados solos de outros locais, por maiores que sejam os volumes resultantes de escavações para nivelamento do terreno, fundações, fossa, etc. Uma casa com cerca de 40 m² consome mais de 25 m³ de solo para fundações e paredes. No entanto, os solos escavados, a não ser que sejam bastante argilosos, não devem ser expurgados da obra, pois podem ser misturados com solos importados, melhorando as características destes com razoável economia de materiais e transporte.

A trabalhabilidade dos solos refere-se à facilidade de destorramento e de mistura do solo com o aglomerante e a água. O conceito aqui é um pouco diverso dos critérios usuais para a utilização de solos na construção de estradas, onde a existência de equipamentos possantes permite limites mais amplos na utilização de certos tipos de material. No caso da construção de casas, a escala de uso é outra, os volumes são muito menores, e por esta razão os equipamentos, quando disponíveis, não são tão eficientes. Solos argilosos apresentam, quando secos, torrões que para serem desfeitos exigem tempos adicionais de mão de obra; esses tempos somam-se às dificuldades de misturá-los com água, aderência ao soquete durante a compactação, além das dúvidas de que se possa obter bom resultado nas misturas com cimento.

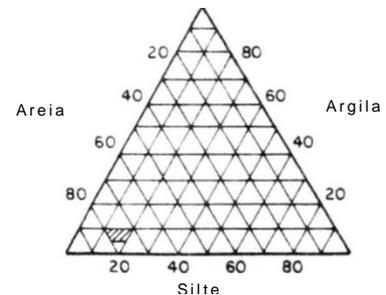
Os limites de consistência (LL e LP) são as variáveis que mais expressam as condições de trabalhabilidade. Maiores valores destes limites significam maiores dificuldades no destorramento, mistura e também na secagem, quando necessária. Existe consenso em fixar o máximo limite de liquidez entre 45% a 50%, o que coincide com critérios usados para estradas.

Quanto à granulometria, os solos mais adequados são os arenosos. O consumo de cimento, na obtenção do solo-cimento, depende fundamentalmente do calibre dos grãos e da sua uniformidade. O acréscimo nos teores de silte e argila, ou a ocorrência de grãos com tamanhos muito uniformes, acarretam aumento nos teores de cimento. Por outro lado, a

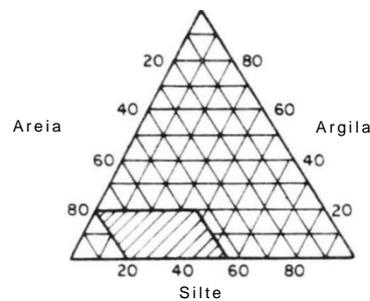
existência de grãos maiores, areia grossa e pedregulhos é benéfica, em vista de que tais componentes atuam como enchimento, favorecendo a liberação de uma maior quantidade de cimento para ligar os grãos menores. No entanto, os solos devem ter um teor mínimo da fração fina, pois a resistência inicial do solo-cimento compactado é devida à coesão da fração fina compactada, uma vez que ainda não se processaram as reações de endurecimento do cimento. A experiência tem demonstrado que, quando os solos têm um teor de silte + argila inferior a 20%, não se consegue uma resistência inicial para compactação imediata sobre o último trecho desmoldado. Os critérios para seleção dos melhores solos quanto à granulometria não tem variado muito. Nas figuras 13 e 14, têm-se a ilustração de alguns destes critérios.



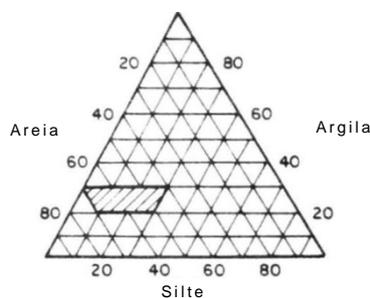
CRITÉRIO CINVA
SOLO-CIMENTO COMPACTADO
OU PENSADO



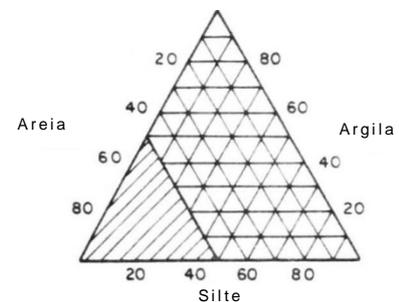
CRITÉRIO ICPA
SOLO-CIMENTO COMPACTADO
OU PENSADO



CRITÉRIO CEPED
SOLO-CIMENTO COMPACTADO



CRITÉRIO DE MERRYL
SOLO COMPACTADO E SOLO-
CIMENTO COMPACTADO



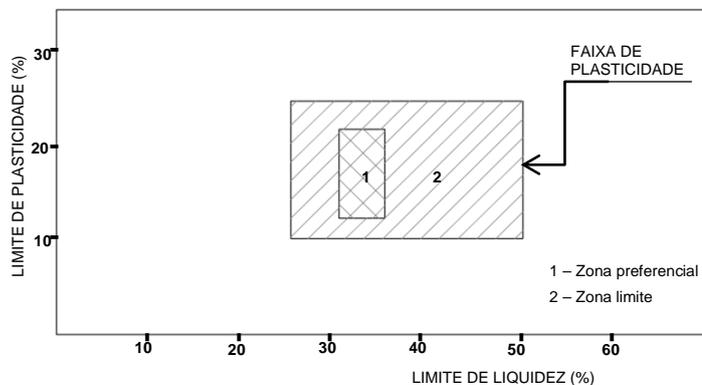
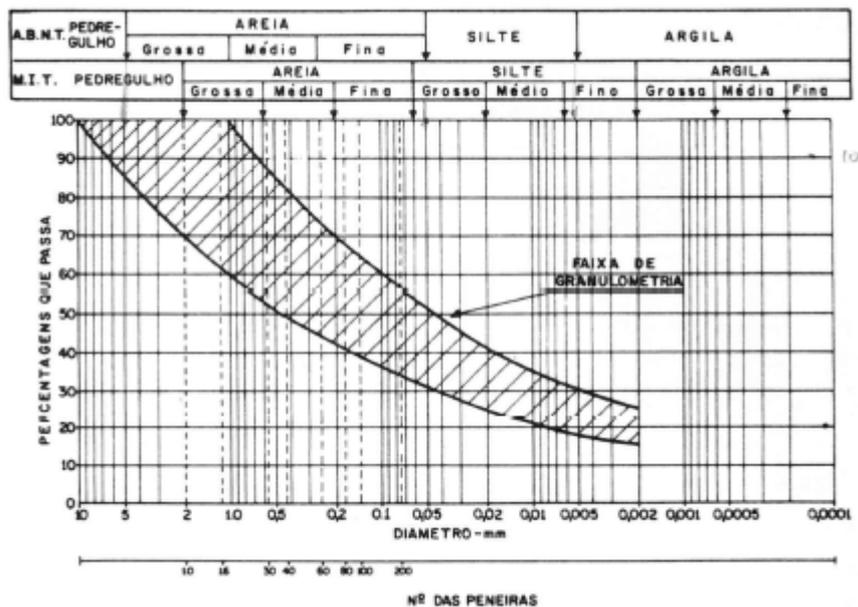
CRITÉRIO DE HOUBEN
SOLO-CIMENTO COMPACTADO

CRITÉRIOS DE SELECÃO DO SOLO (I)

Figura 13

Os critérios de seleção indicados na figura 13 podem ser assim resumidos:

- a) CINVA (16):
 - Teor de areia: 45 a 80%
 - Teor de silte + argila: 20 a 55%
- b) ICPA (32):
 - Teor de areia: 60 a 80%
 - Teor de silte: 10 a 20%
 - Teor de argila: 5 a 10%
- c) MERRIL (39):
 - Teor de areia: superior a 50%
- d) HOUBEN (28):
 - Teor de areia: 40 a 70%
 - Teor de silte: 0 a 30%
 - Teor de argila: 20 a 30%



CRITÉRIOS DE SELECÇÃO DO SOLO – HOUBEN (II)

Figura 14

A divergência entre os diversos critérios realça o fato de que não é possível uma seleção muito ortodoxa de solos, uma vez que as variáveis a se tomar em conta envolvem principalmente as características de trabalhabilidade com os mesmos. Um fato comum é que todos confirmam as possibilidades de se usar solos arenosos, desde que tenham um teor mínimo de silte + argila. Evidentemente, estes gráficos não tomam em consideração o potencial de pedregulhos no solo, representando apenas a granulometria da fração menor que 4,8mm.

Segundo alguns autores, o teor de material graúdo, a fração retida de 4,8mm, não deve ser superior a 45%, senão a fração fina não lograria preencher os vazios do mesmo. Por outro lado, o tamanho máximo de grãos estaria condicionado pelas dimensões das peças a serem compactadas. Para paredes, os maiores grãos devem guardar uma relação com a menor dimensão, de modo a garantir um bom acabamento e não prejudicar a compactação. Cytryn (17) sugere um diâmetro máximo entre 3 e 6 mm. Convém observar que mesmo a presença de pedregulhos com diâmetro até 2,0 cm tem sido frequente em algumas obras do CEPED, sem qualquer inconveniente, desde que não ocorram em percentagem elevada.

Dos critérios citados, e a partir do resultado das investigações processadas no CEPED, pode-se propor a seguinte especificação para a fração abaixo da peneira de 4,8 mm (areia, silte e argila):

- CEPED: - Teor de areia: 45 a 90%
- Teor de silte + argila: 10 a 55%
 - Teor de argila: <20%
 - Limite de liquidez: <45%

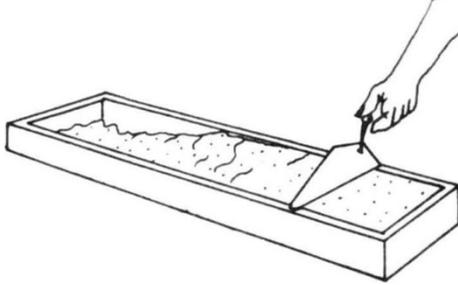
Os critérios enunciados na base do teor de areia simplificam bastante os procedimentos de escolha dos solos mais adequados. O uso de um sistema de classificação tipo AASHO, ou outro qualquer, demanda ensaios de laboratório que nem sempre se tem condições de executar.

Cumprir notar ainda que, caso os solos disponíveis não possam atender ao critério proposto, pode-se misturá-los com outros, de modo a corrigir a granulometria para os limites dentro do critério proposto. Isto pode ser feito experimentalmente, misturando-se várias proporções dos dois solos e determinando-se o teor de areia resultante.

Finalmente, deve-se ressaltar que nem sempre a escolha de um determinado solo pode ser feita com apoio de laboratório, por mais simples que sejam os ensaios como o de granulometria por peneiramento e o de limites de consistência. Por esta razão, descreve-se na figura 15 um teste expedito para seleção de solo e na figura 16 e tabela 5 alguns testes qualitativos. Tais testes, uma vez que não dão os percentuais de areia para que se use a tabela 3, permitirão apenas distinguir os solos mais viáveis de serem utilizados; quanto à

dosagem, deve-se adotar a condição mais desfavorável. Este procedimento leva, muitas vezes, a valores ainda mais conservadores de dosagem, mas com as vantagens de dispensar qualquer apoio de laboratório.

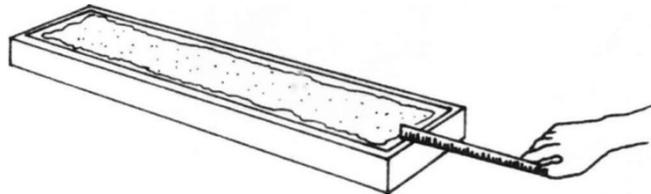
TESTE DA CAIXA



MOLDAGEM DA AMOSTRA

Tomar uma porção de terra destorroada e juntar água até quando a mistura aderir a uma superfície metálica, a colher de pedreiro, por exemplo. Colocar a mistura em uma caixa de madeira, com dimensões internas de 60 x 8,5 x 3,5cm, previamente lubrificada com óleo diesel ou similar.

Deixar a caixa moldada com a mistura na sombra e depois de sete dias medir a retração no sentido do comprimento. Se o total da retração não ultrapassar 2 cm e não aparecer trincas na amostra, a terra serve para construção com solo-cimento



MEDIÇÃO DA RETRAÇÃO

TESTE QUALITATIVO PARA SELEÇÃO DO SOLO

Figura 15

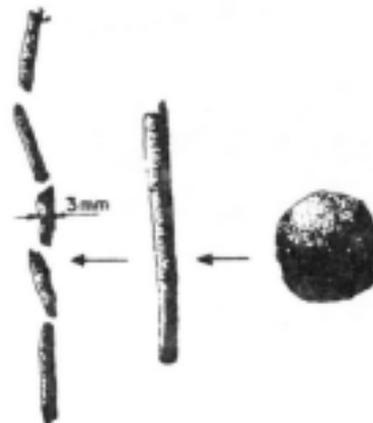
TESTE DO CORDÃO



Tomar uma porção de terra seca e juntar água até que os cordões rolados comecem a se quebrar com um diâmetro de 3 mm.

Formar uma bola com essa umidade e verificar a força necessária para esmagá-la entre o polegar e o indicador:

- *cordão duro* – só se pode quebrar a bola com muito esforço.
- *cordão mole* – a bola se fissa ou esmigalha com pouco esforço.
- *cordão frágil* – não é possível reconstituir a bola sem que ela se fissure ou esmigalhe.



MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO

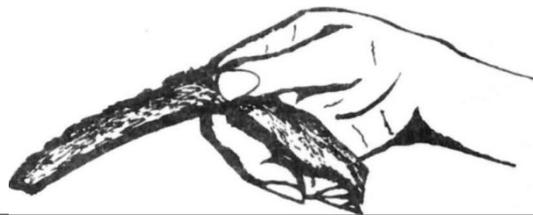
Figura 16a

TESTE DA FITA



Tomar uma porção de terra, com a mesma umidade do ensaio de cordão, e fazer um cilindro do tamanho de um cigarro. Amassar o cilindro de modo a formar uma fita, com 3 a 6 mm de espessura e o maior comprimento possível.

- *Fita longa* – 25 a 30 cm sem dificuldade.
- *Fita curta* – 5 a 10 cm com dificuldade.



MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO

Figura 16b

TESTE DO BOLO



Tomar uma porção de terra bastante úmida e colocá-la no oco da mão. Golpear esta mão com a outra de modo que a água saia para a superfície da amostra, dando-lhe um aspecto liso e brilhante. Pressionar então o bolo com os dedos.

- *Reação rápida* – bastam 5 a 10 golpes para que a água aflore à superfície da amostra, a pressão dos dedos faz a água desaparecer imediatamente e uma pressão mais forte esmigalha o bolo.
- *Reação lenta* – são necessários 20 a 30 golpes para que a água aflore; a pressão dos dedos faz com que o bolo se deforme como uma bola de borracha.



MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO

Figura 16c

TESTE DA RESISTÊNCIA SECA

Fazer duas ou três pastilhas de terra bem úmida, com cerca de 1 cm de espessura e 2 a 3 cm de diâmetro. Secar as pastilhas ao sol por dois ou mais dias. Tentar esmagar a pastilha entre o indicador e o polegar.

- *Grande resistência seca* – é muito difícil esmagar a pastilha e quando se consegue esta se quebra como um biscoito.

- *Média resistência seca* – não é difícil partir a pastilha e com algum esforço consegue-se reduzir os pedaços a pó.

- *Fraca resistência seca* – é muito fácil partir a pastilha e ao partir-se reduz-se a pó.

MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO

Figura 16d

Tabela 5

MÉTODOS QUALITATIVOS DE ESCOLHA DO SOLO

Teste do cordão	Teste da fita	Teste do bolo	Teste da resistência seca	Tipo de solo	Possibilidade de utilização
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Reação rápida a lenta, mas jamais muito lenta	Fraca a nula, geralmente nula	Areia fina, areia fina siltosa, areia fina argilosa, silte argiloso	Solo prensado para tijolos, adobes com cimento, terra compactada com ou sem cimento; quando muito arenoso, juntar solos finos, siltosos ou argilosos
Cordão frágil a semi-duro	Fita curta	Reação lenta, a muito lenta	Fraca a média	Siltoso	Utilização mais difícil que os solos anteriores, mas possível com o uso de cimento
Cordão semi-duro	Fita curta a longa	Reação muito lenta ou não tem reação	Média a grande	Argiloso com pedregulho, com areia e argila siltosa	Possível usar apenas para a terra compactada ou tijolo prensado, com cimento
Cordão duro	Fita longa	Não tem reação	Grande	Argiloso	Não deve ser usado



CAPÍTULO 3

EXECUÇÃO

Neste capítulo serão discutidos aspectos executivos que envolvam, de algum modo, a utilização de solo-cimento. Informações com relação a outras atividades construtivas serão citadas sumariamente.

Na etapa atual das investigações de sistemas construtivos com solo-cimento, o Sistema G-2, no sentido global de sua utilização, é a opção que melhores resultados têm permitido. No Capítulo 1 descreveu-se este sistema e discutiram-se as vantagens e desvantagens de sua utilização. Da opção por um sistema construtivo decorrem algumas condicionantes do projeto, vinculadas ao melhor uso do mesmo. No caso do Sistema G-2, a maior ou menor transigência do projetista reflete-se apenas em variações de custo da construção, pois o sistema é certamente mais flexível que o sistema convencional.

3.1 NIVELAMENTO E LOCAÇÃO

As operações de locação e nivelamento, quando necessárias, devem obedecer aos mesmos critérios que para as construções convencionais. Por esta razão o assunto será discutido rapidamente.

Nivelamento

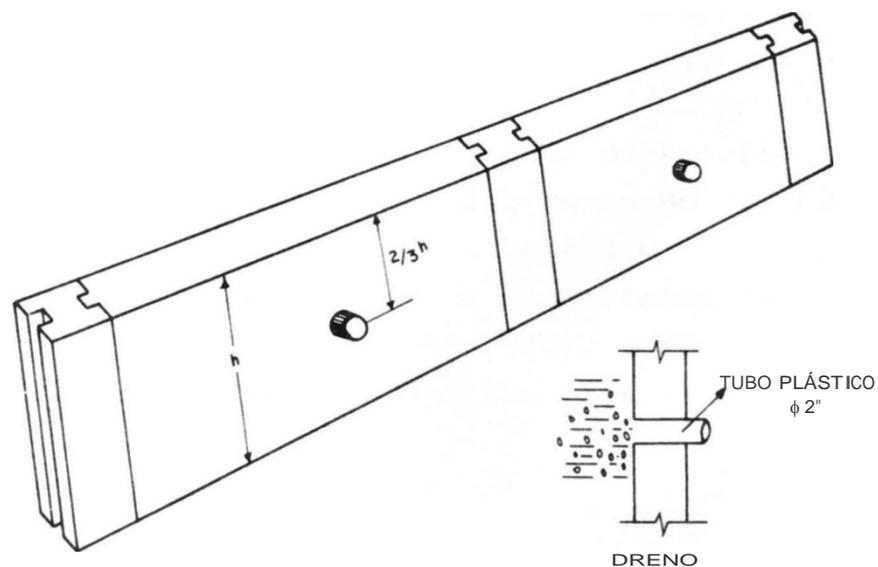
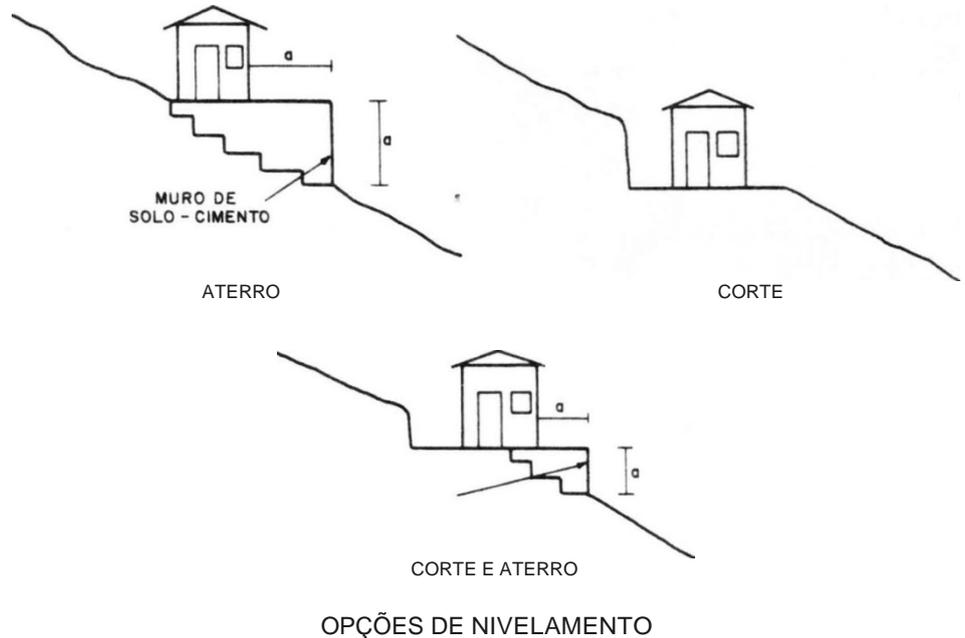
Entre as duas opções de corte ou aterro para nivelamento de terrenos em declive, a execução de cortes é mais econômica, tanto pela facilidade de execução quanto pelo volume de terra resultante, que pode ser utilizado na construção. No entanto, o aterro não só permite a colocação da casa em posição mais favorável, como também nem sempre é possível a solução de corte quando a declividade é muito acentuada. Convém que as alturas de corte não sejam superiores a 1,0 m (figura 17).

Assim, a solução depende de uma opção do projetista, que pode, às vezes, combinar as duas alternativas, executando cortes e aterros em volumes equilibrados. A contenção dos aterros pode ser feita por um muro de solo-cimento, com espessura de 15 cm para alturas até 1,5 m. Devem-se deixar furos espaçados cada 2 m a fim de facilitar a drenagem interna do muro (figura 17).

A execução do muro deve obedecer aos mesmos critérios para execução de paredes, descritos nos itens seguintes.

É conveniente que a parede da casa esteja afastada do muro a distância superior a uma vez a altura do mesmo. No entanto, nem sempre tal exigência é possível, principalmente no caso de lotes populares, devido às dimensões destes. Neste caso, é provável que o muro de contenção coincida com a parede externa da casa e o aterro seja o próprio piso da mesma. O único inconveniente é que a altura das paredes será acrescida da altura do muro,

resultando na necessidade de que se tenham guias compridas, normalmente superiores a 3 m. Mas, a solução construtiva para trechos de parede acima das guias é relativamente simples e é apresentada em outro item, quando se discute a construção das empresas sobre as paredes.



DRENAGEM INTERNA DO MURO DE CONTENÇÃO DE SOLO-CIMENTO

Figura 17

Locação

Seguindo-se à operação de nivelamento, a locação da obra é feita do mesmo modo que para uma construção convencional.

3.2 PREPARO E CONTROLE DO USO DA MISTURA SOLO E CIMENTO

Os seguintes fatores são importantes no preparo e controle do uso da mistura solo e cimento:

- a) dosagem;
- b) homogeneização;
- c) umidade;
- d) compactação.

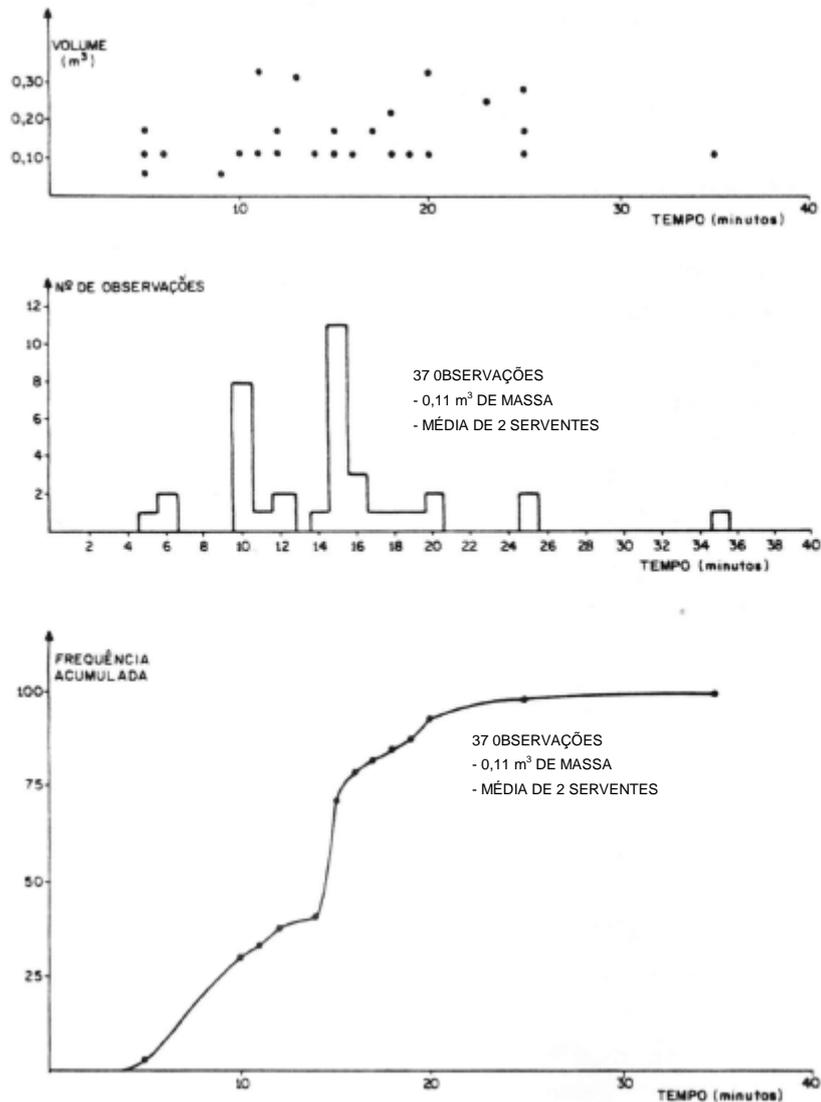
Dosagem

A dosagem deve ser fixada em função das características do solo, conforme se discutiu no capítulo anterior. Deve-se evitar o uso de mais de um critério de medidas, pois poderia resultar em confusões que dificilmente seriam identificadas durante a execução.

Uma boa prática no controle da dosagem é estabelecer volumes fáceis de serem utilizados como padiolas ou carrinhos de mão cheios para o solo e baldes para o cimento. O cuidado básico deve estar então em observar se não ocorrem variações granulométricas no solo que está sendo usado, pois, caso ocorram, será necessária a confirmação da dosagem.

Os volumes de mistura devem ser o suficiente para não provocar interrupções nos trabalhos com as formas. Grandes volumes podem exigir grandes áreas para masseira, o atendimento pode ser interrompido, pois os tempos de preparo serão maiores e pode-se ocorrer o risco de perda de material ao final de cada turno. Investigações procedidas pela *Cement and Concrete Association* demonstraram que o atraso na compactação de solo-cimento obtido de solos arenosos pode ser da ordem de 24 horas (36). Por outro lado, no caso de solos argilosos, mais de 2 horas de atraso já provocariam reduções sensíveis na resistência final do material. Uma prática muito eficiente no uso de misturas, quando decorreu algum tempo de seu preparo, é revolvê-las energicamente antes de usá-las. Com razoável cuidado, pode-se estabelecer rapidamente na obra o volume necessário de masseira, para atender continuamente a demanda nas formas, evitando-se atrasos no uso da mistura.

De todas as atividades na construção com solo-cimento, os trabalhos na masseira são os mais estafantes e os tempos gastos não indicam muita proporcionalidade com os volumes, pois dependem também das características do trabalhador. Na figura 18, apresentam-se dados de preparo da mistura considerando-se tempos e volumes. A experiência tem demonstrado que, trabalhando com 4 formas de $0,8\text{m}^2$ cada, em paredes com 10 cm de espessura, um volume de 20 baldes ($0,22\text{m}^3$) na masseira pode ser misturado satisfatoriamente por dois serventes e atender à demanda na obra.



PREPARO DA MISTURA DE SOLO-CIMENTO

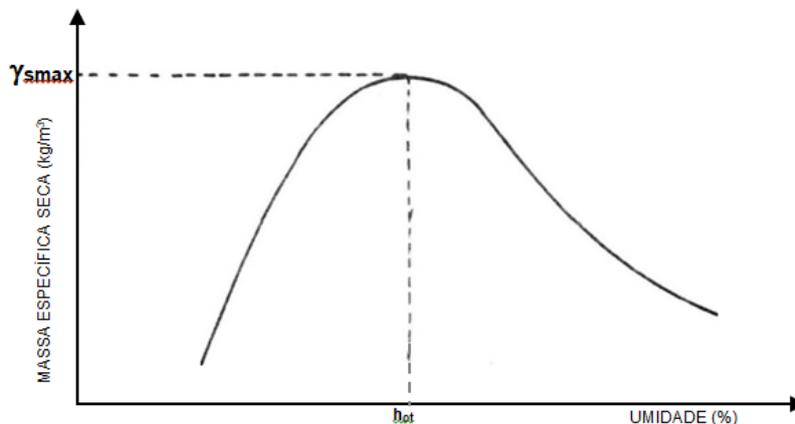
Figura 18

Homogeneização

A homogeneização da mistura é outro fator fundamental. Neste caso, o cimento deve ser adicionado ao solo seco e misturado até que se obtenha uma coloração uniforme. O solo deve ser isento de torrões, que podem ser desfeitos com a pá ou então peneirados. Nem sempre o solo está seco, especialmente em regiões chuvosas. Neste caso, a utilização de solos arenosos favorece a secagem que pode ser feita espalhando-se o solo úmido em uma praça e revolvendo-o periodicamente. Algumas horas serão suficientes. Outra solução é manter-se um volume de solo seco ao abrigo e misturá-lo quando necessário ao material úmido. Tem-se tido um bom resultado mantendo-se na obra uma peça de um impermeável tipo polietileno com a qual se cobre o solo a ser usado.

Umidade

A umidade final da mistura é função do solo que se utiliza. Cada solo possui uma umidade própria de compactação, dita umidade ótima, na qual se obtém o maior rendimento da compactação (maior compacidade, ou seja, maior massa específica seca). Essa umidade é determinada em laboratório, executando-se a compactação de um volume de solo em várias umidades, em um cilindro, com um soquete padronizado e por procedimentos também padronizados. As massas específicas secas obtidas em cada compactação são plotadas em função da umidade correspondente; a máxima massa específica obtida da curva construída define a umidade ótima (figura 19a). No entanto, a determinação dessa umidade pode ser feita no campo, com razoável precisão, por um processo expedito. Consiste em tomar um punhado da mistura 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 1,0 m deve espatifar-se. Caso não se consiga formar o bolo na mão, a umidade é insuficiente; caso o bolo ao cair mantenha-se coeso, a umidade é excessiva (figura 19b). Em regiões de clima seco e muita insolação, deve-se fazer, permanentemente, a verificação da umidade da mistura na masseira, a fim de proceder à correção, se necessária.



a) DETERMINAÇÃO DA UMIDADE ÓTIMA A PARTIR DE ENSAIO DE LABORATÓRIO

- TOME UM PUNHADO DE MASSA NAS MÃOS
- APERTE-O ENTRE OS DEDOS
- AO ABRIR A MÃO A MASSA DEVE ADQUIRIR A FORMA DOS DEDOS
- SE ISTO NÃO ACONTECER É PORQUE A MASSA DEVE ESTAR MUITO SECA



- EM SEGUIDA DEIXE O BOLO DE MASSA CAIR DE UMA ALTURA APROXIMADAMENTE DE 1,0 m
- ELE DEVE ESFARELAR AO CHOCAR-SE COM QUALQUER SUPERFÍCIE DURA
- SE ISTO NÃO OCORRER É PORQUE A MASSA DEVE ESTAR MUITO ÚMIDA



b) DETERMINAÇÃO DA UMIDADE ÓTIMA A PARTIR DE TESTE DE CAMPO

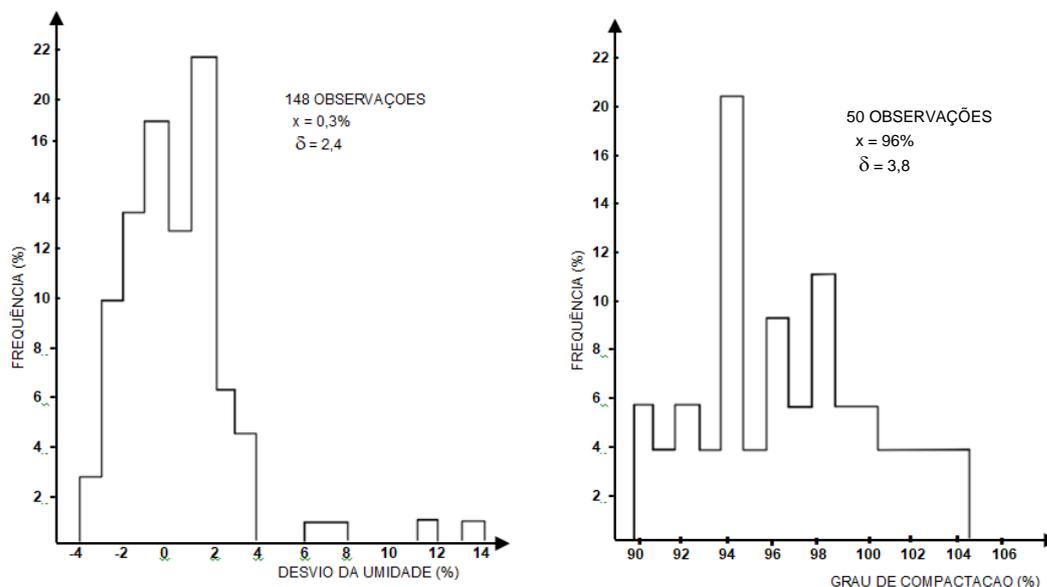
Figura 19

O controle da umidade, segundo este procedimento empírico, apresenta uma precisão surpreendente. Na figura 20, têm-se dados de controle feitos por vários operadores em obras diferentes, aferido por determinação da umidade em estufa. Os dados são apresentados sob a forma de desvio da umidade (diferença entre a umidade de campo e a umidade ótima). Os resultados obtidos confirmam um desvio máximo de $\pm 2\%$ para um nível de confiança de 95%.

No entanto, quando a obra justifique, o controle empírico pode ser aferido sistematicamente, retirando-se cápsulas de umidade em cada masseira feita, ou por amostragem em cada cinco masseiras. Os dados da figura 20 referem-se a um controle deste tipo.

Compactação

O controle da compactação pode ser feito de modo ainda mais simples, pois é mais intuitivo. O término da compactação é identificado facilmente pelo operador, quando o soquete quase não deixa mais marcas sobre a superfície compactada. A partir daí, todo esforço de compactação é praticamente inútil. A aferição da compactação obtida por um controle deste tipo é também mostrada na figura 20, em que se apresentam os valores obtidos do grau de compactação (relação entre a massa específica seca medida na parede e a massa específica seca máxima correspondente a umidade ótima do ensaio Proctor normal). A massa específica de campo foi determinada retirando-se amostras nas paredes recém-compactadas, cravando-se um cilindro oco nas mesmas. Conforme se pode perceber no gráfico da figura 20, os valores obtidos são superiores a 95% para um nível de confiança de 95%.



CONTROLE DO GRAU DE COMPACTAÇÃO E DESVIO DA UMIDADE

Figura 20

Do mesmo modo que em relação à umidade, pode-se proceder ao controle sistemático da massa específica seca com a retirada de amostras pelo processo descrito. Neste caso, é fundamental que as amostras de massa específica sejam retiradas sempre que se tiver feito a determinação de umidade.

Ainda com relação a compactação, outro fator fundamental de controle é a espessura das camadas da mistura quando lançadas nas formas. Estas não devem ser superiores a 20 cm, sendo ideal camadas de 15 cm. Um controle sistemático deve ser exercido a fim de impedir compactação de camadas da mistura com maior espessura. A posição do operador durante a compactação também influencia a execução da mesma. Os bordos da forma nunca devem estar a uma altura acima da cintura do operador, pois o desconforto da posição reflete na compactação.

A massa dos soquetes chegou a ser uma preocupação para vários autores: os soquetes sugeridos deveriam ter entre 5 a 6 kg e até mais (25, 41). A experiência do CEPED demonstrou que soquetes de 2,5 a 3 kg podem resultar os graus de compactação indicados na figura 20, que satisfazem as especificações mais exigentes e que, por outro lado, são mais confortáveis de serem usados e provocam menos dano as formas. Na verdade, o uso de soquetes mais pesados apenas abrevia o número de golpes por camada, mas o esforço físico de baixar soquetes mais leves com maior força é preferível ao esforço maior para levantar soquetes mais pesados.

O uso de compactadores pneumáticos feito por alguns construtores apresenta bons resultados. No entanto, pela elevada energia dispendida, as formas devem ser metálicas e bem reforçadas. É possível que as massas específicas mais elevadas possam permitir alguma economia de cimento, mas de modo algum os custos de mão de obra seriam maiores que os do capital imobilizado em formas, compressor, etc., mesmo porque não haveria maior rendimento na obra, uma vez que a maior proporção dos tempos gastos na execução se refere às operações de montagem e desmontagem de formas.

3.3 FUNDAÇÕES

Em casas térreas sem lajes, com cobertura em telha cerâmica, as cargas de fundações raramente excedem a 0,1 MPa, mesmo em paredes de solo-cimento, visto o peso específico não ser muito diverso dos materiais convencionais. Cargas dessa natureza permitem, com segurança, a utilização de fundações com solo-cimento, desde que o terreno de apoio tenha capacidade de suporte e não apresente tendências a recalques ou expansão. Tal solução não é uma possibilidade de um único sistema construtivo, mas representa uma escolha viável mesmo para o caso de uma alvenaria convencional.

Dimensionamento

O dimensionamento das fundações poderia ser feito aplicando-se critérios conhecidos na mecânica dos solos, a partir de resultados de investigações geotécnicas. No entanto, costuma ser suficiente, e quase sempre mais eficiente, a observação do comportamento das fundações vizinhas e depoimentos dos moradores e construtores que tenham alguma experiência no local.

O solo-cimento compactado, como elemento de fundação, tem desempenho equivalente às alvenarias de pedra usuais, desde que não submetido a movimentos diferenciais, como ocorre em solos compressíveis ou expansivos. Nestas condições, estas devem ser sempre em sapatas corridas abaixo de todas as paredes. Em solos arenosos compactos ou argilas duras ou rijas, na ausência de um relato da experiência local, as larguras podem ser da ordem de 40 cm (tensões de apoio da ordem de 0,04 MPa). A profundidade de embutimento deve ser suficiente para preservar de erosões superficiais. Valores de 30 a 40 cm são suficientes. Paredes internas, que não recebam outras cargas senão seu peso próprio, podem ter fundações com 20 cm de largura, embutidas 20 a 30 cm. As características de monolitismo das paredes dispensam qualquer estruturação.

Em solos com baixa capacidade de suporte, ou tendência a recalques ou expansão, devem-se preservar as paredes de possíveis deformações. Neste caso, as fundações terão que ser as convencionais, com sapatas ou estacas e vigas de concreto armado.

Quanto à dosagem da mistura de solo-cimento para as fundações, a ABCP (9) recomenda dosagem 2 a 4% superior a que será empregada nas paredes. As fundações de mais de vinte protótipos, executados pelo CEPED e alguns já terminados há mais de dois anos, foram executadas com uma dosagem de 1:10 em volume de cimento e solo arenoso. Em nenhuma dessas casas observaram-se deformações por efeito das fundações.

Execução

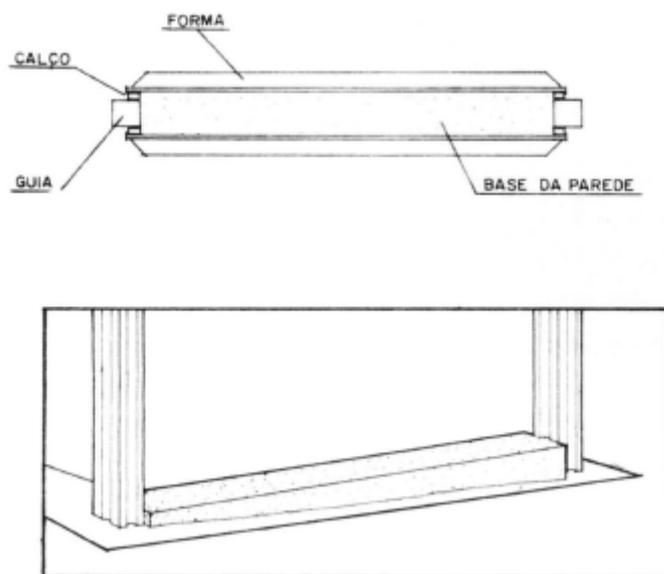
A execução de fundações em solo-cimento é extremamente simples e rápida; as valas devem ser escavadas com largura e profundidade projetadas, como se fossem executadas com materiais convencionais: a mistura lançada em camadas não superiores a 20 cm é compactada, utilizando-se das próprias paredes da vala como forma. A elevação das paredes pode processar-se imediatamente à compactação das fundações, uma vez que o ganho progressivo de resistência com a cura do solo-cimento é muitas vezes mais rápido que o aumento de carga.

No caso em que se deseja colocar as guias depois de feita a fundação, deve-se deixar nela os vazios correspondentes para posterior fixação destas. Esses vazios são conseguidos colocando-se caixões sem fundo no lugar onde serão implantadas as guias. Porém,

experiências têm demonstrado melhores resultados práticos quando a fixação das guias é feita antes mesmo de abrir as cavas da fundação.

Os soquetes para execução das fundações devem ter uma base quadrada com cerca de 20 cm x 20 cm. A massa deve estar entre 3 a 4 kg. O pessoal necessário para a compactação depende da velocidade que se queira imprimir à obra. Dois operários na masseira para cada dois na compactação costuma ser o suficiente.

O nivelamento da fundação é feito utilizando-se as formas de paredes e as próprias guias. Caso seja necessário pode-se engrossar a alvenaria de contenção, colocando-se calços entre as guias e as formas. Na figura 21, tem-se uma ilustração do processo.



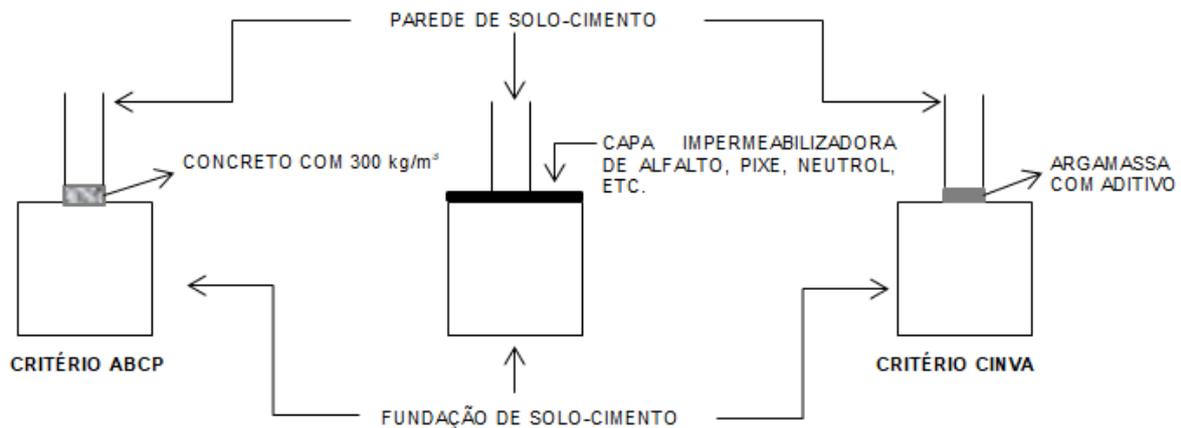
FUNDAÇÃO – ALARGAMENTO E NIVELAMENTO DA BASE DA PAREDE

Figura 21

Impermeabilização

É bastante pronunciado nas paredes de solo-cimento o fenômeno da ascensão capilar de água através das fundações, deixando marcas de umidade em alturas de até 50 cm acima do piso. Vários autores propõem a execução de uma camada impermeabilizadora sobre as fundações, de modo a interromper o movimento capilar da água (figura 22). Segundo a ABCP (9), esta camada deveria ser em concreto com 6 cm de espessura. O concreto deveria ter uma composição rica em cimento, com um consumo de 300 kg/m³. Segundo o manual do CINVA (16), a espessura da capa impermeabilizadora deve ser de 1,5 cm, com argamassa de cimento e areia na proporção de 1:2 ou 1:3 em volume e um aditivo impermeabilizante. Outra sugestão é a de se aplicar duas mãos de asfalto quente na superfície da fundação, que deve estar limpa e seca. Evidentemente, das soluções apresentadas, o critério CINVA de utilização da camada de argamassa é seguramente o

mais prático e talvez mais econômico, uma vez que o asfalto não apresenta as mesmas garantias de durabilidade que os outros materiais. Para melhor aderência entre a parede e a camada impermeabilizadora é conveniente que esta seja áspera, o que se consegue escovando-a ou riscando-a antes do endurecimento da argamassa. A dosagem do aditivo impermeabilizante a ser usado deve seguir as orientações do fabricante.



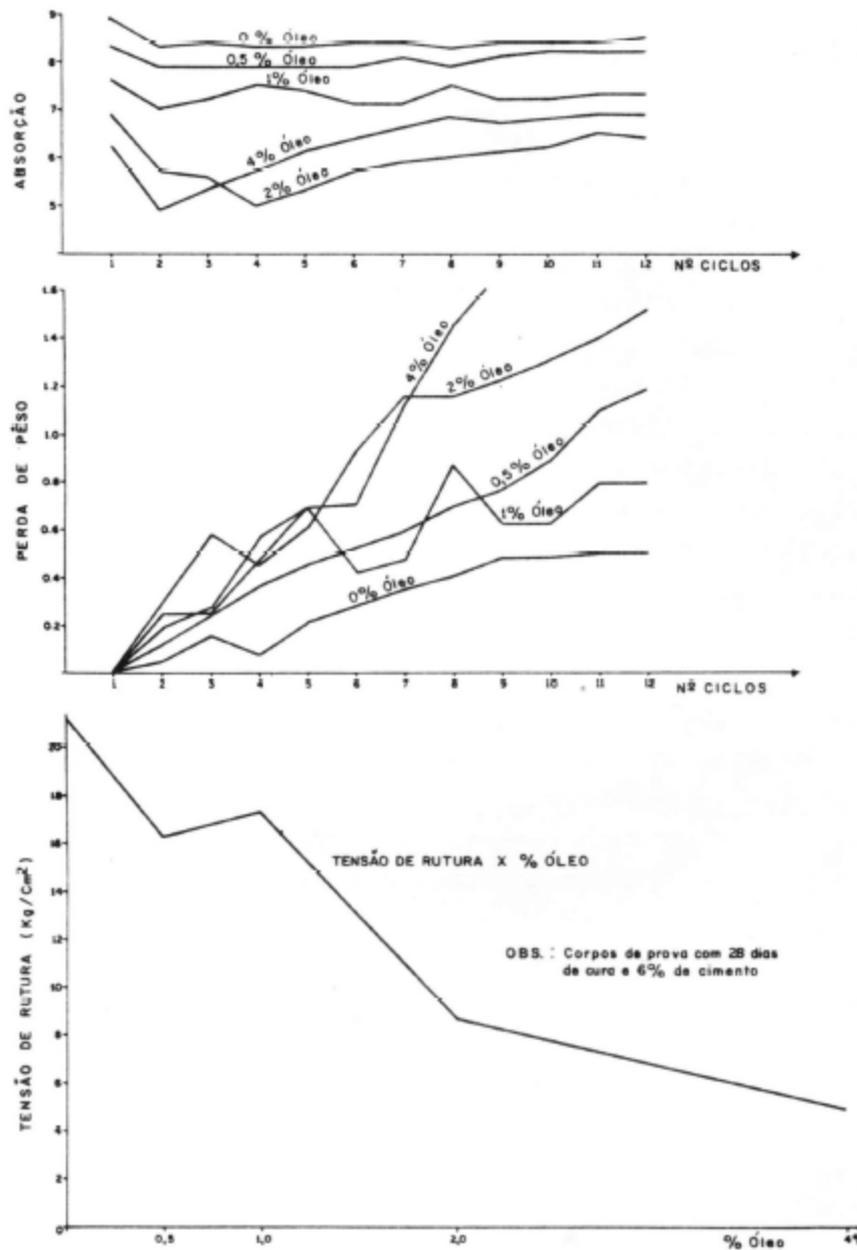
ALTERNATIVA DE IMPERMEABILIZAÇÃO DAS FUNDAÇÕES

Figura 22

Mesmo com soluções desta natureza, deve-se evitar qualquer umidade junto ao pé das paredes. Uma medida eficaz é executar um pequeno passeio acompanhando o perímetro externo da casa, suficientemente estreito para que a água que caia do telhado não respingue as paredes.

Por outro lado, pensou-se no uso de um aditivo impermeabilizante a se acrescentar à mistura solo-cimento. Tentou-se o uso de alguns óleos, mas, na verdade, não se tinha muita informação acerca do efeito da adição de dosagens baixas de tais produtos nas reações com cimento. Sabe-se que em maiores proporções o efeito seria desastroso. Na figura 23, tem-se parte dos resultados obtidos com mistura de óleo queimado. Misturas com óleo diesel, óleo de linhaça e óleo de mamona foram também ensaiadas, com resultados similares. Conforme se pode perceber, dosagens, mesmo da ordem de 0,5% em massa do solo seco, provocam variações sensíveis na resistência e o efeito sobre a durabilidade ou a absorção não é tão compensador, tendendo a perder sua ação após alguns ciclos de umedecimento e secagem.

Deste modo, resulta que ainda é mais vantajoso o uso de uma pintura eficiente nas paredes externas e a execução da capa impermeabilizadora nas fundações.



EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO AO SOLO-CIMENTO

Figura 23

3.4 PAREDES

As paredes construídas com solo-cimento compactadas no local apresentam características surpreendentes de monolitismo, dispensando normalmente qualquer estruturação. Por outro lado, alguns aspectos de projeto ainda não estão bem delimitados e devem ser discutidos com mais detalhes. Isto se refere às condições de estabilidade e isolamento térmico, guias a serem usadas, modulação, etc.

Estabilidade e isolamento térmico

As casas construídas com terra compactada sem qualquer agente estabilizador o foram com espessuras que contrastam hoje com a esbeltez das paredes em solo estabilizado. Cytryn (17) cita construções na Babilônia com 3 a 4 m de espessura. Merrill (39) fala em espessuras de 30 cm para paredes divisórias e de 35 cm para outras paredes em terra compactada, sem qualquer agente estabilizador, e explica tais dimensões como sendo adequadas para que se trabalhe em pé sobre as formas. Na arquitetura colonial brasileira, as espessuras são, às vezes, da ordem de 1,0 m. Talvez, como no caso brasileiro, isto se deva às facilidades da mão de obra escrava e à herança de métodos construtivos desenvolvidos no norte da África, em que os esforços horizontais das coberturas em arcos e domos, além das necessidades de um maior isolamento térmico, obrigavam tais espessuras.

A fixação de critérios mecânicos para dimensionamento de paredes tem sido uma preocupação pouco comum, talvez devido à experiência já bastante grande com os materiais convencionais, ou talvez por estes apresentarem, normalmente, qualidade superior para uma limitação dessa natureza.

Uma vez que se fixou a resistência mínima à compressão para o solo-cimento a ser usado, e daí a resistência mínima que terá a parede, outros esforços mecânicos referem-se basicamente a estabilidade, esforços de impacto e cargas excêntricas. Uma interessante tentativa no sentido de caracterizar valores mínimos admissíveis foi feita pelo *Instituto Nacional de Tecnología Industrial* (INTI), na Argentina, reunindo normas europeias, americanas e a própria experiência da instituição (4). O INTI estabelece recomendações e especificações justamente para paredes e divisórias construídas com materiais não convencionais. Estes critérios baseiam-se em ensaios de impacto em painéis - choque brando (bolsa de areia) e choque duro (esfera de aço), e de cargas excêntricas (esforços paralelos e normais ao plano da parede).

Investigações já citadas, realizadas na Universidade de Illinois, na *Portland Cement Association* e no *Bureau of Standards*, mostraram que as paredes monolíticas têm desempenho muito superior às paredes de tijolos. Este fato, apenas ressalta as vantagens de monolitismo nessas paredes em relação ao sistema de juntas, em uma alvenaria convencional.

Experiências existentes em que se obteve sucesso com a maioria das casas construídas levaram as várias sugestões: A ABCP (9), por exemplo, propõe paredes com 15 cm de espessura; Cytryn (14) fala uma espessura mínima de 20 cm; o ICPA (32) propõe 20 cm para paredes externas e 15 cm para as internas.

O CEPED, após um extenso programa de investigações sobre aspectos estruturais de paredes monolíticas de solo-cimento, incluindo ensaios de painéis à compressão (ASTM E-72-74), ensaios a choques e carga excêntrica (INTI), conclui que: considerando a dosagem de 1:15 em volume e pé direito até 2,80 m, a espessura da parede de 12 cm atende às condições de resistência e estabilidade.

Por outro lado, com relação às características de isolamento térmico, as observações de vários autores tendem a indicar desempenho equivalente às paredes de alvenaria de tijolos. A ABCP (9) menciona que os coeficientes de condutibilidade térmica e acústica variam com as características do solo empregado, mas os valores médios pouco difeririam dos correspondentes aos tijolos cerâmicos. A mesma observação é dirigida pelo *Instituto del Cemento Portland Argentino* (ICPA) (32), que chega a afirmar que o isolamento térmico de uma parede de 20 cm de espessura de solo-cimento é equivalente ao de uma de 30 cm de tijolo comum.

Na Tabela 6, têm-se, comparativamente, valores de condutibilidade térmica para vários materiais empregados na execução de paredes.

Tabela 6
COEFICIENTE DE CONDUTIBILIDADE TÉRMICA (a 20°C)

Material	$K \left(\frac{\text{cal}}{\text{°C} \times \text{cm}^2} \times \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$
Concreto ¹	$2,50 \times 10^{-3}$
Tijolos cerâmicos ¹	$1,65 \times 10^{-3}$ a $2,40 \times 10^{-3}$
Solo-cimento compactado ²	$4,10 \times 10^{-3}$
Adobe ²	$3,70 \times 10^{-3}$
Bitudobe (adobe com betume) ²	$3,60 \times 10^{-3}$
Solo compactado ²	$3,89 \times 10^{-3}$
Argamassa (1:4 em volume) ³	$1,80 \times 10^{-3}$

¹ Propriedade dos materiais cerâmicos – L. H. Van Vlack (60)

² Report BNS 78 (24)

³ Process Heat Transfer – Donald Q. Kern (33)

Note-se que, ao contrário das observações anteriores, o solo-cimento apresenta condutibilidade superior em quase 60% a do concreto e quase duas vezes a do tijolo cerâmico. Isto não significa que o solo-cimento se inviabilize por ser mais condutor, mas apenas que ele tem uma condutibilidade maior e que deveria ser empregado em paredes com maior espessura.

É interessante citar medidas feitas por Hassan Fathy em adobes, que mostraram valores de K variando entre 46% e 67% dos medidos em tijolos cerâmicos e 28% a 40% do observado em tijolos furados de concreto (27). Tais resultados realçam ainda mais a hipótese de possíveis variações nos valores da tabela 6, na qual, mesmo as medidas em adobes,

materiais reconhecidamente eficientes quanto ao isolamento térmico, são superiores aos de tijolos.

Infelizmente não se dispõe de maiores informações quanto ao procedimento empregado que forneceram os resultados da tabela 6 além dos dados serem provenientes de fontes diversas. Foi medida a condutibilidade térmica do solo-cimento no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES) da Petrobrás, obtendo o valor de

$$K = 1,83 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C} \times \text{cm}^2} \times \frac{\text{cm}}{\text{s}} \text{ (a } 60^{\circ}\text{C)}$$

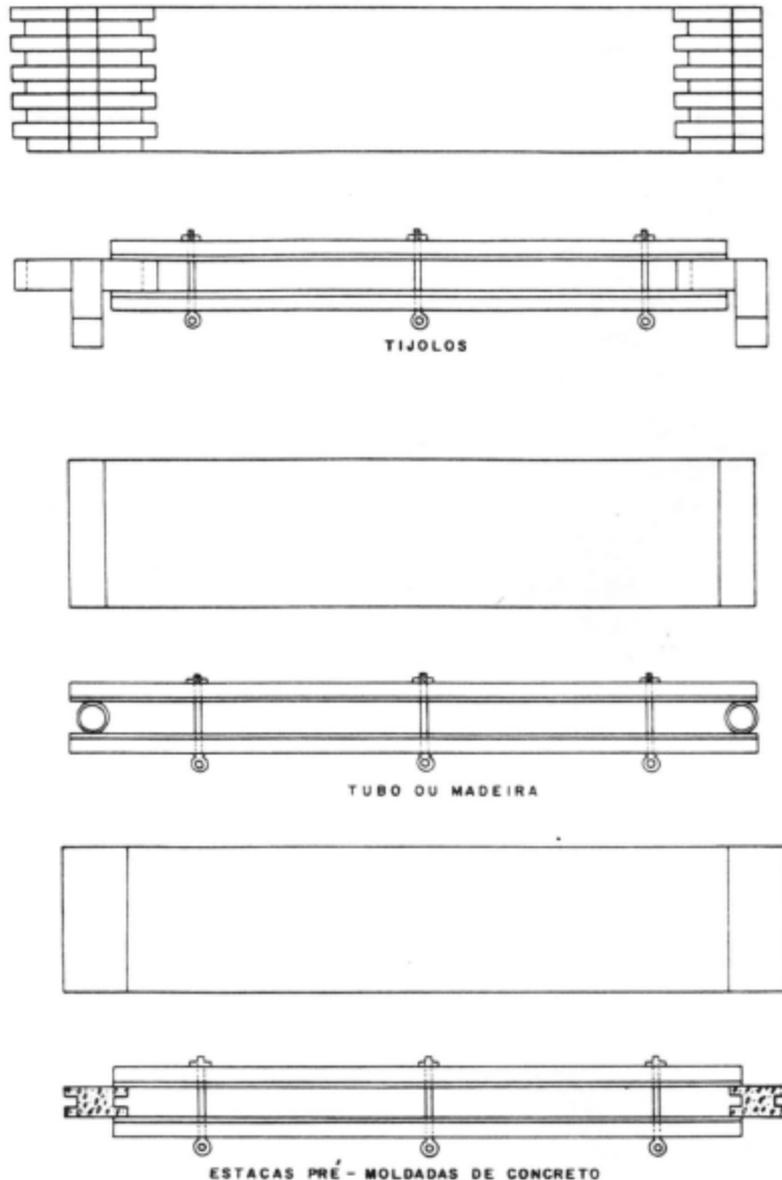
Estes fatos reforçam as observações anteriores de que é possível projetar paredes externas de solo-cimento com as mesmas espessuras que para materiais convencionais. Investigações realizadas no CEPED confirmaram que o comportamento térmico do solo-cimento é semelhante ao de alvenaria convencional e a pintura branca ou de cor clara da parede externa é um fator relevante para o conforto térmico da habitação.

Guias

As guias para o sistema G-2 podem ser em madeira, concreto, pilares de tijolos e mesmo o uso de alternativas mais criativas como tubos de fibro-cimento cheios de concreto (figura 24). As exigências fundamentais devem ser condições de durabilidade, verticalidade e dimensões compatíveis com as espessuras das paredes.

O uso de pilares de tijolos levou, no entanto, a outras limitações ainda: os pilares, por sua esbeltez, não podiam ser erguidos até a altura total do pé-direito, o que obrigou a permanência de um pedreiro na obra, que nem sempre conseguiu dar produção para acompanhar a subida das paredes em solo-cimento; outra limitação de tal sistema foi que não se conseguiu obter uma boa amarração entre os pilaretes e o solo-cimento compactado. O uso de tubos de fibro-cimento cheios com concreto mostrou excelentes resultados na construção dos trechos retos de parede. Nos cantos teve-se de voltar ao uso das formas de canto (em L), com uma queda acentuada do rendimento da mão de obra.

No uso de madeira como guias perdidas, deve-se observar que a madeira deve ser perfeitamente desempenhada e de boa qualidade. Madeiras verdes podem empenar-se no futuro, quando já embutidas nas paredes. De qualquer modo, as madeiras devem ser protegidas com pinturas próprias e sua amarração com as paredes pode ser feita com pregos cravados pela metade, deixando-se a outra metade para engate no solo-cimento ou arame farpado preso com grampos de cerca. A desvantagem apontada para a primeira opção é a dificuldade surgida durante a compactação, além do maior custo pela grande quantidade de pregos necessários à perfeita aderência do solo-cimento com a guia.

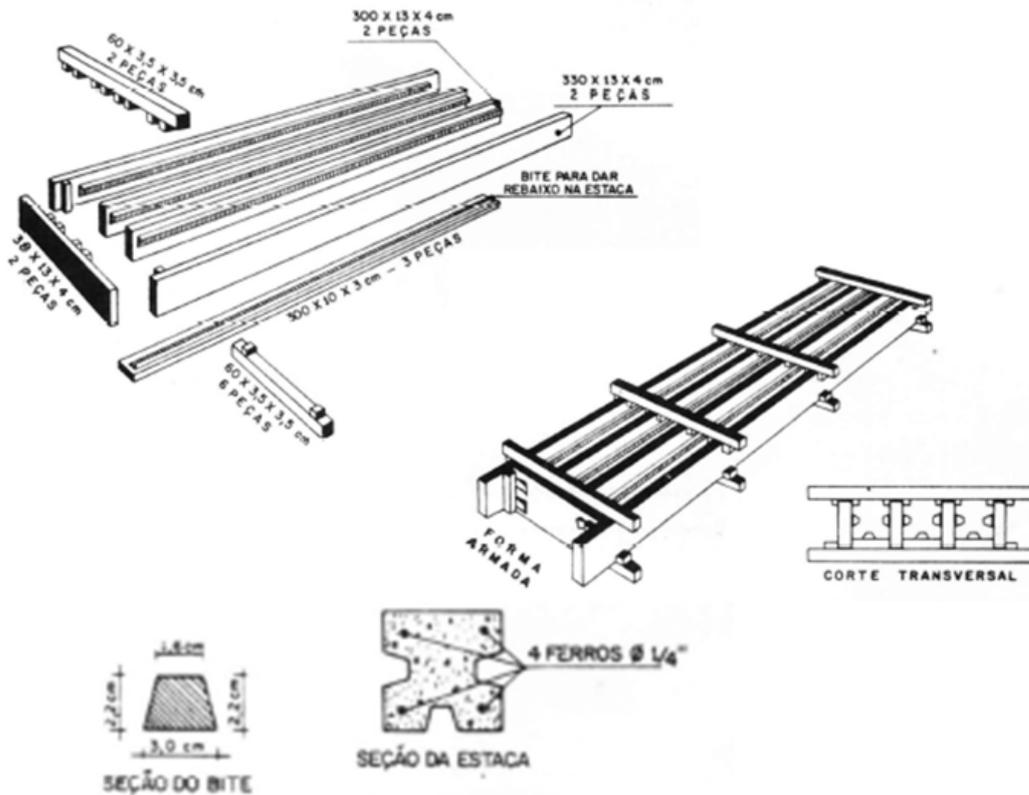


ALTERNATIVAS PARA GUIAS

Figura 24

As soluções de guias, que até o momento mostraram-se mais flexíveis, foram a utilização de estacas de concreto, que ficam perdidas na parede, e guias recuperáveis de madeira.

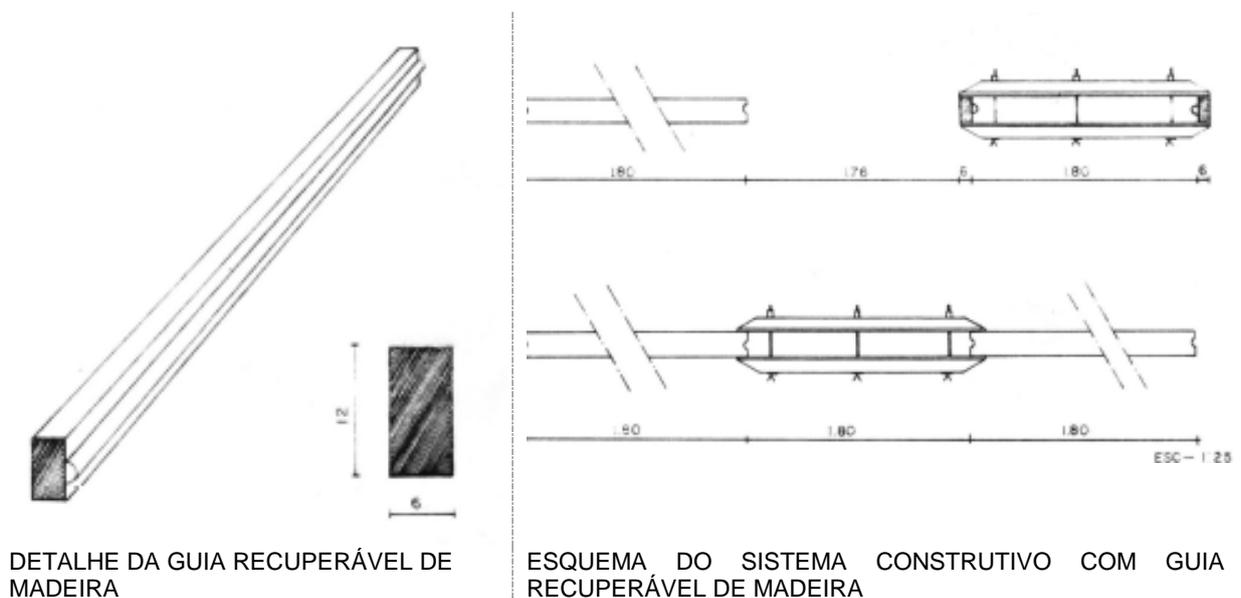
As guias de concreto, estacas, podem ser moldadas na obra, e mesmo com seção quadrada podem ser usadas tanto para os cantos como encontro de paredes. O peso não chega a ser uma limitação ao seu uso. As estacas para paredes usuais de 2,50 m de pé direito (3,00 m com 50 cm embutidas na fundação) apresentam peso da ordem de 70 kg, podendo ser transportada por 2 homens. A amarração com o solo-cimento é feita deixando-se uma ranhura nas estacas, o que forma um dente de encaixe. Na figura 25, têm-se os detalhes de dimensões, ferragem e formas das estacas que são usadas pelo CEPED.



FORMAS E FERRAGENS DAS ESTACAS

Figura 25

As guias recuperáveis de madeira são as mais utilizadas, pois, além de mais econômicas, são de fácil fabricação. Consiste de uma peça de madeira com dimensões compatíveis com a espessura da parede e altura em função do pé-direito mais engaste no solo. Utiliza-se de uma meia cana de tubo PVC ou um bit de madeira, pregado à guia (figura 26), que permite a amarração entre os painéis de parede, conferindo a estabilidade do conjunto.



DETALHE DA GUIA RECUPERÁVEL DE MADEIRA

ESQUEMA DO SISTEMA CONSTRUTIVO COM GUIA RECUPERÁVEL DE MADEIRA

Figura 26

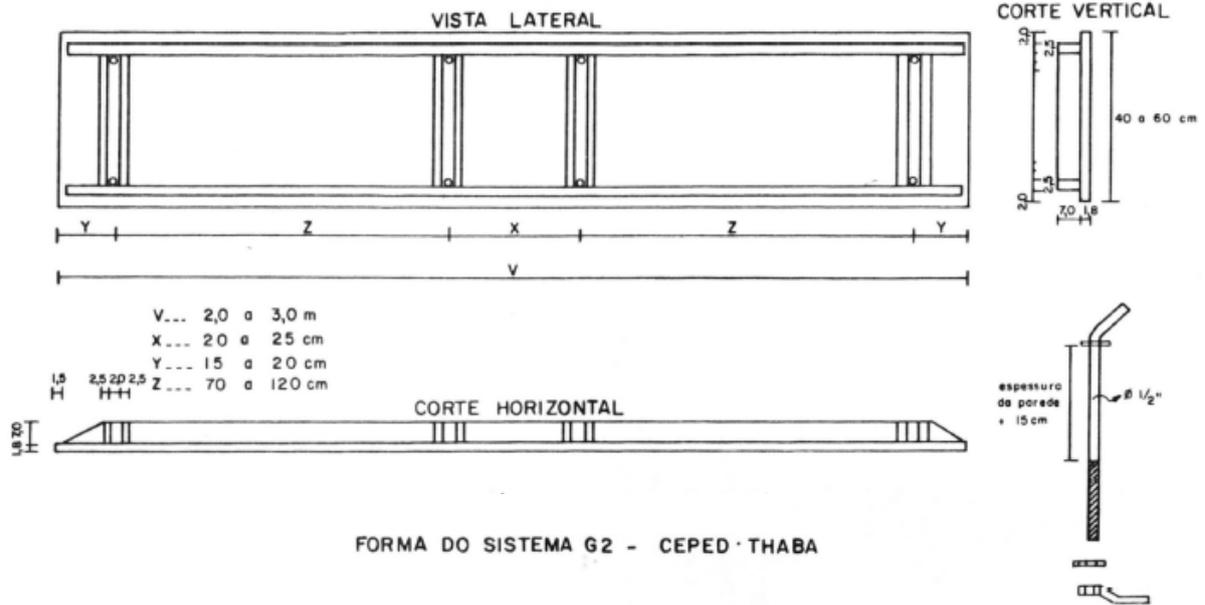
Modulação e formas

A modulação é talvez o fator característico de limitação de projeto do Sistema G-2. As vantagens em se modular refletem economia de formas e simplicidade de execução. Neste caso, a modulação é definida pelo espaçamento entre as guias, o qual tem sido usado entre 2,0 e 3,0 m por razões muito simples: por imposições do projeto e por permitir a execução de formas nestas dimensões, com 40 cm a 50 cm de altura e peso com cerca de 15 kg, bastante aceitável.

Evidentemente, modulações maiores permitem formas maiores e alguma economia no número de colocação de guias. No entanto, trabalha-se também com formas maiores para executar vãos limitados por paredes nos espaços menores como banheiro, cozinha, etc. Por outro lado, as formas mais compridas devem sua altura reduzida por razões de peso, o que obrigaria mais operações de montagem e desmontagem, fatores que se refletem acentuadamente no rendimento da mão de obra. É conveniente que o peso de cada lateral de forma não seja superior a 20 kg, para que possa ser manejada com facilidade por uma pessoa durante a montagem e desmontagem. Pela mesma razão, seu comprimento não deve ser superior a 3m: formas muito compridas são instáveis no manejo. Caso se pense usar mais de uma pessoa de cada lado da forma, estas ficam ociosas durante a compactação, pois mais de duas pessoas nesta atividade já começam a se atrapalhar mutuamente.

O solo-cimento apresenta fenômeno de retração até a estabilização do material com o tempo, aparecendo fissuras verticais tanto mais próximas quanto mais argiloso for o solo. É conveniente fazer coincidir estas fissuras com o espaçamento entre as guias permitindo a criação de juntas de retração, justamente nas regiões onde se pode executar facilmente encaixes de amarração. Após um estudo específico de fissuramento executado pelo CEPED, concluiu-se que a distância máxima entre guias deve estar entre 2,50 a 3,50 m, dependendo do teor de areia do solo. Esse, portanto, é outro fator que limita o comprimento da forma e conseqüentemente a modulação.

Na figura 27 tem-se esquematicamente o desenho de formas usadas pelo CEPED. A placa de madeira é do tipo compensado naval, com espessura mínima de 1,5 cm. Evidentemente é um produto mais caro do que os compensados comuns, e sua utilização é feita porque dá maior reaproveitamento, permitindo o uso das formas para mais de três obras. Naturalmente outros tipos de placas podem ser usados e os cuidados devem ser: quanto ao espaçamento entre parafusos, para que não haja esbojamento durante a compactação; cuidados com o manuseio; e, proteção contra sol e chuva para que não se empene. Devem-se evitar emendas, pois estas sempre constituem um ponto mais débil e, quanto melhor a superfície interna, melhor o acabamento.

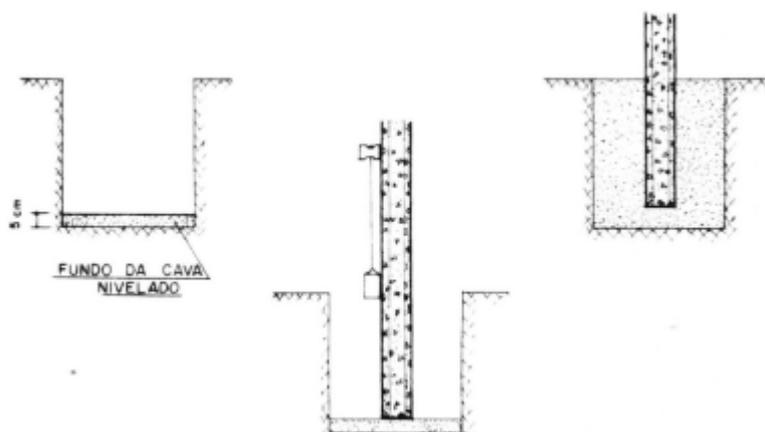


FORMA DO SISTEMA G-2 (CEPED/THABA)

Figura 27

Execução

As guias podem ser colocadas antes de se iniciar a fundação e chumbadas, como também podem ser colocadas após a compactação da fundação, desde que se deixem os vazios correspondentes. No caso das guias serem fincadas antes, devem-se abrir as valas da fundação alternadamente entre elas e ir compactando, evitando valas abertas em dois lados consecutivos da guia. Deve-se apurar e alinhar as guias procedendo o chumbamento. Quando se utiliza guias perdidas faz-se o chumbamento compactando solo-cimento (figura 28). Em casos especiais, como estacas com pequena profundidade no solo ou solo com baixa capacidade suporte, faz-se o chumbamento com concreto. Com guias recuperáveis deve-se chumbar com solo-cimento no lado que se deve executar a parede e com solo do lado oposto para facilitar sua retirada.

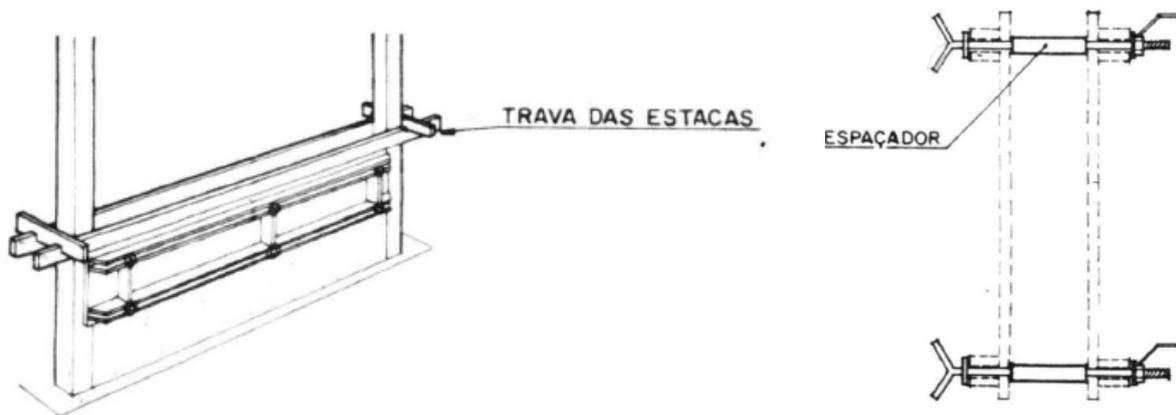


DETALHE DA FIXAÇÃO DAS ESTACAS

Figura 28

O alinhamento de cada guia deve observar, rigorosamente, o alinhamento externo das estacas vizinhas, pois tal fato define a colocação das formas. Qualquer desalinhamento resulta em paredes tortas.

Após a instalação das guias, a mão de obra especializada é apenas necessária para a instalação das esquadrias e algum acabamento. A execução das paredes não demanda qualquer tipo de habilidade. As formas são encostadas de ambos os lados de cada par de guias e aparafusadas. Um espaçador (figura 29) para as formas deve ser usado a fim de se evitar "embarrigamento" nas mesmas ao se apertar os parafusos. Pode-se usar para isso um pedaço de madeira de comprimento igual à espessura da parede, colocado no meio da forma. Este pode ficar perdido na parede ou ser recuperado alguns dias após a compactação da mesma. Pode-se usar também um tubo de PVC rígido de 1/2" como luva no parafuso central da forma, que pode ser retirado logo após a compactação.



DETALHE DO USO DE ESTACAS E FORMAS

Figura 29

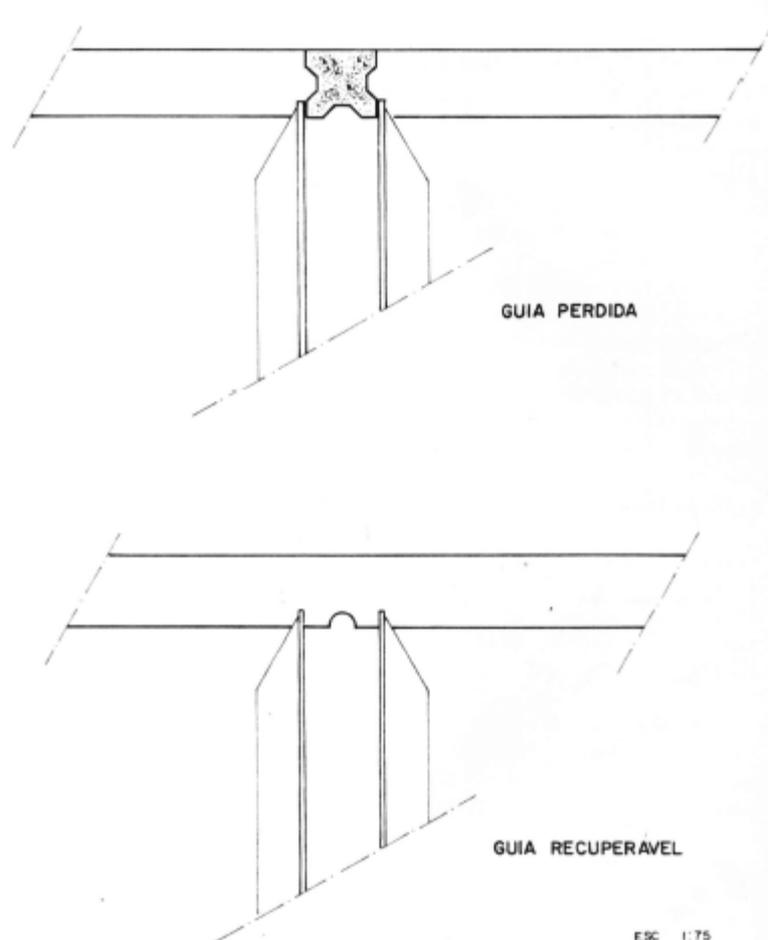
As camadas lançadas para compactação no interior das formas não devem ter espessuras superiores a 20 cm, sendo conveniente adotar 15 cm. Pode-se marcar com tinta o interior das formas de modo a se ter uma referência para a altura das camadas. A junta entre camadas, seja na mesma forma, seja entre esta e a forma seguinte, deve ser tratada com o máximo rigor. Quando a junta é executada com menos de 12 h entre compactação da última camada e a imediatamente superior, é suficiente riscar a camada compactada em xadrez, no sentido diagonal à face da parede. Juntas com mais de 12 h, além de escarificadas, devem ser molhadas e pulverizadas com cimento. Os sulcos na escarificação da junta devem ter profundidade e largura de cerca de 0,5 cm.

Quando se utiliza as guias perdidas, estacas, as paredes não devem subir mais de 50 cm acima do já executado do outro lado da estaca, a fim de que a pressão lateral do solo compactado não provoque desalinhamento da mesma, o que poderia resultar num

deslocamento entre a parede e a estaca. Se não usar esse procedimento pode-se escorar lateralmente a guia ou utilizar um dispositivo de reação entre duas estacas, detalhado na figura 29, que tem sido utilizado com sucesso. Caso não seja possível usá-lo deve-se escorar lateralmente cada estaca.

No caso de guias recuperáveis executam-se painéis alternados até sua altura total, observando-se os cuidados já descritos com o escoramento das guias. Após a retirada destas procede-se a confecção do painel intermediário tendo como guias os painéis já prontos. Na figura 26 tem-se o esquema deste sistema construtivo.

Para se executar os cantos faz-se um chanfrado na parede já construída de modo a criar uma superfície de apoio para a forma que vem na direção perpendicular. Ao se usar guias perdidas basta fazer o corte ao lado da estaca, mas se for guias recuperáveis deve-se abrir os sulcos na parede correspondente ao encaixe das formas e amarração dos painéis conforme a figura 30.



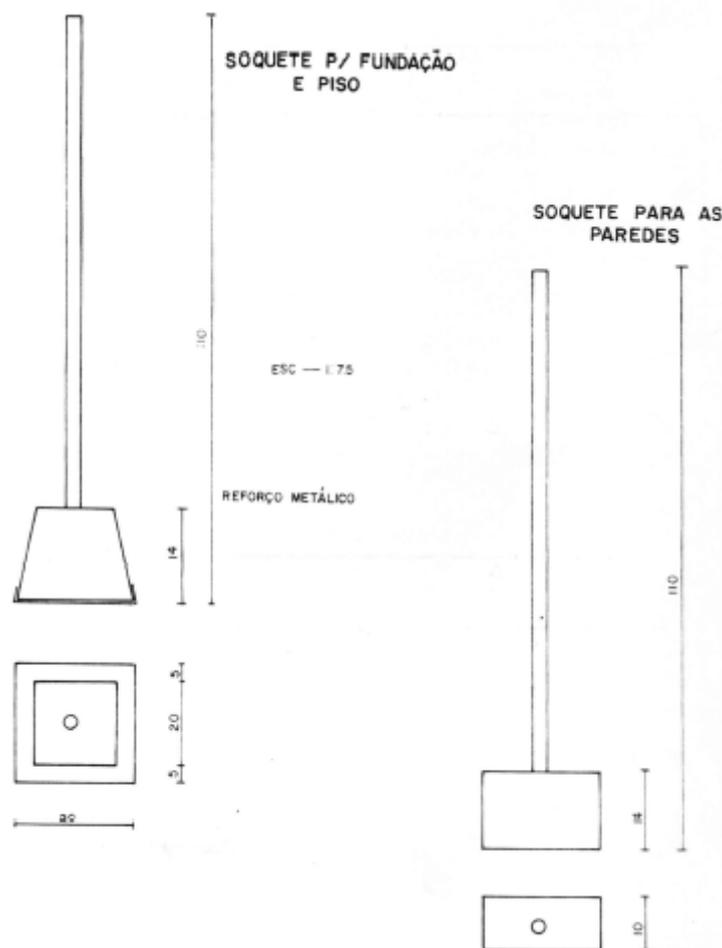
DETALHE DE ENCONTRO DE FORMAS E DE ENCONTRO DE PAREDES

Figura 30

Os soquetes para compactação podem ser feitos em madeira com o cabo de madeira roliça, com 3 cm de diâmetro. Os soquetes da fundação podem ser revestidos por uma placa

metálica, pois aumenta sua durabilidade. Os soquetes para compactação das paredes devem ser retangulares com a menor dimensão da ordem de 2 ou 3 cm menor que a espessura da parede. Seu peso deve estar entre 2 a 3 kg. Não se deve usar a placa metálica na base, pois esta estraga a forma durante a compactação. É interessante dispor também de um soquete menor, base circular com cerca de 5 cm de diâmetro, para compactação de pequenos espaços entre as esquadrias e estacas ou nos encontros das paredes e esquadrias.

Na figura 31, tem-se o desenho dos modelos de soquetes usados. É interessante que no início da compactação de cada camada se utilize do soquete menor ou do cabo do soquete maior, executando uma pré-compactação que facilita e melhora a qualidade da compactação final.



SOQUETES PARA COMPACTAÇÃO

Figura 31

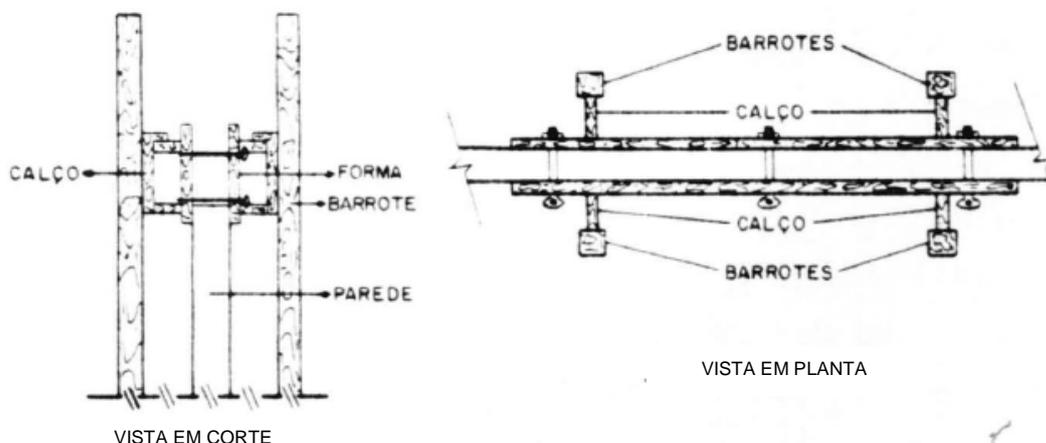
Quanto ao pessoal a ser empregado na execução das paredes, este vai depender do número de formas usadas. Na divisão do trabalho para esta atividade, é conveniente manter-se dois serventes na masseira e dois para cada forma. Um dos serventes da

masseira pode ajudar no transporte de mistura para as formas, enquanto o outro coloca a mistura nos baldes. É conveniente mais um servente que auxilia no transporte da mistura.

A desmoldagem é feita imediatamente após a compactação e a montagem da forma, sobre a última camada recém-compactada, vai depender do tipo de solo usado. Solos muito arenosos (mais de 80% de areia) fissuram devido ao peso da forma e ao esforço da compactação, pois a resistência inicial do solo-cimento compactado é dada justamente pela compactação da fração fina. No entanto, caso se tenha que montar uma forma sobre uma camada recém-compactada, com solos com mais de 80% de areia, é conveniente não desmoldar a primeira forma e montar a outra apoiada sobre ela.

O prosseguimento vertical de paredes, acima das estacas, é uma atividade que, embora razoavelmente simples de se executar, pode gerar algumas dificuldades. Este prosseguimento é necessário, normalmente, nas empenas, quando todas as estacas são do mesmo tamanho e não se quer construir telhados com 4 águas, ou em terrenos em declive, quando parte das paredes serve para contenção de aterros internos.

A solução usada tem sido de encostar dois barrotes a parede já executada e usá-los como guias para as formas que deslizam no vão entre os mesmos. Na figura 32, tem-se uma ilustração de tal alternativa.

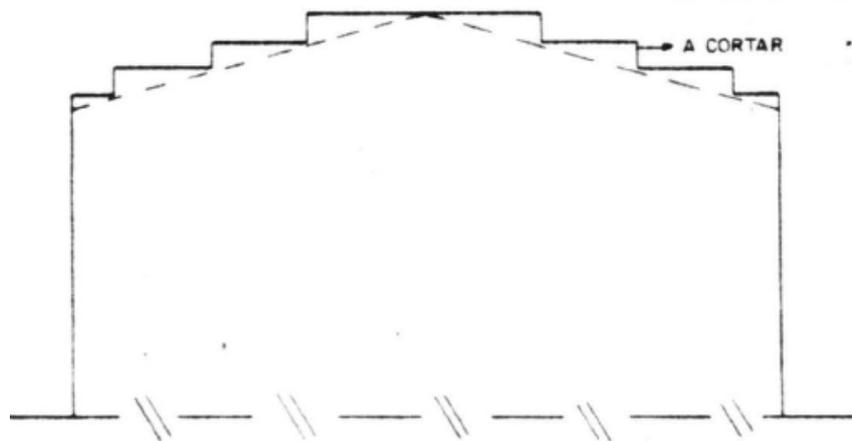


PROSSEGUIMENTO VERTICAL DAS PAREDES

Figura 32

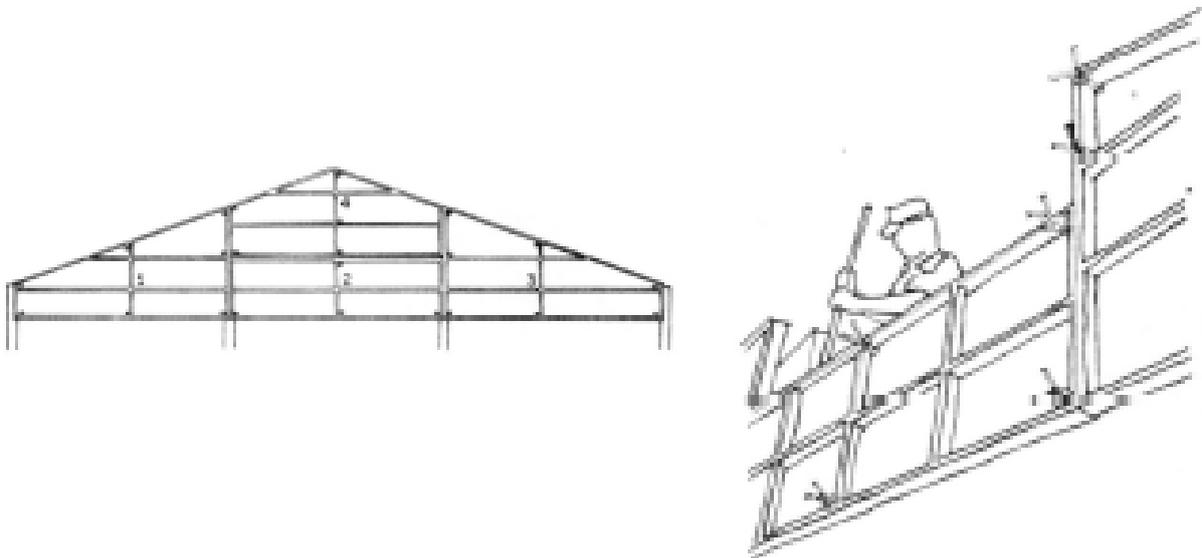
Esta operação é bastante simplificada quando se usa guias recuperáveis com altura igual à total da parede.

Quando se trata de empenas, o desenho correspondente é obtido executando-se o trecho da parede, na posição da empena, de modo escalonado, fazendo-se logo após a desmoldagem, o corte dos cantos fora da empena (figura 33). Às vezes, o número de empenas a ser executado compensa a confecção de formas especiais conforme exemplificado na figura 34.



EXECUÇÃO DE EMPENAS

Figura 33



OPÇÃO PARA MOLDAGEM DA EMPENA

Figura 34

Evidentemente, pode-se adotar outras soluções muito usadas na construção convencional, que é a de construir as empenas com elementos vasados, treliças de madeira, etc. Estas soluções apresentam vantagens estéticas e de ventilação bastante interessantes.

Cura e acabamento

A cura é um cuidado fundamental para se garantir a qualidade prevista na dosagem. A condição de pequena espessura das paredes, com duas superfícies de exposição, facilita acentuadamente a desidratação do material. Alguns autores sugerem que as paredes executadas sejam cobertas por sacos de aniagem constantemente molhados. Talvez essa prática seja interessante durante as paralisações da obra, mas no andamento dos serviços essa solução obstacularizaria muito os trabalhos. Uma providência que se tem mostrado

eficiente é a prática de se executar 2 a 4 molhagens diárias das paredes, durante um mínimo de 15 dias após a execução das mesmas. Na figura 35 têm-se os gráficos de evolução da resistência de corpos de prova ensaiados no CEPED, sob várias condições de cura. Na investigação realizada, foi comprovada a redução na resistência da ordem de 40%, quando não se usa qualquer processo que evite uma secagem rápida.

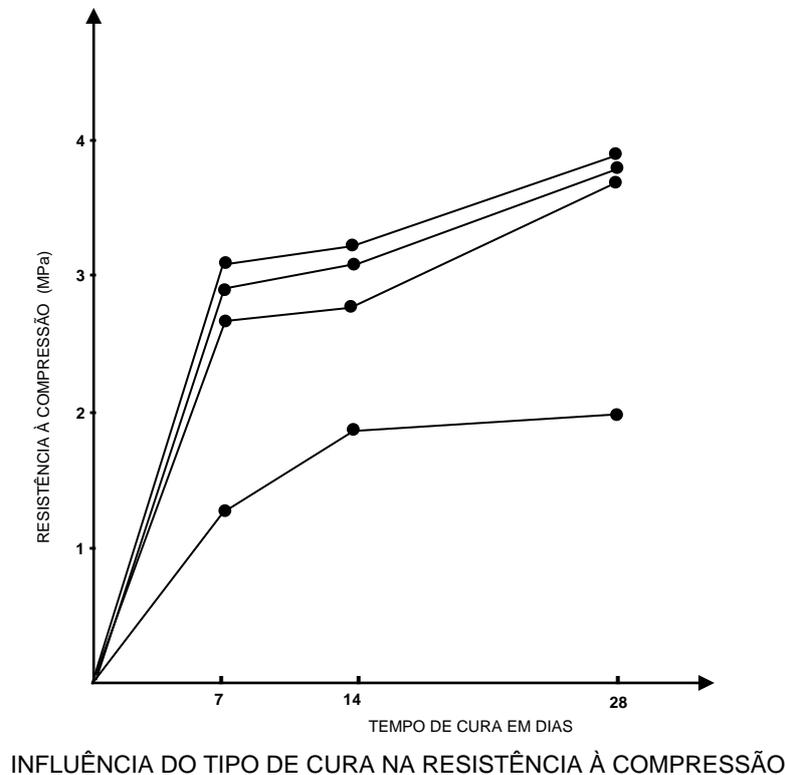


Figura 35

O acabamento final da parede de solo-cimento compactado é função, fundamentalmente, do grau de compactação, características das paredes internas da forma, tipo de cura e granulometria do solo utilizado.

Valores do grau de compactação superiores a 95% não só asseguram as melhores qualidades do material, como também garantem o melhor acabamento. Regiões menos compactadas serão pontos mais frágeis nas paredes, como também se soltarão em placas. O controle da compactação é, neste sentido, de fundamental importância para a boa aparência da parede.

A textura interna das formas deve ser lisa, sem ranhuras ou trincas. Nas experiências com vários tipos de forma, obteve-se o melhor acabamento com as formas metálicas em que a superfície interna era completamente lisa. A limpeza e lubrificação dessas superfícies em contato com o solo-cimento são também de fundamental importância. Formas com imperfeições, sujas ou mal lubrificadas, provocam aderência do solo compactado, resultando em uma parede "bexigada", onerando a obra com custos de reconstituição. A limpeza deve ser feita antes de qualquer uso, removendo-se as incrustações. A lubrificação

da superfície é executada em seguida com óleo lubrificante ou óleo diesel. Esta operação deve ser repetida cada vez que se utilizam as formas.

Uma cura mal cuidada é outro fator de prejuízo no acabamento. As paredes que não passam por um processo sistemático de molhagem apresentam "esfarelamento" superficial, que as torna muito vulneráveis a qualquer ação mais rigorosa de chuvas e ventos.

A granulometria é outro fator sensível a uma erosão superficial. Solos com torrões, que não foram desagregados durante a mistura com cimento, tendem a dar paredes "bexigadas" por deslocamento do torrão na parede, que, por não se ter misturado com o cimento apresenta menor aderência. Neste caso, a melhor solução é o peneiramento do solo antes de utilizá-lo. Uma peneira de 5 mm de abertura é suficiente e pode ser usada sem muito prejuízo da velocidade de execução.

As juntas entre formas, bem como os encontros com estacas, podem apresentar saliências devido a esbojamento das formas, que podem ser regularizadas com uma colher de pedreiro. Essa operação é repetida ao final de cada dia de trabalho, pois não se deve permitir que a massa compactada endureça muito. Posteriormente, onde se fez essa regularização, pode-se uniformizar mais a textura da parede, cobrindo o local com uma capa fina de solo-cimento plástico e acertando-o com uma desempoladeira.

Idêntica operação é feita para tapar os furos deixados pelos parafusos ou em outros pontos a se reconstituir. Um bom acabamento pode ser também obtido, neste caso, com uma esponja úmida utilizada como desempoladeira.

As fissuras nas paredes de solo-cimento, quando não produzidas por movimentos diferenciais nas fundações, são de menor importância. Nas juntas verticais dos encontros de painéis aparecem aberturas devido à retração do material. Nesse caso não causam problemas estruturais às paredes devido aos encaixes macho-fêmea que amarram o conjunto. Para se evitar, entretanto, a impressão desagradável de uma parede "rachada" pode-se tratar esta junta com alternativas criativas como, por exemplo, abrir um sulco vertical na parede recém-compactada, evitando a abertura de forma irregular.

No caso de aparecimento de fissuras fora das juntas de retração, se a abertura for menor que 4 mm deve-se esperar um tempo para sua estabilização e preenchê-la com massa plástica; entretanto, se a abertura for maior que 4 mm a melhor solução é abrir sulcos transversais com cerca de 2 cm de profundidade e 10 cm de cada lado da fissura, fixando aí um ferro com diâmetro de 6 mm, e preenchendo o sulco com uma massa forte de cimento e areia. Essa "costura" pode ser feita a cada 20 cm da fissura.

Esquadrias

As esquadrias em paredes monolíticas de solo-cimento podem ser implantadas segundo duas alternativas:

- a) a colocação do caixão da esquadria dentro da forma por ocasião de compactação da parede;
- b) a colocação de uma moldura provisória dentro da forma, de modo a preservar na parede o vazio correspondente à esquadria.

Em ambos os casos, o elemento colocado dentro da forma (figura 36) deve ter a mesma espessura da parede, de modo a que se mantenha preso pela pressão dos parafusos da forma. Apenas a segunda alternativa, após a retirada da moldura, irá permitir o uso de contramarcos com dimensões menores que a espessura da parede.

O chumbamento deve ser feito com a utilização de chapuz, que é colocado dentro da forma, durante a compactação. O chapuz deve ter cerca de 10 cm de embutimento, e sua largura deve permitir o recobrimento lateral de 3 cm; deve-se cravejá-lo com pregos a fim de reforçar sua aderência ao solo-cimento compactado (figura 36).

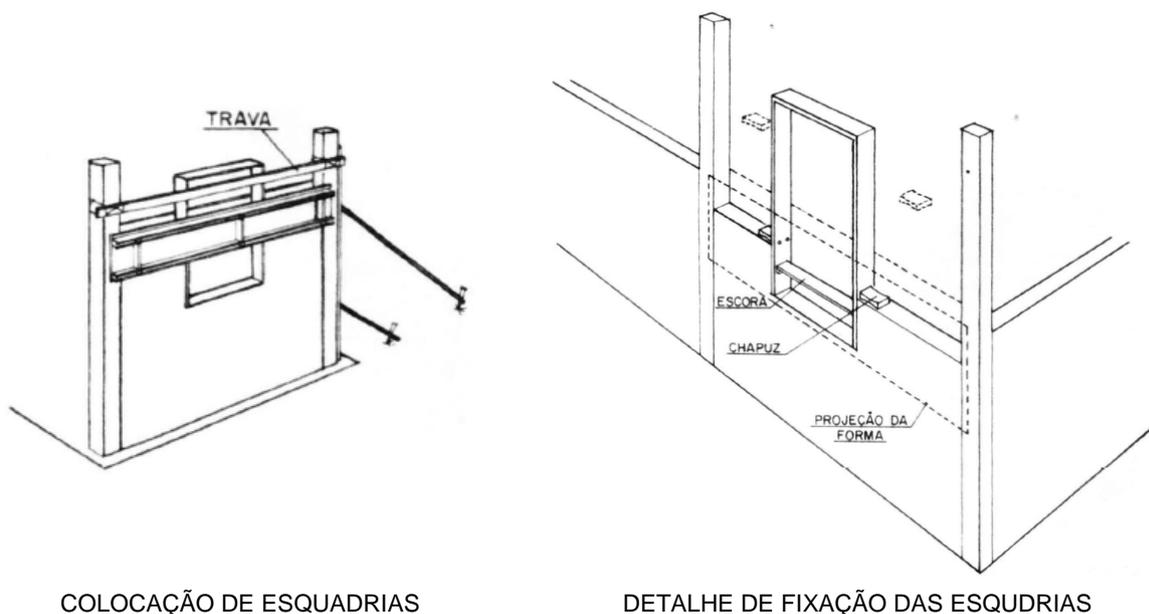


Figura 36

Poucos autores preocuparam-se em avaliar os vãos possíveis de esquadrias em paredes monolíticas de solo-cimento. Uma publicação da AID - *Earth for Homes* (23) propõe que o vão das aberturas não seja superior a 35% do comprimento da parede, mantendo-se o mínimo de 90 cm entre duas aberturas. A ABCP (9) propõe valores reproduzidos na tabela 7 para dimensionamento de vergas. A armadura é feita com arame farpado com um recobrimento de solo-cimento solto de 5 cm. Após a compactação dessa camada, a

armadura é colocada em posição e novamente recoberta por uma camada solta de 10 cm. O trespasse na parede, além do vão da esquadria, deve ser de 30 cm de cada lado. A altura útil considerada para as vergas é de 40 cm. Isto significa que a altura da parede acima da esquadria não deve ser inferior a tal valor.

Tabela 7
ARMADURA PARA VERGAS

Vão livre (m)	Número de fios de arame farpado		
	Espessura da parede		
	10 cm	15 cm	20 cm
0,50	-	-	-
0,50 a 1,00	2	2	2
1,25	3	3	3
1,50	4	4	4
1,75	6	6	7
2,00	7	7	8

Finalmente, deve-se ressaltar que o caixão usado durante a compactação deve ser vigorosamente reforçado, tanto no sentido vertical como horizontal, pois os esforços durante a compactação tendem a deformá-lo. Igualmente, deve-se fixá-lo às guias de modo a que não sofra qualquer deslocamento.

3.5 INSTALAÇÕES E COBERTURA

As instalações hidráulicas, elétricas e sanitárias em uma casa com paredes de solo-cimento são executadas exatamente como nas construções convencionais, apenas é conveniente que, no caso de instalações embutidas, os sulcos nas paredes sejam feitos antes que a resistência do solo-cimento comece a dificultar a abertura dos cortes para seu embutimento. Cerca de até 10 dias após a execução, tal trabalho já começa a tornar-se difícil.

Instalações aparentes podem ser executadas, utilizando-se o sistema de braçadeiras e "buchas" plásticas.

A cobertura mais usada até o momento nos protótipos construídos é com telhas cerâmicas, com o madeiramento diretamente apoiado sobre as paredes. Entretanto, já se utilizou outros tipos de cobertura como telha de cimento-amianto, de alumínio, de cimento e areia, com resultados satisfatórios. Evidentemente, outras coberturas podem ser projetadas, sendo, no entanto, conveniente verificar as cargas nas paredes e confrontá-las com as hipóteses de carga para dosagem.

3.6 PISO

O piso pode ser também executado em solo-cimento, com o mesmo solo e dosagem empregados na construção das paredes. Tem-se, deste modo, uma superfície durável, resistente, embora o acabamento seja um pouco grosseiro, principalmente porque não é fácil obter-se uma superfície muito regular com a compactação.

A espessura do solo-cimento compactado no piso deve ser de cerca de 4,0 cm, que corresponde a uma camada lançada com aproximadamente 7 cm. É conveniente que a camada de apoio seja em terreno natural, ou que seja uma camada compactada com não menos de 4,0 cm de espessura.

Para outros acabamentos, pode-se prever a execução de pisos diretamente sobre a camada de solo-cimento. Neste caso, o novo piso, tanto poderia ser em uma argamassa de cimento e areia como até o assentamento de produtos cerâmicos ou tacos. Convém ressaltar que, mesmo nestes casos, devem-se manter as espessuras descritas anteriormente.

A cura do piso de solo-cimento deve ser cuidada com o mesmo rigor que as paredes, com, pelo menos, 2 a 4 molhagens diárias ou cobri-lo com panos molhados.

3.7 PINTURA

Pesquisas de Patty (45) no South Dakota, *Agricultural Experimental Station*, em 1931, identificaram que os teores de areia e argila do solo compactado tinham marcante influência na durabilidade da pintura aplicada. Tintas de qualquer qualidade mostraram-se ineficientes em paredes construídas com solos inadequados. Segundo este autor, os teores de areia de um solo deviam ser superiores a 70% e as porcentagens de argila inferiores a 20% para assegurar a boa qualidade de uma pintura. No entanto, os trabalhos de Patty não consideraram o uso de solo estabilizado, em que a atividade das frações mais finas é reduzida por ação do estabilizador. ·

Ainda segundo Patty, parece não existir qualquer influência da idade do painel quando se aplica tintas à base de óleo. Entretanto, outras tintas não foram ensaiadas pelo autor. A ABCP (9) recomenda que as paredes de solo-cimento tenham no mínimo 24 dias de idade ao se aplicar a 1ª demão de tinta, tendo em vista a uniformização da umidade. Isso depende também do tipo de tinta a ser usada: as pinturas à base de pó mineral devem ser aplicadas sobre as paredes úmidas, o que não acontece com as pinturas à base de látex. Outro fator a ser observado é que a água necessária à hidratação do solo-cimento poderia ser retirada por revestimentos que também necessitam de água no seu processo de cura.

O uso de tintas à base de cimento parece ter sido proposto inicialmente por Merrill que sugere uma receita confirmada por vários autores:

100 partes de cimento Portland branco

100 partes de areia silicosa branca (peneira nº 50 a nº 100 – diâmetro dos grãos entre 0,30 a 0,15 mm)

1 parte de estearato de cálcio

4 partes de cloreto de cálcio

3 partes de bióxido de titânio ou sulfeto de zinco.

Para uma mistura de 25 kg, deve-se usar 30 a 35 litros de água na 1ª demão e 25 a 30 litros na 2ª.

O estearato de cálcio é um impermeabilizante especialmente efetivo para pinturas. O cloreto de cálcio facilita o processo de cura e pode ser substituído pelo cloreto de sódio; o óxido e o sulfeto são pigmentos que devem ser usados caso não se queira uma pintura branca. A tinta deve ser aplicada em duas demãos sobre a parede molhada, e, segundo o autor, a sua duração alcançaria normalmente oito anos.

O uso desta fórmula em protótipos mostrou os seguintes inconvenientes:

a) a areia, quando utilizada em sua granulometria natural, geralmente assenta-se rapidamente, dificultando a aplicação, uma vez que é necessário estar revolvendo constantemente a mistura; talvez por isso outros autores propõem que a porcentagem de areia seja a metade da sugerida por Merrill; no entanto, tem-se obtido bom resultado peneirando a areia a ser usada na peneira 100 (0,15 mm), conseguindo-se uma tinta de fácil aplicação e bom acabamento;

b) o custo do cimento branco em Salvador era, na época, o dobro do cimento comum, resultando a pintura em um custo equivalente ao de uma pintura com tinta comercial.

A alternativa de pintar as paredes com óleo de linhaça como um impermeabilizante foi identificada por Patty em suas investigações. Esta solução poderia ser empregada em combinação com terminações mais baratas como a caiação ou a têmpera. A têmpera é preparada com uma pasta homogênea de gesso (ou sulfato de bário) ou crê (carbonato de cálcio) e água, à qual se junta cola dissolvida numa proporção de 1,0 kg para 20 ou 25 litros de água. A mistura é feita com uma parte de água de cola para duas partes da pasta.

Ultimamente, tem sido grande a variedade de tintas sintéticas. São especialmente conhecidas as tintas à base de látex e PVA, de fácil aplicação e com características de maior impermeabilização. São solúveis em água e devem ser aplicadas sobre paredes secas, pois a retenção da umidade produz manchas de bolor. Merrill, em 1949, já chamava a

atenção para a eficiência de tais tintas em paredes de terra compactada. No entanto, é preciso ressaltar o custo elevado de tais produtos em relação às soluções caseiras das tintas à base de cimento, as imprimiduras com óleo de linhaça, a têmpera e mesmo algumas tintas comerciais mais baratas, como Hidrax, Conservado-P, Cimentol e similares.

Um programa de investigação de pintura no solo-cimento foi realizado no CEPED. Pintou-se corpos de prova cilíndricos e paredes de solo-cimento com têmpera, cimento branco e areia fina, "hidracor", látex e "Conservado-P".

Os corpos de prova foram moldados com uma série com 8% de cimento, em massa, e outra sem aditivo. Em cada série variou-se a quantidade de areia com 40, 60 e 80%. Os corpos de prova foram ensaiados a durabilidade.

As paredes foram compactadas com dosagem com 1:20 em volume e a quantidade de areia variou de 50 e 70%. Depois de pintadas foram ensaiados a permeabilidade segundo os métodos propostos pela RILEM¹

Concluiu-se que a têmpera, o cimento branco e areia e o "Hidracor" não impermeabilizam paredes, então não devem ser aplicados em paredes externas. A tinta a base de látex tem restrições na aplicação em paredes devido a aderência. O grau de aderência dado por esta pintura vai depender do acabamento final da parede, pois se houver rugosidade, a película de tinta não envolve toda a superfície, ficando "furos" por onde penetra a água.

Tintas a base de pó mineral (Conservado-P, Cimentol) mostraram-se ideais para o uso em paredes de solo-cimento devido à sua aderência e ao grau de impermeabilização obtido com a sua aplicação.

¹ MARIOTTI, M., MAMILLAN, M. Essais in situ de perméabilité de maçonnerie. Bulletin RILEM, Paris, 1963 (18): (79-80), 1963.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCP – São Paulo. *Controle e fiscalização de obras de solo-cimento*. São Paulo, 1973.
2. ABCP – São Paulo. *Solo-cimento; tabelas auxiliares para os cálculos nos ensaios de laboratório e de campo*. São Paulo, s.d.
3. ARCHER, J. & ARCHER, G. *Dirt cheap ; the mud brick book*. Melbourne, Compendium, 1976. 91p.
4. ARGENTINA. Instituto Nacional de Tecnologia Industrial. Departamento de Construcciones. División de Estructuras. *Recomendaciones sobre las especificaciones que deben cumplir los elementos de cerramiento exterior y divisorios no portantes*. Buenos Aires, 1976.
5. BERNIS, M. Les constructions en beton de terre stabilisé. *Techniques des Travaux*, Belgique, sept./oct. 1949.
6. BETTS, M. C. & MILLER, T. A. H. Rammed earth for buildings. *Farmer's bulletin*, Washington, 1937 (1500):1-25, 1937.
7. BORGES, A. de C. *Prática das pequenas construções*. São Paulo, E. Blucher, 1972.
8. BURNE, W. S. & HOLTZ, W. G. Soil-cement liming placed mechanically. *Engineering News – Record*, Chicago, 25 Dec. 1947.
9. CASAS de paredes de solo-cimento. *Boletim Informativo da ABCP*, 1948 (54), 1948.
10. CASTRO, E. de & LUIS, A. S. *O solo- cal na pavimentação de estradas e aeródromos*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1974.
11. CATTON, M. D. Early soil-cement research and development. *Proceedings, ASCE*, New York, Jan. 1959.
12. CATTON, M. D. Research on the physical relations of soil and soil-cement mixtures. In: ANNUAL MEETING OF THE HIGHWAY RESEARCH BOARD, 20, Dec. 1940. *Proceedings*, p. 821-55.
13. CATTON, M. D. Soil-cement technology; a resume. *Journal of Research and Development Laboratories*, Portland Cement Association, Skokie, Jan. 1962.
14. CLARE, K. E. & CRUCHLEY, A. E. Laboratory experiments in the stabilizations of clays with hidrated lime. *Geotechnique*, London, 1957.
15. COLLINS, H. Proposed houses of stabilized earth. *Architectural Design & Construction*, London, July, 1941.
16. COLOMBIA. Centro Interamericano de Vivienda y Planeamiento. *Suelo- cemento; su aplicación en la edificación*. Bogotá, 1963.

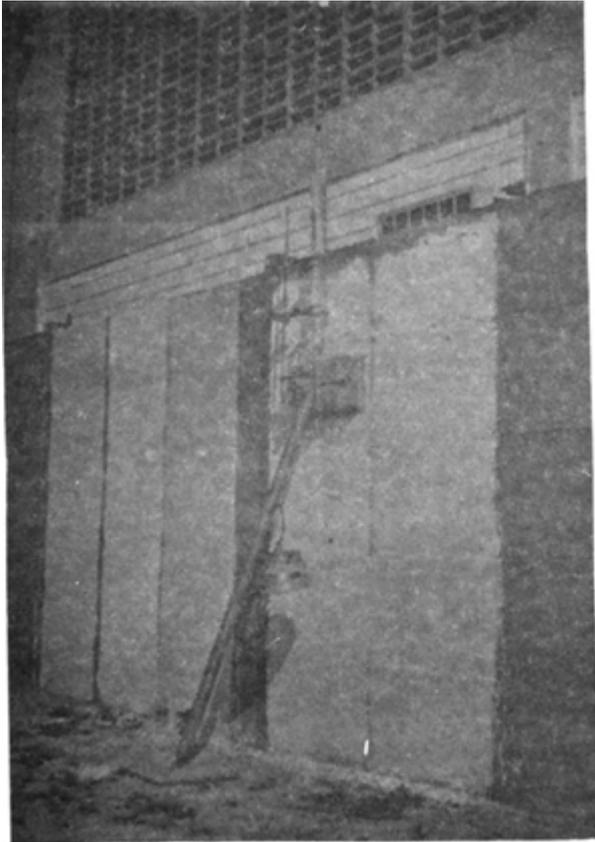
17. CYTRYN, S. *Construcción con tierra*. México, Centro Regional de Ayuda Técnica. Administración de Cooperación Internacional, 1959.
18. DANTAS, H. S. *Estabilização de solos com emprego de cal; tentativa de especificação de construção*. Rio de Janeiro. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 1970. (IPR – Publicação n° 462).
19. DIAMOND, S. & KINTER, E. B. Mechanics of soil-lime stabilization. *Highway Research Record*, Washington, 1965 (92), 1965.
20. DIFURNET, P. Une expérience de construction en beton de terre stabilisé. *Cahiers du C.S.T.B.*, Paris, 1950 (81), 1950.
21. DUMBLETON, M. J. *Investigations to assess the potentialities of lime for soil stabilization in the United Kingdom*. London, 1962. (Road Research Technical Paper n° 64).
22. ELORZA, H. A. *Muros monolíticos de suelo-cemento*. Santiago, Universidad Católica de Chile. Dept° de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, 1954. (Estación Experimental de la Vivienda - publicación n° 4).
23. ESTADOS UNIDOS. Department of housing and Urban Development. Office of International Affairs. *Earth for homes*. Washington, 1965.
24. ESTADOS UNIDOS. National Bureau of Standards. *Structure, heat transfer, and water permeability properties of five earth-wall construction*. Washington, United States Government Printing Office, 1941. (Report BMS-78).
25. EXECUÇÃO: Manual de solo-cimento. *Boletim Informativo da ABCP*, 1944 (49), 1944.
26. FARIA, L. de C. Origens culturais da habitação popular no Brasil. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 1951(12), 1951.
27. FATHY, H. *Architecture for the poor*. Chicago, The University of Chicago Press, 1973.
28. FRANÇA. Ministère des Affaires Culturelles. Unité Pedagogique d'Architecture de Grenoble. *Minimôme découvre la terre*. Grenoble, 1975. 359 p. il.
29. GRIM, R. E. & EACLES, J. L. Reaction of Hydrated lime with pure clay minerals in soil stabilization. *Buletin of the Highway Research Board*, Washington, 1960(262), Jan. 1960.
30. GUERRA, G. Cajueiro Seco; uma experiência em construção. *Revista de Arquitetura*. Rio de Janeiro, 1963.
31. INGLES, O. G. & METCALF, S. B. *Soil stabilization*. New York, J. Wiley & Sons, 1973.
32. INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO – BOLETIN, Buenos Aires, 7 (32), mar./abr. 1973.

33. KERN, D. Q. *Process heat transfer*. London, McGraw Hill, 1950.
34. LAMBE, T. W. *et alii*. Recent soil-lime research at Massachusetts Institute of Technology. *Bulletin of the Highway Research Board*, Washington, 1960(262), Jan. 1960.
35. LEMOS, C. A. C. *A casa colonial paulista*. São Paulo, USP - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1975.
36. LILLEY, A. A. *A laboratory examination of the effect of delaying the compaction of soil-cement mixtures*. London, Cement and Concrete Association, 1958. 7 p. il. (Cement and Concrete Association - Technical Report TRA/229).
37. MATEOS, M. & DAVIDSON, O. T. Lime and fly ash proportions in soil-lime and fly ash mixtures and some aspects of soil-lime stabilization. *Bulletin of the Highway Research Board*, Washington, (335).
38. McNOWN, W. C. Soil-cement block for walls of University Research Laboratory. *Engineering News-Record*, Chicago, 127:90-1, Dec. 1941.
39. MERRIL, A. F. *Casas de tierra apisonada y suelo-cemento*. Buenos Aires, Windsor, 1949.
40. MIDDLETON, G. F. *Build your house of earth*; a manual of pisé and adobe construction. Melbourne. Compendium, 1975. 110 p. il.
41. MILANEZ, A. *Casa de terra*. Rio de Janeiro, Ministério da Saúde. Serviço Especial de Saúde Pública, 1958.
42. MILLER, T. A. H. Adobe or sun-dried brick for farm buildings. *US Department of Farmers Bulletin*, 1934 (1720), 1934.
43. MITCHELL, H. & HERRIN, M. Lime-soil mixtures. *Bulletin of the Highway Research Board*, Washington, 1961 (304), 1961.
44. MURGEL, A. A. A casa rural brasileira. *Revista Brasileira dos Municípios*. Rio de Janeiro, p. 859-69.
45. PATTY, R. L. Paints and plasters for rammed earth walls. *Bulletin of the Agricultural Engineering South Dakota Experiment Station*, 1940(336), 1940.
46. PATTY, R. L. The relation of colloids in soil to its favourable use in pisé or rammed-earth walls. *Bulletin of the Agricultural Engineering South Dakota Experiment Station*, 1936(298), 1936.
47. PATTY, R. L. & MINIUM, L. W. Rammed-earth walls for farm buildings. *Bulletin of the Agricultural Engineering South Dakota Experiment Station*, 1938(277), 1938.

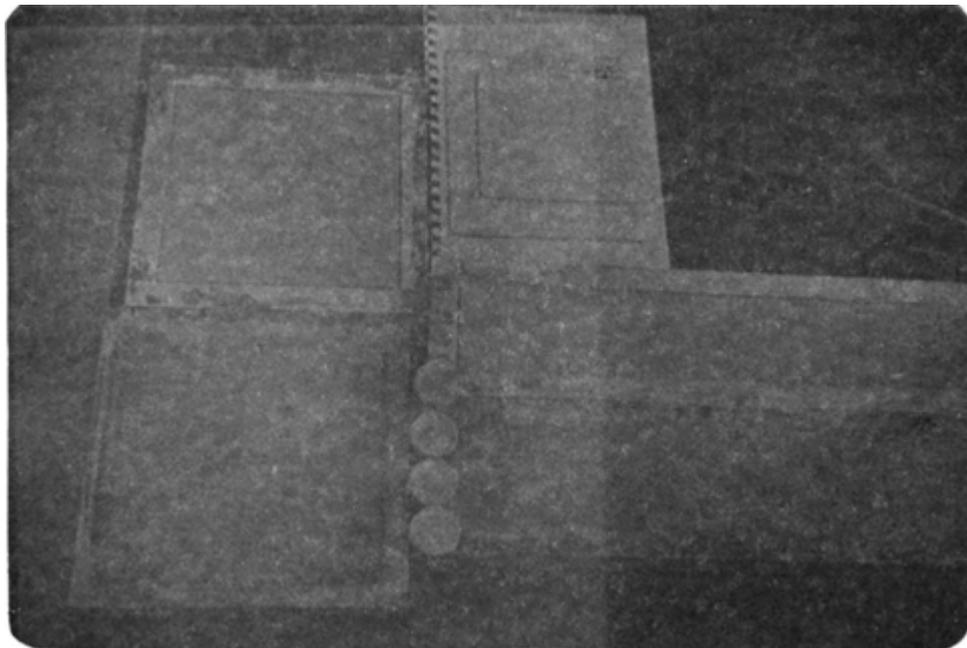
48. PINTO, C. de S. *Estudo de solo-cal com solos brasileiros*. Apresentado ao I Simpósio sobre Pesquisas Rodoviárias, agosto, 1965. Rio de Janeiro, 1965.
49. PINTO, C. de S. *Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento*. São Paulo. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1960.
50. ROCHA, A. M. da. *Curso prático de concreto-armado*. Rio de Janeiro, Científica, 1960, v.2.
51. SCHALEN, H. C. Adobe construction. *Agricultural Engineering*, Saint Joseph, 17(9): 387-91, Sept. 1936.
52. SHEETS, F. T. & CATTON, M. D. Basic principles of soil-cement. *Engineering News-Record*. Chicago, June, 1938, p. 869-75.
53. SJOGREN, J. W. & ADAMS, J. W. Adobe bricks for farm buildings. *Colorado Agricultural Experiment Station Bulletin*. 1920(308), Apr. 1920.
54. SOCIEDAD RURAL ARGENTINA, Buenos Aires. *La vivienda rural*. Apresentado à XII Exposición Internacional e VII Exposición Nacional de Ganaderia.
55. SOIL stabilization with portland cement. *Bulletin of the Highway Research Board*, Washington, 1961(292), 1961.
56. A SYMPOSIUM on soil-cement mixtures for roads. In: MEETING OF THE HIGHWAY RESEARCH BOARD- 17, Washington, 1937. *Proceedings*.
57. TCPO - tabelas de composições de preços para orçamentos. 5.ed. São Paulo, Pini, 1975. 454 p. il.
58. THOMAZ, C. A. *Hospital Adriano Jorge*; relatório interno da Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1976.
59. TOWNSEND, D. L. & KLYM, T. W. Durability of lime stabilized soils. *Highway Research Record*, Washington, 1966(139), 1966.
60. VAN VLACK, L. H. *Propriedades dos materiais cerâmicos*. São Paulo, E. Blücher, 1973.
61. WOLFSKILL, L. A. *et alii*. *Handbook for building homes of earth*. Report prepared for the Agency for International Development. Washington, Department of Housing and Urban Development, s.d. 159 p. il.



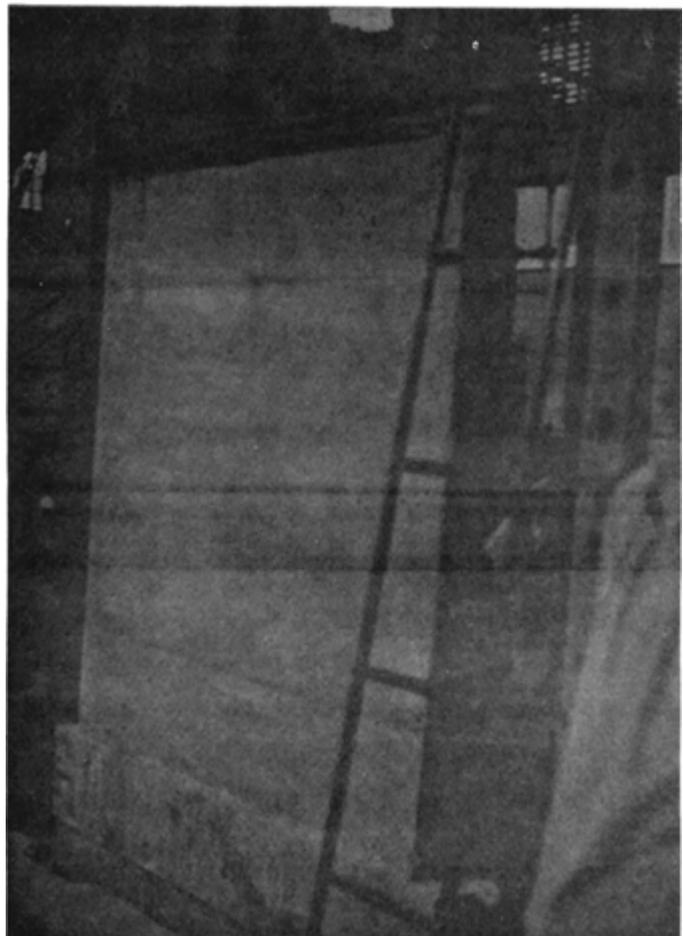
ANEXO – FOTOGRAFIAS DE OBRAS EXECUTADAS



ENSAIO DE PERMABILIDADE DE PINTURAS NA PAREDE DE SOLO-CIMENTO COMPACTADO



ENSAIO EXPEDITO DE RETRAÇÃO DE SOLO



PREPARAÇÃO E ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES EM PAINÉIS



EXECUÇÃO DE PAREDES COM GUIAS PERDIDAS DE CONCRETO



EXECUÇÃO DE PAREDES COM GUIAS RECUPERÁVEIS DE MADEIRA



EXECUÇÃO DE PAREDES COM GUIAS METÁLICAS RECUPERÁVEIS



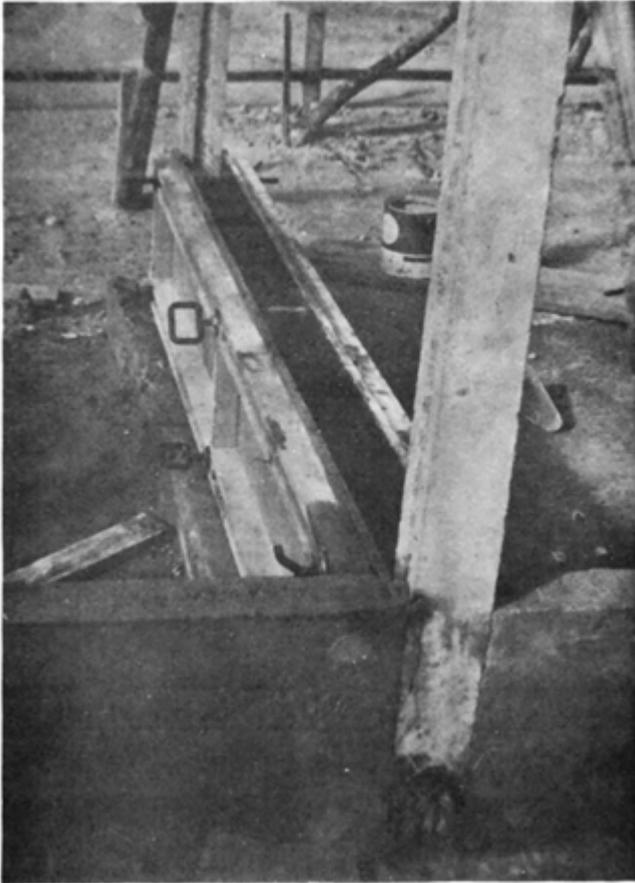
EXECUÇÃO DE PAREDES MONOLÍTICAS COM USO DE GUIAS EXTERNAS DE MADEIRA



EXPERIÊNCIA COM FORMA METÁLICA



PILARETE DE TIJOLOS COMO GUIAS PERDIDAS



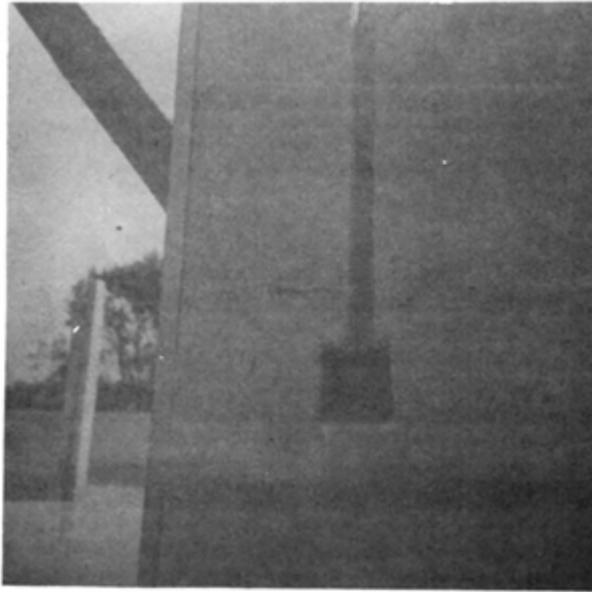
ENCONTRO DE PAREDES



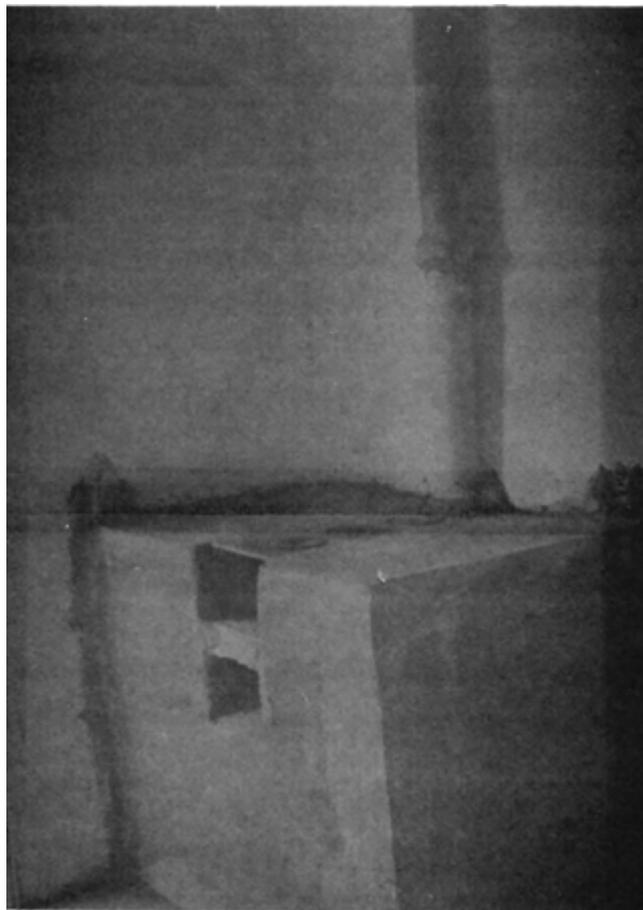
COLOCAÇÃO DAS ESQUADRIAS



PAREDES EXECUTADAS COM GUIAS RESUPERÁVEIS DE MADEIRA



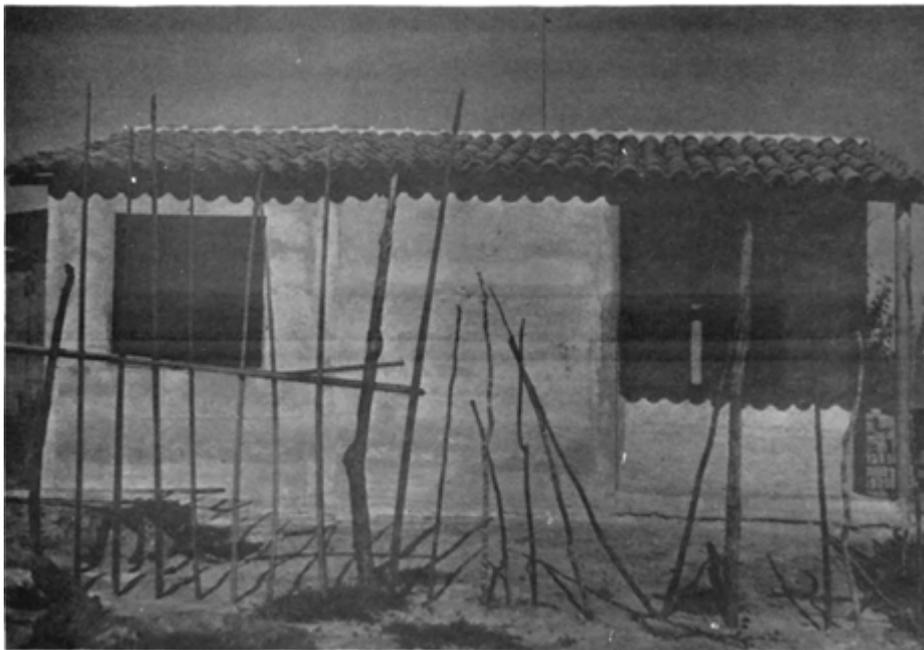
DETALHE DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA EMBUTIDA



FOGÃO DE SOLO-CIMENTO



PROTÓTIPO EXECUTADO NO BAIRRO FAZENDA SETE DE ABRIL – SALVADOR (BA)



PROTOTIPOS EXECUTADOS EM CAMACARI (BA)



UNIDADE DE COMÉRCIO LOCAL EM CAMAÇARI (BA)



PROTÓTIPO EXECUTADO NO BAIRRO DE NARANDIBA EM SALVADOR (BA)



SEDE DO PROJETO THABA NO CEPED, EM CAMAÇARI (BA)



CASAS CONSTRUÍDAS EM SÃO FELIPE (BA) EM REGIME DE MUTIRÃO



ESCOLA EM MATA DE SÃO JOÃO (BA)