



REDEMAT

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

UFOP – CETEC – UEMG



Dissertação de Mestrado

"Caracterização físico-química de adobe estabilizado com amido de mandioca"



Autor: Luís Felipe de Medeiros Veiga
Orientadora: Profa. Dra. Sebastiana Luiza Bragança Lana



Agosto de 2008

REDE TEMÁTICA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS – REDEMAT

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO - UFOP
FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS – UEMG**

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ADOBE ESTABILIZADO COM AMIDO DE MANDIOCA

Por

LUÍS FELIPE DE MEDEIROS VEIGA

Orientadora:

Profa. Dra. SEBASTIANA LUIZA BRAGANÇA LANA

Dissertação apresentada à Rede Temática em Engenharia de Materiais em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Materiais, Área de Concentração: Análise e Seleção de Materiais.

Belo horizonte, MG

Agosto de 2008

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Escola de Design da Universidade do Estado de Minas Gerais; instituição onde, com liberdade, todos os conhecimentos aqui construídos poderão ser divididos, cumprindo assim o objetivo pleno da educação: proporcionar as pessoas melhores condições de compreensão do universo e da vida.

AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Sebastiana Luiza Bragança Lana, pelo enorme carinho dispensado à minha pessoa e a todo este trabalho, em todos os momentos de sua realização.

À Professora Doutora Nelcy Della Santina Mohallem, pela incrível participação, contribuição efetiva e atenção minuciosa dedicada a esta pesquisa.

Ao Professor Jorge Milton Elian Saffar, pela disposição imediata ao atendimento de necessidades da pesquisa.

Ao Professor Doutor José Antônio Souza de Deus pelas importantes recomendações para o trabalho, as quais se confirmaram como indispensáveis ao tema desta pesquisa.

À Professora Giselle Hissa Safar pela confiança, motivação e incentivo à minha busca de desenvolvimento através do conhecimento.

Ao Professor José Luiz do Carmo, pela atenção dedicada aos colegas professores em todos os momentos.

À Professora Rosemary do Bom Conselho Sales, pelo incentivo e demonstração de luta diante de desafios.

Ao meu pai, Raymundo Osman de Medeiros Veiga, pelo exemplo de integridade e por toda a compreensão e apoio nas dificuldades.

À minha mãe, Elizabeth Veiga, pela motivação, apoio e incentivo incondicional à busca de novos conhecimentos.

À companheira, Patrícia Cappuccio Resende, pelo profundo carinho dedicado e pelo exemplo de competência demonstrado em realização de trabalho acadêmico.

SUMÁRIO

Ficha catalográfica.....	ii
Folha de aprovação.....	iii
Dedicatória.....	iv
Agradecimentos.....	v
Sumário.....	vi
Lista de figuras.....	vii
Lista de tabelas.....	viii
Resumo.....	ix
Abstract.....	x
Capítulo 1: Introdução.....	1
Capítulo 2: Objetivos.....	4
2.1 Objetivo geral.....	4
2.1.1 Objetivo específico.....	4
2.2 Justificativa.....	4
Capítulo 3: Revisão bibliográfica.....	5
3.1 Aspectos sócio-econômicos e culturais das construções com solo: habitação como campo de aplicação do ecodesenvolvimento.....	5
3.1.1 Técnicas apropriadas ao desenvolvimento.....	12
3.2 Principais técnicas de construção com solo.....	19
3.2.1 Taipa de pilão.....	19
3.2.2 Taipa de mão.....	22
3.2.3 Adobe.....	24
3.3 Propriedades físicas do adobe.....	28
3.4 Aplicações do adobe.....	29
3.5 Propriedades reológicas de solo para adobes.....	31
3.5.1 Propriedades reológicas de massas plásticas.....	33
3.6 Processo de secagem.....	36
3.7 Processos de estabilização de solos.....	38
3.7.1 Estabilização mecânica.....	38
3.7.2 Estabilização elétrica.....	38

3.7.3 Estabilização térmica.....	39
3.7.4 Estabilização granulométrica ou fibrosa pela inclusão de inertes.....	39
3.7.5 Estabilização química.....	40
3.8 Tijolos de solo com estabilização térmica.....	44
3.8.1 Blocos e tijolos cerâmicos.....	44
3.9 Tijolos de solo com estabilização granulométrica ou fibrosa pela inclusão de inertes.....	45
3.9.1 Blocos de solo reforçados com fibras de coco e sisal.....	45
3.9.2 Blocos de solo com fibras e cinzas bagaço de cana-de-açúcar.....	46
3.9.3 Tijolos reforçados com palha, fibras plásticas e polietileno fabril.....	46
3.10 Blocos e tijolos de solo estabilizados com aditivos químicos tradicionais.....	47
3.10.1 Tijolos de solo-cimento.....	47
3.10.2 Blocos e tijolos de solo-cal.....	48
3.10.3 Blocos de solo, cal e silicato de sódio.....	49
3.11 Blocos e tijolos de solo estabilizados com aditivos químicos não-tradicionais.....	51
3.11.1 Blocos de solo-cimento com substituição parcial do cimento por resíduo cerâmico moído.....	51
3.11.2 Compósitos para construções com aproveitamento de cinzas de cama sobreposta de suíno e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar.....	52
3.11.3 Tijolos de solo-vinhaça concentrada.....	53
3.11.4 Tijolos de solo-melaço de cana-de-açúcar.....	56
3.11.5 Estabilização solo-lignina.....	57
3.11.6 Uso do amido como estabilizante.....	58
Capítulo 4: Materiais e métodos.....	64
4.1 Caracterização do solo.....	66
4.1.1 Análises visuais e tácteis.....	66
4.1.2 Análise da plasticidade por testes expeditos.....	67
4.1.3 Análise granulométrica.....	69
4.1.4 Determinação do Limite de Liquidez (LL).....	72
4.1.5 Determinação do Limite de Plasticidade (LP).....	75
4.1.6 Determinação do índice de plasticidade (IP).....	76
4.1.7 Determinação do Limite de Contração (LC).....	76
4.1.8 Determinação do Grau de Contração (C).....	77

4.2 Confeção dos adobes.....	78
4.2.1 Preparação do solo.....	78
4.2.2 Homogeneização.....	79
4.2.3 Moldagem dos adobes Testemunha.....	80
4.2.4 Preparação da pasta de amido composição A e moldagem série A.....	83
4.2.5 Preparação da pasta de amido composição B e moldagem série B.....	85
4.3 Caracterização composicional e textural do solo.....	86
4.3.1 Microanálise eletrônica.....	87
4.3.2 Difração de raios X.....	88
4.3.3 Adsorção gasosa.....	90
4.3.4 Picnometria a Hélio.....	98
4.4 Determinação da resistência à compressão.....	100
4.4.1 Preparação dos corpos-de-prova.....	100
Capítulo 5: Resultados e discussão.....	107
5.1 Análise granulométrica conjunta do solo corrigido.....	107
5.2 Limites de consistência do solo preparado.....	108
5.2.1 Limite de liquidez (LL).....	108
5.2.2 Limite de plasticidade (LP).....	109
5.2.3 Índice de plasticidade (IP).....	110
5.2.4 Limite de contração (LC).....	110
5.2.5 Grau de Contração (C).....	110
5.2.6 Retração e porosidade dos adobes.....	112
5.3 Caracterização química do solo utilizado.....	114
5.4 Resistência à compressão dos adobes.....	117
Capítulo 6: Conclusões e sugestões para trabalhos futuros	122
Referências.....	125
Anexo I.....	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Déficit habitacional no Brasil, distribuído por Estados brasileiros – 2000.....	6
Figura 3.2 - Região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (Parcial).....	7
Figura 3.3 - Taipal	20
Figura 3.4 - Elevação do taipal	21
Figura 3.5 - Estrutura de madeira para execução da taipa de mão	22
Figura 3.6 - Detalhe do modo de colocação das varas (A) Varas de um lado; (B) Varas alternadas dos dois lados; (C) Varas paralelas dos dois lados.....	23
Figura 3.7 - (A) Fôrma para adobe - vistas; (B) “Panela” – vista superior e corte.....	24
Figura 3.8 - (A) Composição granulométrica do adobe para Milanez (1958) apud Corrêa et al (2006) e (B) mistura ternária para Hlaváč (1983).....	26
Figura 3.9 - Relação de volumes de um sistema binário composto por partículas grossas e finas.....	32
Figura 3.10 - Comportamento reológico: (a) Corpo de Bingham; (b) Corpo plástico real.....	34
Figura 3.11 - Curvas de tensão x deformação para corpos plásticos de argila.....	35
Figura 3.12 - Trabalhabilidade de frações de partículas dispersadas de Caolim.....	36
Figura 3.13 - Molécula de Glicose.....	59
Figura 3.14 - Amilose e Amilopectina.....	59
Figura 4.1 - Abrigo e “panela”.....	65
Figura 4.2 - (A) Lata graduada; (B) Graduação no interior da lata.....	65
Figura 4.3 - (A) Forma “R”(24x12x6)cm; (B) Forma “K”(26x13x8)cm.....	66
Figura 4.4 - Estados de consistência.....	72
Figura 4.5 - Aparelho de Casagrande.....	73
Figura 4.6 - Ensaio de limite de liquidez.....	73
Figura 4.7 - Gráfico de Limite de Liquidez.....	74
Figura 4.8 - Determinação do limite de plasticidade (LP).....	75

Figura 4.9 -	Determinação do Limite de Contração.....	77
Figura 4.10 -	Retirada de solo.....	78
Figura 4.11 -	Panela com material de solo e água.....	79
Figura 4.12 -	Forma “salgada”.....	80
Figura 4.13 -	Sistema para tratamento de bambus.....	83
Figura 4.14 -	(A) Aquecimento da pasta de amido; (B) Pasta de amido aquecida.....	84
Figura 4.15 -	Lotes “KA” e “RA”	85
Figura 4.16 -	Esquema de um espectrômetro de raios X de dispersão de energia: (a) pré amplificador; (b) amplificador; (c) restaurador de linha de base; (d) conversor analógico digital; (e) analisador multicanal; (f) rejeição de empilhamento de pulso.....	87
Figura 4.17 -	Os cinco tipos de isotermas de adsorção, da classificação BDDT junto à isoterma tipo VI.....	92
Figura 4.18 -	O gráfico de $\frac{1}{m \left[\left(\frac{p_0}{p} \right) - 1 \right]} \times \frac{p}{p_0}$	96
Figura 4.19 -	Esquema do picnômetro a hélio.....	98
Figura 4.20 -	Marcação dos adobes.....	101
Figura 4.21 -	Corte dos adobes.....	102
Figura 4.22 -	Sistema de Guias.....	103
Figura 4.23 -	Corpos-de-prova capeados e retificados.....	104
Figura 4.24 -	Máquina para ensaios de compressão.....	105
Figura 4.25 -	(A) Corpo de prova colocado na prensa para ensaio de compressão; (B) Realização dos ensaios de compressão.....	105
Figura 5.1 -	Curva granulométrica do solo corrigido.....	107
Figura 5.2 -	(A) Composição granulométrica de Milanez (1958) apud Corrêa et al. (2006), (B) composição granulométrica do solo preparado no Instituto Kairós e (C) Distribuição granulométrica de Hlaváč (1983)...	108
Figura 5.3 -	Relação da umidade dos adobes com os limites de consistência.....	112
Figura 5.4 -	Análise em EDS - (A) Composição química do Solo A; (B) Composição química do solo B.....	114
Figura 5.5 -	Análise por difração de raios X. (A) Difratograma Solo A; (B) Difratograma Solo B.....	115

Figura 5.6 -	Unidade cristalina dos tetraedros de sílica.....	116
Figura 5.7 -	Unidade cristalina dos octaedros de gibsita.....	116
Figura 5.8 -	(a) Unidade estrutural das caulinitas; (b) Arranjo de seis unidades estruturais das caulinitas.....	116
Figura 5.9 -	Corpo-de-prova rompido - formato típico: taça.....	117
Figura 5.10 -	Relação entre porosidade e resistência à compressão dos adobes.....	120
Figura 5.11 -	(a) Isotherma Solo A ; (b) Isotherma Solo B.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	- Composição granulométrica de acordo com autores.....	25
Tabela 3.2	- Dimensões de adobes por região de ocorrência.....	27
Tabela 4.1	- Identificação de tipos de solo por análise visual e táctil.....	67
Tabela 4.2	- Tipos de solo e técnicas construtivas indicada por testes expeditos.....	68
Tabela 4.3	- Composição das pastas de amido.....	82
Tabela 4.4	- Características de espectrômetro de dispersão de energia – EDS.....	88
Tabela 4.5	- Isotermas de adsorção.....	94
Tabela 5.1	- Limite de Liquidez.....	109
Tabela 5.2	- Limite de Plasticidade.....	109
Tabela 5.3	- Limite de Contração.....	110
Tabela 5.4	- Conjunto dos Limites e índices físicos.....	111
Tabela 5.5	- Classificação dos argilo-minerais quanto aos limites de consistência...	111
Tabela 5.6	- Exclusão pela presença de fissura em cada lote.....	111
Tabela 5.7	- Média da densidade real.....	113
Tabela 5.8	- Porosidade e retrações médias dos lotes de adobes.....	113
Tabela 5.9	- Composição química do solo composição A e B.....	115
Tabela 5.10	- Resultados do ensaio de compressão simples.....	117

RESUMO

Devido ao elevado déficit habitacional brasileiro, tem-se buscado resgatar tecnologias tradicionais de construção com solo e produção de elementos construtivos, tendo o solo como matéria-prima principal.

Dentre estas tecnologias tradicionais encontram-se os adobes, que são blocos de solo de dimensões variáveis regionalmente. O material de solo é retirado, umedecido, pisado até que atinja uma consistência adequada para ser lançado em formas e postos à secagem.

O uso do adobe em construções atende amplamente às necessidades do ecodesenvolvimento, devido ao grande aproveitamento da capacidade natural de cada região, à não-necessidade de transporte, à ampla disponibilidade de matéria-prima, à não-necessidade de mão-de-obra especializada e ao baixo consumo de energia.

Com a intenção de proporcionar aos blocos adobe melhor resistência física, tem-se estudado diversos modos de estabilização de solo, nos quais, mais frequentemente, são adicionados à mistura estabilizantes. Esses estabilizantes podem ser fibras, resíduos agrícolas ou estabilizantes químicos tradicionais, como cimento ou cal. Estes últimos consomem elevadas quantidades de energia na sua produção.

Utilizando testes provenientes do conhecimento local e também ensaios de laboratório, foi realizada a análise granulométrica e a determinação das características de plasticidade e de contração do solo utilizado na confecção de adobes. As caracterizações composicional e textural dos materiais foram feitas através de espectrômetro de dispersão de energia (EDS), difração de raios X (DRX), Adsorção gasosa (BET) e picnometria a gás. Verificou-se ocorrência de efeitos causados pela implementação de amido de mandioca como um estabilizante não-tradicional sobre a resistência à compressão dos adobes.

Verificou-se que a composição do solo utilizado tem uma grande quantidade de argila e que esta composição granulométrica diferiu sensivelmente dos valores encontrados na literatura, nos quais os adobes com predominância de partículas grossas apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias. Entretanto, foi constatado que a resistência dos adobes adicionados de

determinada composição de pasta de amido de mandioca atendeu às determinações sistematizadas para a resistência à compressão e que, somadas a outros benefícios conhecidos, como atendimento aos princípios do ecodesenvolvimento, viabilizam sua utilização na construção de moradias.

Palavras-chave: construção com solo, ecodesenvolvimento, adobe, estabilização, resistência mecânica.

ABSTRACT

Due to the high habitational Brazilian shortage, traditional technologies of earth construction and constructive elements' production have been rescue, having the soil as a principal raw material.

Between these traditional technologies, there are the *adobes*, which consist of soil blocks with regional variable size. The soil material is removed, humidified, trodden up to reach a suitable consistence in order to be throw in wood shapes and placed to dry.

The use of *adobe* in construction accomplishes completely the necessities from the ecodevelopment, because of the great usefulness of the natural capability from each region, the lack of transport's necessity, the ample availability of raw materials, the lack of specialized labor and the low use of energy.

With the intention to propose better physics resistance to *adobe* blocks, it has been studied various processes of soil's stabilization, in which, more frequently, that are added stabilizers to the mixture. These stabilizers can be fibers, agricultural wastes or traditional stabilizers, such as cement or lime. These lasts consume high quantities of energy in their production.

Using tests proceeding from the local knowledge and also laboratorial tests, it was realized granulometric analysis, determination of plastic and contraction characteristics of the soil used to make the *adobe*. The chemical and textural characterizations of the materials were made through energy dispersion spectrometer (EDS), X-ray diffraction (DRX), gas adsorption (BET) and helium picnometry. It was verified occurrence of effects caused by implementation of manioc starch as a non-tradition stabilizer on the contraction's resistance of the *adobes*.

It was verified that the utilized soils' composition has a great amount of clay and that this granulomeric composition differed sensibly from the encountered values in the literature, in which the *adobes* with predominance of thick particles presented satisfactory mechanical properties. However, it was verified that the resistance of the *adobes* added with a determinated composition of manioc's starch paste attended to the systematized determinations for the compression resistance and that, joined to others benefits, as the

accomplishment to the principles from ecodevelopment, makes viable its utilization in housing construction.

Key-words: earth construction, ecodevelopment, *adobe*, stabilization, mechanical resistance.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresentou-se uma breve contextualização das construções com solo. No Capítulo 2 foram descritos os objetivos e a justificativa deste trabalho. Descreveu-se, em seguida, o conteúdo dos capítulos seguintes.

No Capítulo 3 fez-se referência a aspectos sócio-econômicos e culturais que envolvem as construções com solo, tendo as habitações como campo de aplicação do ecodesenvolvimento. Descreveram-se as características das técnicas construtivas com solo conhecidas, como taipa de pilão, taipa de mão e o adobe. Para este último relatou-se os modos de atuação de processos, como a secagem e a estabilização do solo, que aplicados na sua produção podem apresentar potenciais melhorias em suas propriedades físicas. Descreveram-se, ainda, exemplos de tijolos e blocos em que a aplicação de processos de estabilização foram investigados, com seus respectivos resultados. Por fim, relatou-se a aplicação do amido como estabilizante em outras aplicações, já que seu efeito como estabilizante de solo para produção de adobes será verificada neste trabalho.

No quarto capítulo, fez-se a descrição dos materiais e métodos empregados na caracterização do solo: os procedimentos realizados em campo para seleção, preparação do solo e confecção dos adobes utilizando testes e procedimentos de conhecimento local e os métodos usados para determinação dos índices de consistência do solo, realizados em laboratório. Descreveu-se ainda, os métodos de caracterização química e textural do solo através de microanálise eletrônica (EDS), difração de raios X (DRX), adsorção gasosa (BET) e picnometria a Hélio. Além disso, relatou-se o procedimento utilizado na preparação dos corpos-de-prova e na realização de ensaios de resistência à compressão.

No Capítulo 5, registraram-se e discutiram-se os resultados encontrados através das análises e ensaios realizados com os materiais.

Por fim, no Capítulo 6, descreveram-se as conclusões obtidas e apontaram-se sugestões para trabalhos cujos objetos sejam relacionados à construção com solo.

Dentre as necessidades básicas da humanidade, encontra-se a habitação. Tratando-se de populações menos favorecidas, esta necessidade torna-se ainda mais relevante. Considerando que metade da população de baixa renda nos países em desenvolvimento vive em construções de solo e que no Brasil o déficit habitacional é de 6.500.000 moradias, tem-se buscado resgatar tecnologias tradicionais de construção com solo e produção de elementos construtivos, tendo o solo como matéria-prima principal.

Destas tecnologias tradicionais destacam-se a taipa de pilão, a taipa de mão ou pau-a-pique, o adobe e mais modernamente, encontra-se a produção de tijolos de solo-cimento como elemento construtivo, cujo material básico é o solo.

Adobe são blocos de solo de dimensões variáveis regionalmente. O solo é depositado em um orifício de aproximadamente 1m de diâmetro por 0,5m de profundidade, é umedecido e posteriormente pisado, visando à homogeneização, até que atinja uma consistência adequada para ser lançado em fôrmas de madeira, compactados e postos à secagem. Os blocos são assentados na confecção de alvenaria utilizando-se argamassa produzida também com solo.

Sua utilização atende inteiramente às necessidades do ecodesenvolvimento como o grande aproveitamento da capacidade natural de cada região, o baixo custo de produção, devido a não-necessidade de transporte, ampla disponibilidade de matéria-prima, não-necessidade de mão-de-obra especializada e o baixo consumo de energia (1 a 2% da energia gasta na produção de materiais de construção convencionais).

Entretanto, esta técnica construtiva não apresenta uma padronização devido às peculiaridades regionais e à diversidade de solos. Portanto, são necessários estudos prévios dos materiais de solo a serem utilizados. O estudo e a seleção dos solos podem ser feitos por meio de conhecimentos tradicionais e por análises em laboratório. Entretanto, supõe-se que algumas destas análises podem alcançar resultados equivalentes.

Os adobes, em geral, apresentam baixas resistências mecânicas, elevada absorção de água e retração. Para algumas destas patologias, são necessárias intervenções construtivas que previnam suas ocorrências.

Frequentemente são adicionadas à mistura de solos para adobes, estabilizantes que podem ser fibras, resíduos agrícolas ou estabilizantes químicos tradicionais como cimento e cal. A adição de fibras e/ou aglomerantes se faz com o objetivo de proporcionar aos blocos adobe maiores resistências físicas.

Os aditivos químicos mais comuns, usados como estabilizante, consomem elevadas quantidades de energia na sua produção em muitos casos, o acesso a estes produtos é dificultado para comunidades distantes de centros urbanos. Portanto, vem se tornando, cada vez mais importante, a busca de materiais que possam ser aplicados em substituição aos tradicionais.

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar a análise granulométrica, a determinação das características de plasticidade e de contração e a caracterização química de um solo utilizado para a confecção de adobe em uma localidade escolhida. Verificar, ainda, ocorrência de efeitos produzidos pela implementação de amido nativo de mandioca, em propriedade mecânica, a saber, resistência à compressão, de adobes confeccionados conforme a descrição da técnica feita por representantes locais.

2.1.1 Objetivo específico

Para a caracterização granulométrica e de plasticidade reproduziu-se integralmente os procedimentos de campo realizados por testes empíricos provenientes do conhecimento local e fez-se simultaneamente, a caracterização em laboratório mediante determinação dos limites de consistência do solo. Para a análise das propriedades apresentadas pelos materiais, foi feita caracterização química através de espectrômetro de dispersão de energia (EDS) por difração de raios X (DRX), por adsorção gasosa (BET) e por picnometria a gás. Para verificar a ocorrência de efeitos do amido sobre a resistência à compressão foram produzidos, de acordo com a técnica local, adobes testemunha e adobes com diferentes composições de pasta de amido. Amostras foram selecionadas e submetidas a teste físico.

2.2 Justificativa

Devido ao elevado déficit habitacional brasileiro, a busca por melhoria das propriedades físicas das construções com solo torna-se relevante. Tendo-se conhecimento das patologias que tais técnicas podem apresentar, o aperfeiçoamento destas pode proporcionar melhores condições de moradia às comunidades que a utilizam. Considera-se ainda, que estas técnicas, se adaptam as condições ecológicas e aos princípios do ecodesenvolvimento, justificando-se, portanto sua aplicação.

CAPÍTULO 3: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos sócio-econômicos, culturais e ambientais das construções com solo: habitação como campo de aplicação do ecodesenvolvimento

O solo é um dos materiais mais abundantes no planeta, por isso tem sido utilizado como matéria-prima de elementos construtivos e alvenarias desde períodos pré-históricos. Na Turquia, na Assíria e em outros lugares no Oriente Médio foram encontradas construções com terra apilada ou moldada, datando entre 9000 e 5000 a.C. (Minke, 2001). Ainda se encontram alvenarias construídas com adobe, quatro mil anos após suas edificações. Tijolos romanos com dois mil anos ainda se encontram em uso, assim como adobes do século XV encontrados na França, perfeitamente conservados, atestando a durabilidade destes materiais, quando abrigados da ação da água e não submetidos a esforços físicos excessivos.

Em Portugal, há registros de construções com terra desde o período da presença romana e são disseminadas por várias regiões, como zona aluvionar do Baixo D'Ouro, de Castelo Branco, e com maior incidência no Alentejo e Algarve.

Diversas técnicas de construção com solo foram trazidas para o Brasil no período colonial. Algumas pelos colonizadores, algumas pelos negros trazidos da África. Outras eram de conhecimento dos povos indígenas brasileiros. Portanto, durante o início da colonização brasileira, todas as culturas componentes dominavam técnicas construtivas utilizando o solo como matéria-prima, principalmente as técnicas com argamassa de solo e solo socado. Em razão das dificuldades encontradas na produção de materiais de construção no novo continente, em regiões de escassez de materiais rochosos, as técnicas com solo foram muito empregadas.

Posteriormente tais construções foram se tornando menos frequentes devido a sua substituição por materiais cerâmicos manufaturados. Seu desuso é também comumente associado à propagação de moléstias como Doença de Chagas (infecção pelo protozoário *Trypanosoma cruzi*), pelo fato das técnicas de construção com solo serem consideradas precárias e improvisadas. Este aspecto de improvisação teve como consequência uma difusão intensa de preconceito contra construção com solo no Brasil (Santos, 2002).

Quanto à situação da população em relação à habitação, aproximadamente 30% da população mundial, como relata Coferman (1990) apud Binici et al. (2004) vive abrigada em estruturas de solo.

Segundo Minke (2001), em torno da metade da população de baixa renda em países em desenvolvimento vivem em construções com solo.

No Brasil, segundo dados da Fundação João Pinheiro (Figura 3.1), em 2000 existe um déficit habitacional de aproximadamente 6.500.000 unidades de moradia. Carência em virtude do acelerado crescimento populacional, principalmente em centros urbanos. Esta necessidade é maior nos Estados da Região Sudeste e em parte do Nordeste brasileiro. No estado de Minas Gerais este déficit encontra-se no nível mais elevado, entre 500.000 e 1.170.000 unidades habitacionais. Em áreas urbanas encontra-se acima de 85%. Em áreas rurais deste estado atinge 94.808 habitações.

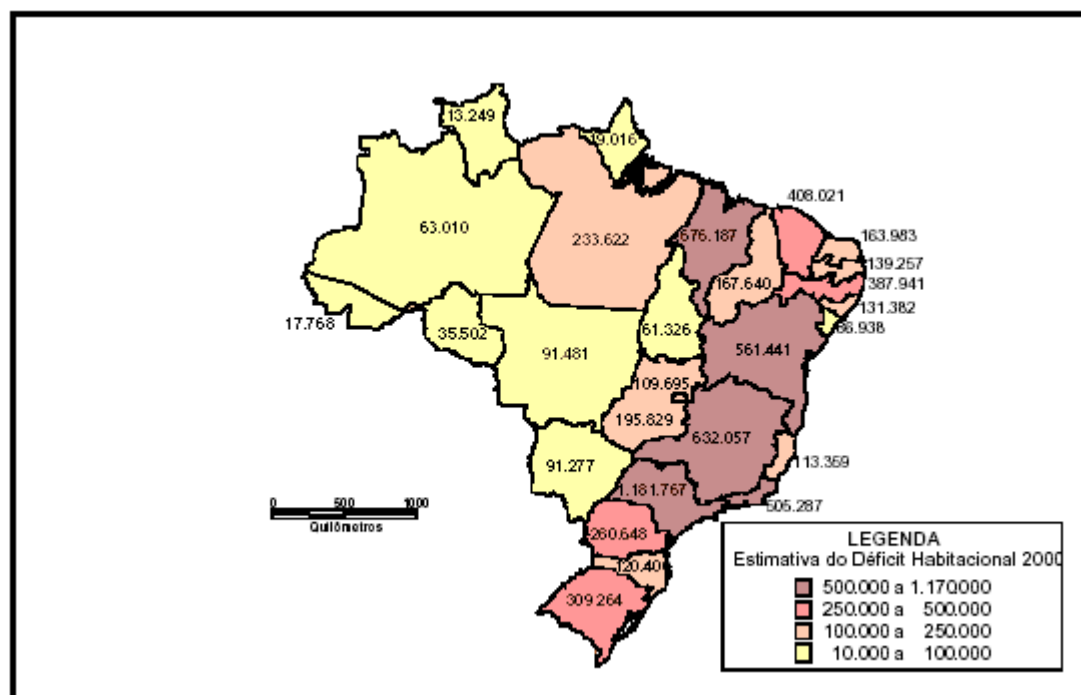


Figura 3.1 – Déficit Habitacional no Brasil, distribuído por Estados Brasileiros - 2000

Fonte: Fundação João Pinheiro, 2002

O local escolhido para o desenvolvimento de parte deste trabalho foi São Sebastião das Águas Claras - Distrito de Nova Lima - MG. Latitude: 19°59'07"S / longitude: 43° 50'45"O. Altitude média: 745m.

São Sebastião das Águas Claras, também conhecido como Macacos (Figura 3.2) situa-se a 34km do centro de Belo Horizonte – MG. O trevo de acesso ao distrito encontra-se no km 25 da rodovia BR-040 no sentido Rio de Janeiro – RJ. Segue-se por 7km até o centro do distrito.

Região Metropolitana de Belo Horizonte (Parcial) - RMBH



Figura 3.2 – Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (Parcial)

Fonte: Adaptado de Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH - DER - MG

O distrito apresenta uma população de aproximadamente 3000 habitantes. Mas, apesar da proximidade de um grande centro urbano, ainda conserva o aspecto e as características de um típico povoado do interior de Minas Gerais, com ruas de chão batido e pelas quais se podem ver frequentemente, pessoas andando a cavalo. Tem, atualmente, como atividade econômica em crescimento o turismo, associando-se a esta as atividades de arte, artesanato e gastronomia.

Como característica da conservação de elementos da tradição de cidades do interior, podem-se encontrar casas construídas com materiais de solo há cerca de 80 anos, tendo sido construídas pelos antepassados dos atuais moradores. Parte destes descendentes tem conhecimento, mesmo que parcial, dos modos de construção utilizados por seus antepassados. Porém muitos

consideram que tais técnicas não são apropriadas para novas construções e dão preferência à utilização de materiais industrializados nas novas construções e reformas de suas habitações, justificando que estes são mais “modernos”. Percebe-se em muitas destas reformas, uma profunda descaracterização de referenciais da tradição local, como o uso de determinados tipos de revestimentos nos pisos das varandas e nas paredes das fachadas. Estes materiais, além dos custos elevados são, algumas vezes, empregados indevidamente, impactando as condições climáticas favoráveis e a qualidade do uso da habitação.

A relação entre a qualidade de vida e as habitações necessita estar entre os modelos de construções utilizados pelas populações, as técnicas, os materiais empregados e a relação de autonomia das comunidades com o mercado e com o próprio desenvolvimento da sociedade. Esta discussão deve se dar sobre parâmetros sócio-políticos, econômicos e ambientais, pois, se inscreve no campo de aplicação das estratégias do denominado desenvolvimento sustentável.

De acordo com Sachs (1986), a tomada de consciência dos problemas ambientais aparece como causa de uma nova modalidade de relações de desenvolvimento com o ambiente, de maneira específica, com as escolhas do objetivo de desenvolvimento: da própria qualidade do ambiente.

No modo tradicional de economia de desenvolvimento, por meio das técnicas disponíveis, a população transforma os recursos em produto apropriado a fins de consumo e de reprodução social. Cria-se, assim uma contradição entre pressão demográfica e recursos.

Segundo uma nova modalidade de economia de desenvolvimento, outras relações podem ser identificadas, como: efeitos dos modos de utilização dos recursos e das técnicas de produção sobre o ambiente; impacto, sobre o ambiente, dos modelos de consumo do produto; impacto da densidade demográfica sobre o ambiente; degradação dos recursos naturais devido a danos; condicionamento da produção pela qualidade do meio e consideração do ambiente como componente da qualidade de vida. Conforme enumerado por Sachs (1986), estas novas relações indicam que para serem operacionais, precisam se discutidas criticamente quanto aos seguintes aspectos:

- A estrutura de consumo, que depende da distribuição da renda e do conjunto de valores reconhecidos pela sociedade.
- O regime sócio-político e mais particularmente, a maneira como ele se responsabiliza pelos custos sociais: a regra da economia de mercado é deixar que empresas internalizem os lucros e externalizem os custos.

Cabe, aqui, relatar o que é considerado “externalidade”. No contexto da economia, de acordo com Dália Maimon (1992) apud Quirino (1999), Externalidades ocorrem quando os preços de mercado não incorporam os custos e benefícios dos agentes econômicos. Caracterizam-se como desvios de mercado, pois o sistema de preços distingue os custos privados dos custos sociais. Neste regime de mercado a maximização do bem-estar não incorpora a deterioração ambiental e o esgotamento dos recursos, por serem de propriedade coletiva. Este sistema dá origem à expressão “privatização dos lucros e socialização dos problemas sociais e ecológicos.”

A externalidade pode ser positiva ou negativa quando no preço do produto posto no mercado estão ou não incluídos os ganhos e perdas sociais resultantes de sua produção ou consumo. Se considerarmos que um produto possa gerar resíduo sólido que apresente desvantagens econômicas ou técnicas para seu reaproveitamento e que será um fator de degradação ambiental, questiona-se se o valor deste produto posto no mercado incorpora o custo social. Mesmo tendo reconhecido que o efeito negativo ou positivo não pode ser incorporado ao valor do produto pela impossibilidade de medição. Autores (Altvater, 1993,1995; Maimon, 1992 apud Quirino, 1999) discutem e sugerem o estabelecimento de taxas e impostos para neutralizar os danos destes custos externos (Princípio Poluidor-Pagador), impondo-se sua internalização.

Como interpretação deste princípio, percebe-se que não basta internalizar o custo, embutir no preço e permitir a comercialização de produtos degradantes do meio ambiente em diversas etapas da cadeia de mercado, pois se trataria de permitir a compra do direito de poluir. O princípio poluidor-pagador tem o caráter de impedir que o produto seja produzido caso a sociedade não possa suportar este custo. Porém, o princípio do poluidor-pagador, como instrumental do economista apresenta deficiências, pois em alguns casos, como de empresa que detenha monopólio de atividade, os custos podem ser repassados às tarifas.

Voltando aos aspectos a serem discutidos criticamente, de acordo com Sachs (1986), para que o ecodesenvolvimento se torne operacional:

As técnicas empregadas. Distinguindo a adição da despoluição à escalada da produção e dos danos dela resultantes, da utilização de técnicas não destruidoras do meio ambiente, na quais, se terá internalizado a dimensão ambiental.

- As modalidades de utilização dos recursos naturais e da energia, analisadas sob o aspecto do desperdício de recursos, das possibilidades de reciclagem e do controle da taxa de obsolescência de bens duráveis.
- As formas de ocupação dos solos, visto que atividades idênticas acarretam efeitos muito diversos, segundo a sua localização.
- O tamanho e o ritmo de crescimento e a distribuição da população, levando-se em conta que, por si só, o tamanho da população não poderá ser um indicador da pressão desta sobre os recursos naturais, dado que, devido a seu elevado consumo per capita, centenas de milhões de habitantes dos países ricos pesam muito mais fortemente que bilhões de habitantes do Terceiro Mundo.

As principais características do ecodesenvolvimento, para Sachs (1986), portanto, são:

- Valorização dos recursos específicos de cada ecorregião, para a satisfação das necessidades fundamentais da população quanto à saúde, alimentação, habitação e educação.
- Contribuição para realização do homem quanto ao emprego, segurança, qualidade das relações humanas e respeito à diversidade cultural.
- Identificação, exploração e gestão dos recursos naturais numa perspectiva de solidariedade com as gerações futuras.
- Redução dos impactos negativos das atividades humanas sobre o ambiente, mediante procedimentos e formas de organização da produção que permitam o aproveitamento de complementaridades.
- Aproveitamento da capacidade natural da região. Como primeira diretiva aplicada à energia, utilização de fontes locais de energia.
- Desenvolvimento de técnicas apropriadas como implicação de um estilo tecnológico particular. Neste caso se impõem duas considerações: Uma é o aperfeiçoamento de ecotécnicas que tem lugar muito importante nas estratégias de ecodesenvolvimento, por poderem compatibilizar adequadamente objetivos econômicos, sociais e ecológicos. A outra é que seria um equívoco associar o ecodesenvolvimento a um estilo tecnológico. Este subentende modalidades de organização social e novo sistema educacional.
- Definição do quadro institucional considerando a especificidade de cada caso. Para isto, deve constituir uma autoridade horizontal (sem hierarquias) com participação efetiva das populações locais na realização das estratégias de ecodesenvolvimento,

comprometida com a não-exploração das comunidades em favorecimento a interesses de mercado.

- Educação preparatória como complemento de estruturas participativas de planejamento e gestão, mediante sistemas de educação formal e informal com objetivo de internalizar a dimensão ecológica do desenvolvimento.

Frequentemente, ao se tratar das relações entre problemas ambientais e desenvolvimento pode-se encontrar os termos Ecodesenvolvimento e Desenvolvimento Sustentável. Seus conceitos são aplicados em contextos muito semelhantes.

Conforme afirma Quirino (1999), Sachs, a quem o conceito de Ecodesenvolvimento é associado, usa indiferentemente os dois termos, mesmo reconhecendo que possa haver críticas ao uso do conceito de Desenvolvimento Sustentável, considera que os pontos em comum entre este e o Ecodesenvolvimento são suficientes para poder adotá-los como sinônimos. Acrescenta ainda a consideração do próprio autor de que “o ideal será quando se falará somente em desenvolvimento, sem o adjetivo sustentável ou o prefixo eco”.

Sachs (1986) descreve entre os campos de aplicação das estratégias do ecodesenvolvimento a alimentação, considerando o aproveitamento das potencialidades da cada região, dos conhecimentos locais sobre seu meio natural, como ponto de partida para pesquisas etnobiológicas; a energia, em debate sobre fontes não-convencionais como solar, eólica e outras, para usos domésticos e unidades de pequena produção; a industrialização de recursos renováveis, relatando possíveis utilizações do vegetal como matéria-prima industrial; conservação de recursos naturais, como garantia de recursos para gerações futuras; serviços sociais, incluindo formas de organização e técnicas de prestação de serviços adaptadas as condições específicas das regiões com menor exigência possível de capital e também, como campo de aplicação: a habitação. Para o mesmo autor:

Ao longo dos séculos, as sociedades humanas criaram, segundo os lugares e as culturas, tipos de habitação muito variados e bem adaptados ao ecossistema e ao clima. Nos últimos anos, porém, tamanhos foram os estragos provocados por uma modernidade mal compreendida que se tornou necessário reinventar as “ecocasas” que por sinal dão prova de grande engenhosidade sob diversos pontos de vista: escolha de materiais, utilização de energia solar e eólica, reciclagem de água etc.

A habitação está inserida na programação do ecodesenvolvimento pela adaptação às condições ecológicas, pelo aproveitamento de materiais de construção de origem local, abundantes e de baixo custo que promovam a rejeição de sistema de valores que fazem de materiais industrializados de alto custo, símbolos de modernidade, mesmo em locais em que não é dado o acesso a estes. Além disso, no Terceiro Mundo, a ampla disponibilidade de força de trabalho permite com que comunidades encontrem soluções para suas necessidades, dentro de seus referenciais culturais ou fora deles por meio de trocas, com possíveis adaptações, fazendo com que esta comunidade se torne autônoma em relação à economia de mercado.

Neste campo se impõe uma reavaliação das construções tradicionais, não por simples reverência à tradição, mas para se buscar informações e aperfeiçoamento para projetos, com maior abertura e integração da ecologia e da antropologia, também em projetos urbanísticos.

3.1.1 Técnicas apropriadas ao desenvolvimento

A concepção de técnicas ecologicamente prudentes, socialmente aceitáveis e multidimensionais é fundamental no campo das estratégias do ecodesenvolvimento. É necessário definir os critérios de escolha de técnicas apropriadas ao contexto social e ecológico observando o maior número de dimensões possíveis. Tradicionalmente se discutia a escolha sob duas dimensões, o capital e o trabalho necessário por unidade de produto. Neste novo quadro são necessárias considerações sobre um número maior de dimensões, como os impactos ecológicos: equilíbrio de recursos e qualidade do meio. Para cada uma destas dimensões devem-se estabelecer normas aceitáveis e formas de avaliação, ainda que de difícil identificação, para melhor orientação de novas técnicas e futuras alternativas.

A escolha de técnicas apropriadas determina, em grande parte, o padrão de uso dos recursos. As tecnologias apropriadas definidas para cada contexto ecológico, econômico e social compreendem um subgrupo que opera com todo espectro de tecnologias, desde as mais trabalho-intensivas às mais capital-intensivas. Todas as estratégias de desenvolvimento trabalham com a mistura de técnicas caracterizadas por diferentes graus de intensidade de capital. Portanto, a uma escolha adequada, cabe selecionar tecnologias que visem à produção de bens duráveis ou recicláveis, de baixo consumo energético e reduzido impacto ambiental. Quanto ao atendimento à escolha de técnicas apropriadas no campo das construções de habitações ecológicas, Sachs (1986), cita outros autores e relata:

Já começamos a ter melhores conhecimentos em matéria de arquitetura e construção vernaculares¹ (ver, em particular, Fathy, 1970; Rapoport, 1969; Rudotsky, 1974), assim como em relação aos obstáculos à aplicação de tecnologias *soft* disponíveis para casa individuais nos assentamentos urbanos (Bakzo, Sachs, Vinaver & Zakrzewski, 1977). A arquitetura vernacular, como acertadamente assinalou Rapoport, oferece exemplos de excelente adaptação aos ecossistemas, mas não representa, em absoluto, uma regra geral. Por isso toda experiência tem que ser revista e analisada como uma importante contribuição ao *ecodesign*.

No Brasil, de acordo com Sachs (1986), três aspectos relacionados entre si configuram a questão da habitação ecológica: a dos assentamentos populacionais adaptados ao ecossistema; a construção das moradias ecológicas; e o uso de materiais locais, preferencialmente com uso de recursos renováveis ou com resíduos industriais ou agrícolas.

O primeiro aspecto ainda se encontra bastante distante de um referencial adequado, dado que o crescimento urbano nas grandes cidades se desenvolve a uma taxa elevadíssima em relação aos avanços, em termos de medidas efetivas, tomadas pelos sistemas sócio-políticos e econômicos instaurados em grande parte dos países que mais necessitam de melhores condições. Podemos encontrar exemplos isolados de projetos governamentais que atendam, parcialmente, às condições adequadas ao ecodesenvolvimento.

Um exemplo bem sucedido de habitações adaptadas ao ambiente climático e natural, como o descrito por Krzyzanowski, (2005) realizado em Florianópolis atende ao segundo aspecto, da construção de moradia ecológica.

Quanto ao uso de materiais baseados em recursos renováveis ou resíduos agroindustriais, tem-se conhecimento de um amplo universo de pesquisas acadêmicas (algumas destas serão relatadas, posteriormente, neste trabalho) e experiências da prática em que os materiais e as técnicas escolhidas atendem às necessidades locais interagindo com elementos da cultura local e promovem autonomia para a comunidade. Experiências que se situam no contexto das aplicações do ecodesenvolvimento acima relatadas.

Para os três aspectos da habitação ecológica pode-se dar o exemplo de experiência realizada por uma entidade junto à comunidade, que trata do reconhecimento, aplicação e transmissão

¹Arquitetura Vernacular. Aquela que utiliza os materiais disponíveis em um determinado local ou região e/ou técnicas de construção tradicionais de uma cultura.

de conhecimentos fundamentados no ecodesenvolvimento. Caso específico do trabalho realizado pelo Instituto Kairós, conforme relatado em material informativo da própria instituição:

O Instituto Kairós é uma organização não-governamental, sem fins lucrativos sediada no Distrito de Macacos, Nova Lima/MG. Tem como missão promover ações e programas que contribuam para o desenvolvimento local sustentável através da valorização dos recursos naturais, favorecendo a inclusão social, a integração e a transformação cultural das comunidades em que atua.

Fundado em novembro de 2002 com o propósito de desenvolver tecnologias sociais, culturais e ambientais, o Instituto direcionou sua atuação num primeiro momento a resultados práticos imediatos nessas áreas, além da formação educacional, profissional e da geração de renda para jovens e adultos através de diversos projetos realizados em associação com poderes público e privado. Foi criado o Programa Comunidade, que consiste em executar projetos pilotos de desenvolvimento local voltados para a comunidade onde atua, vinculando o resultado de suas ações às demandas sociais emergentes na região.

Numa parceria com a empresa MBR e com a Prefeitura de Nova Lima, implantou sua sede, o Centro Kairós, localizado em Macacos em área de preservação ambiental. No Centro Kairós são promovidos cursos, oficinas, treinamentos e uma rede de ações ligadas ao desenvolvimento sócio-ambiental da comunidade, ampliando as possibilidades de renda, as oportunidades de trabalho e as relações de identidade com a cultura local. Dentre outras atividades pratica-se a permacultura (no planejamento de sistemas ambientais de culturas permanentes e integradas), a bioconstrução, a agroecologia (nos processos da agricultura familiar e no uso popular das plantas medicinais), atividades culturais, artísticas, educativas e de formação (...).

Uma vez participando do cotidiano da comunidade e inserido amigavelmente em seu meio ambiente, social e cultural, volta-se agora ao *Programa de Desenvolvimento de Tecnologias Sociais e Ambientais*, em que consolida sua capacidade de transformação, construindo tecnologias, desenvolvendo pesquisa e sistematizando resultados para disponibilização e transferência em outras localidades, urbana e rural, com ações e benefícios integrados às realidades específicas através da multiplicação dos resultados alcançados (...).

As ações descritas acima se inserem nas modalidades de aplicação do ecodesenvolvimento, justificando-se a escolha da Instituição referida como local para realização de parte das atividades deste trabalho.

Um exemplo de reflexão importante sobre a questão da habitação ecológica é verificado no trabalho de Krüger (2000). O autor considera importante o uso de tecnologias apropriadas no desenvolvimento de projetos de habitações de baixo custo para a realidade brasileira por

requerem baixo investimento e necessidade de nível simples de organização; são adaptáveis ao aspecto local e sócio-cultural; baixo custo intensivo, observando o uso de recursos naturais; baixo custo intensivo, observando o produto final; promove a descentralização e facilita a autoconstrução. Estas características confirmam a adequação das técnicas de construção com solo à modalidade do ecodesenvolvimento e a seu caráter de promoção de autonomia para as comunidades.

Quanto às características das moradias construídas com solo, propriamente ditas, Faria Rodrigues (1999); Minke (2001); Stulz & Mukerji (1993) apresentam como favoráveis os seguintes aspectos:

- Elevado conforto térmico; (associado à inércia térmica que propicia baixa condutividade térmica e alta capacidade térmica);
- Bom comportamento acústico, especialmente em face de sons aéreos, associado à massa das paredes resultantes;
- Controle da umidade do ar;
- Economia energética inerente (em termos de produção e transporte) 1 a 2% da energia despendida com uma construção convencional;
- Baixo consumo de água na produção; 60 vezes menor que construção com concreto;
- Processo totalmente reciclável;
- Baixo custo;
- Fácil trabalhabilidade; devida à simplicidade de equipamentos e não-necessidade de mão-de-obra especializada, se colocando acessível à comunidade.
- Ampla disponibilidade de matéria-prima em diversas regiões, e o amplo aproveitamento, pois, o solo retirado na preparação da fundação pode ser diretamente usado na construção;
- Versatilidade na produção de elementos construtivos;
- Resistente ao fogo;
- Durabilidade; com devida prevenção e manutenção;
- Possibilidade de promover a autoconstrução.

Este último aspecto associado à não-necessidade de mão-de-obra especializada permite que se gere trabalho para grande parte da população não-qualificada e em situação de desemprego no país.

Contudo, segundo os mesmos autores, construções com solo têm alguns fatores adversos, como:

- Ausência de padronização: sua composição depende das características geológicas e climáticas da região (variando-se a composição, suas propriedades físicas podem ser alteradas). Antes de sua utilização o solo deve ser analisado.
- Absorção de água excessiva seja pluvial, do solo, ou de instalações.
- Baixa resistência mecânica. Impactos ou distribuição de cargas de modo deficiente podem causar acidentes.
- Retração: o solo sofre deformações significativas durante o processo de secagem podendo causar fissuras e trincas.
- Envolve produção em baixa escala. (Dificilmente ultrapassa 300 unidades por dia, com dois trabalhadores e prensagem mecânica. CEPED, 1984 apud Rolim, 1996)

De acordo com Faria Rodrigues (1999), construções com solo podem apresentar patologias e suas análises possibilitam identificar alguns agentes de degradação. Seus efeitos e processos de ocorrência devem ser conhecidos para se poder atuar contra eles com eficácia. Dentre estas patologias:

Ações mecânicas, como choques, abalos, distribuição desequilibrada de carregamento ou condições de carregamento excessivo durante a execução ou na utilização da construção podem causar danos estruturais aos elementos construtivos, podendo ser, desde fissuras até a ruptura da construção.

A erosão pode ser devido à ação de chuva, vento com elementos em suspensão, seres vivos e principalmente, de sais solúveis higroscópicos. O impacto direto ou repetido e respingos de chuva, alteram a superfície exterior da construção provocando desgaste. Corrimento de água de chuva e respingos que batam no solo contribuem para a erosão. O vento tem uma ação mecânica quanto maior forem as partículas em suspensão e será reforçada se houver contato

com água. Os seres humanos podem provocar choques acidentais pontuais e que podem favorecer patologias de umidade.

A ação dos sais solúveis higroscópicos são menos evidentes, mas muito frequentes. Os sais solúveis estão presentes nos materiais de construção em maior ou menor quantidade e também no solo. Em construções antigas podem surgir em maior quantidade, em regiões litorâneas (cloretos), em áreas com elevada poluição atmosférica (sulfatos) ou onde haja contaminação com dejetos de animais (nitratos). Esses sais são transportados pela água e quando essa evapora, eles se cristalizam na superfície ou no interior dos elementos da construção, provocando, respectivamente, eflorescências e criptoflorescências. Quando ocorre na superfície ocorre também, uma erosão superficial do paramento, essencialmente por degradação do revestimento (caiação ou pintura). Os sais cristalizados podem ser removidos por escovação e não provocam danos à alvenaria. Quando os sais cristalizam antes de chegarem à superfície, essa cristalização ocorre na região, a qual, a água atingiu na migração de secagem, no interior do material (ou na interface entre o material da parede e do revestimento). Quando cristalizam os sais aumentam de volume e é essa expansão que muitas vezes provoca a ruptura e desagregação ou dessolidarização entre camadas de materiais, caso o tamanho dos poros no material não forem suficientes para suportar a referida expansão dos sais. A região dessolidarizada acaba por se destacar do resto do elemento e cair, resultando sempre em erosão mais ou menos profunda da parede.

É frequente em construção com solo (e quanto mais incompatível for seu revestimento), que a cristalização ocorra perto da interface entre o suporte (parede) e seu respectivo revestimento, resultando no destacamento de todo o revestimento e degradação da camada superficial.

As conseqüências principais de erosão são: a degradação da superfície e, eventualmente, de alguma espessura do elemento, com conseqüente diminuição da resistência mecânica do material; acentuação de vias de penetração de água e infiltração por absorção.

Infiltração e absorção de água: o contato da água com os elementos da construção conduz a absorção dessa água pelo material por ascensão ou difusão capilar ou por infiltração pelo fendilhamento existente. Pode ocorrer com água de chuva, no terreno ou devido a acidentes como ruptura de tubulações. Como conseqüência da infiltração e absorção da água tem-se a diminuição da resistência mecânica e do isolamento térmico, o transporte de sais solúveis

higroscópicos, a dilatação / retração do material (provocando novas fendilhações e mais infiltrações) e desenvolvimento de vegetação parasitária.

A ocorrência de situações que propiciam a condensação de vapores de água excessivos à superfície ou no interior dos elementos pode provocar umedecimento do material, em geral, na superfície interior ou na interface interna entre materiais diferentes. As conseqüências são: o risco de degradação pelo desenvolvimento de fungos; redução do isolamento térmico; diminuição da resistência mecânica local; descolamento de revestimento pela hidratação/cristalização de sais solúveis.

Quanto à manutenção e prevenção de patologias, segundo Faria Rodrigues (1999), o estado de conservação das construções deve seguir alguns aspectos: um corte de capilaridade eficiente nas fundações (execução com rochas), proteção da primeira fiada das paredes, (elevação com rochas ou com revestimento apropriado) e cobertura adequada em inclinação e extensão do beiral. Deve-se, primeiramente, considerar imprescindível, a escolha apropriada dos materiais a serem utilizados na construção, o cuidado e o correto desenvolvimento na aplicação da técnica construtiva com solo, respeitando suas limitações quanto aos esforços aplicados sobre os elementos construtivos.

O revestimento das paredes não é indispensável, mas pode contribuir se adequado e bem aplicado. Pode ser necessária sua aplicação várias vezes durante a vida útil da construção. Estes apresentam funções técnicas e estéticas.

Tendo-se conhecimento dos potenciais problemas encontrados nas construções com solo, tomando-se as medidas preventivas necessárias e buscando-se o seu aperfeiçoamento, estas técnicas de construção podem ser uma alternativa para redução do déficit de moradias no Brasil e melhoria da qualidade de vida de populações. Estas tecnologias podem ser facilmente reproduzidas pela população local e podem recuperar características culturais de comunidades.

Em países em desenvolvimento, governos têm buscado melhorar o nível de vida de populações menos favorecidas através de aberturas de linhas de crédito, desenvolvimento de programas habitacionais compatíveis, estimulando a autoconstrução. As realidades econômicas vividas por estes países em desenvolvimento têm levado pesquisadores a

desenvolverem essas técnicas e materiais que possam oferecer soluções apropriadas para construções de habitações de interesse social.

Em grande parte este desenvolvimento se dá pela crescente preocupação social e com a sustentabilidade de processos construtivos, que dispendam menores quantidades de energia, gerem menores quantidades de resíduos e que promovam melhor integração dos indivíduos com o ambiente no qual estão inseridos.

3.2 Principais técnicas de construção com solo

Técnicas de construção com solo podem ser classificadas, de acordo com Neves (2005), em monolíticas quando o elemento construtivo se compõe de uma única peça; mistas, quando são feitas aplicações de solo sobre estruturas de madeira e alvenaria quando a construção se compõe de diversos elementos construtivos dispostos em sobreposição, como tijolos e blocos. Far-se-á a descrição apenas das técnicas mais comuns aplicadas, nas mais diversas regiões do Brasil.

3.2.1 Taipa de pilão

Como descreve Justi Pisani (2004) esta técnica recebe esta denominação por ser socada ou apiloada, com auxílio de um instrumento chamado popularmente de “mão de pilão”. A fôrma que recebe o material de solo para a compactação chama-se “Taipal” (Figura 3.3). Esta tecnologia foi muito utilizada em construções no Brasil colonial e era produzida com solo retirado de local próximo à construção devido ao grande volume de material e as dificuldades com transporte. O solo era escolhido pelo “taipeiro” que deveria reconhecer de forma empírica as propriedades físicas do material: visualmente ou através do tato.

Segundo Schmidt (1946) apud Justi Pisani (2004), os solos preferidos eram os vermelhos, seguidos pelos roxos e os pardos, por apresentar maior “liga” ou “trabalhabilidade”. Os solos não deveriam conter materiais rochosos e matérias orgânicas como madeira e restos de vegetação, pois, estes poderiam comprometer a resistência. Era feita uma cava profunda para remoção de material evitando a presença de impurezas e para que o solo já tivesse uma umidade satisfatória, dispensando o acréscimo de água na mistura. O material de solo era esfarelado e umedecido e seguido pelo amassamento realizado com as mãos ou com os pés. O

procedimento terminava com a obtenção de um material homogêneo. Seguido a este preparo do material, este era introduzido e acomodado em camadas de 10 a 15 centímetros dentro do taipal. Após o apiloamento a altura da camada diminui consideravelmente. As espessuras dos taipais variavam entre 30 e 120 centímetros, o que permitia que o taieiro trabalhasse no interior do taipal, possibilitando que o pisoteamento contribuísse com o adensamento do material.

Em relação às medidas dos taipais, estas variavam de 1 a 1,5 metros de altura por 2 a 4 metros de comprimento / formados por tábuas presas com sarrafo, formando um tabuado com juntas de topo para as tampas ou lados, distanciadas em função da espessura da parede por outro tabuado denominado frontal e presas com paus roliços denominados de agulha ou cangalha no horizontal e costa na vertical, formando uma espécie de caixa sem fundos.

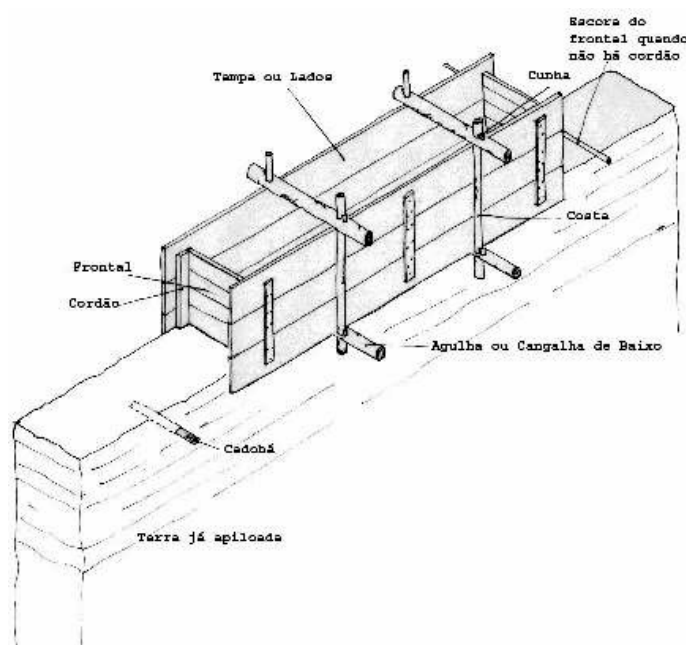


Figura 3.3 - Taipal

Adaptado de CORONA & LEMOS (1972) apud JUSTI PISANI (2004)

Os taipais eram dispostos de modo a formar fiadas horizontais de blocos de taipa e tem juntas verticais desencontradas. Na primeira fiada o taipal era apoiado diretamente no solo. Sobre as fundações e para fiadas subsequentes eram colocadas transversalmente à espessura, madeiras roliças a dois terços da altura, de modo que na execução da próxima fiada, (Figura 3.4) as agulhas ou cangalhas de baixo eram enfiadas no orifício (denominado de codo) deixado após a retirada desta madeira que tinha permanecido dentro do bloco de taipa anterior. Nas taipas remanescentes deste período as marcas da execução são facilmente detectáveis, tanto das camadas

de solo apilado, como dos tipos de junção dos blocos de taipa e também dos orifícios ocupados para a elevação do maciço de taipa. Esses orifícios recebem uma argamassa de terra após a retirada do taipal e antes do revestimento.

Para a execução de vãos para portas e janelas, eram montadas estruturas de madeira colocadas anteriormente a execução dos maciços das paredes. (JUSTI PISANI, 2004).

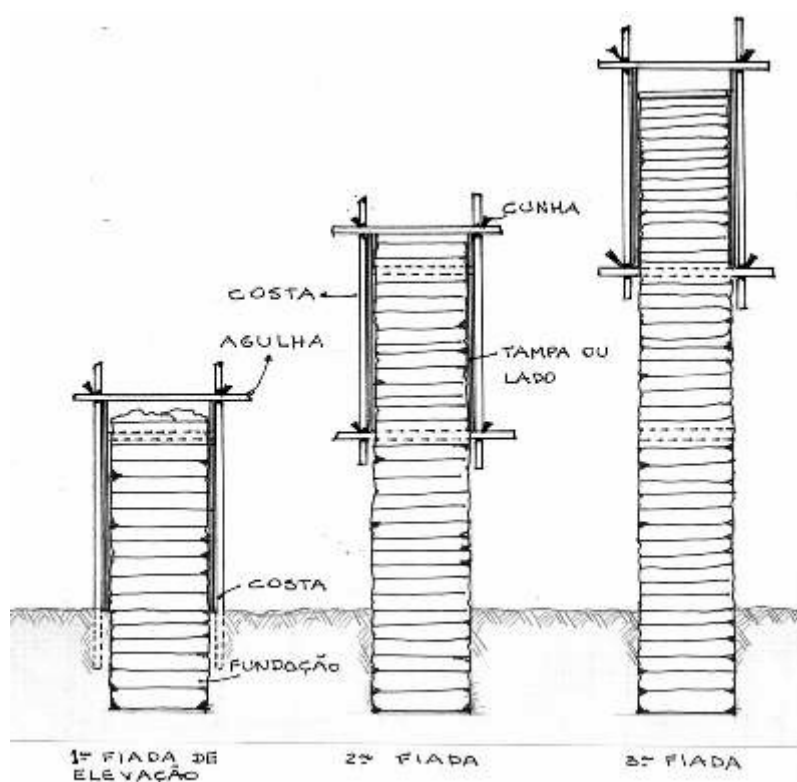


Figura 3.4 – Elevação do Taipal

Fonte: Adaptado de Vasconcellos (1961) apud Justi Pisani (2004)

Dependendo das dimensões da construção edificada o período de secagem da taipa de pilão varia de 3 a 6 meses para que pudesse ser aplicado o revestimento geralmente à base de cal. Assim, como em todas as técnicas com solo, verifica-se que apresentam baixas resistências mecânicas, sendo que, eventualmente, se utilizava o acréscimo de materiais rochosos como seixos rolados na mistura de solo. A erosão é também um agente de degradação, necessitando de proteção na base das paredes e extensos beirais.

3.2.2 Taipa de mão

Este processo de construção com solo foi muito utilizado em diversas regiões do Brasil colonial. Também é conhecido como pau-a-pique ou tabique.

A estrutura das paredes era feita de madeira formando esteios, e engradamento que será recoberto com o material de solo. São usadas, mais frequentemente, em paredes internas nas construções.

A estrutura de madeira é montada com esteios, de secção quadrada de aproximadamente 15cm, enterrada no solo a profundidades variáveis, com um tipo de fundação formada pela continuidade do tronco em que era cortado o esteio, denominada popularmente de nabo (Figura 3.5).

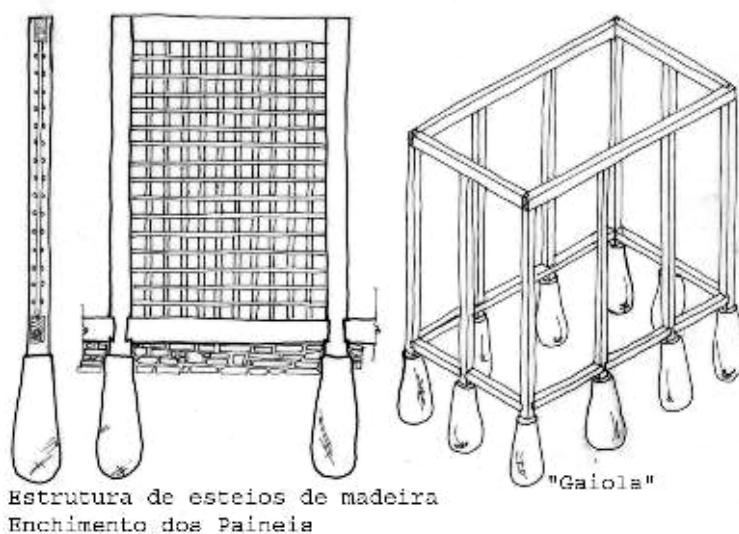


Figura 3.5 - Estrutura de Madeira para a Execução da Taipa de Mão

Fonte: Adaptado de Vasconcellos (1961) apud Justi Pisani (2004)

Para evitar o ataque de animais xilófagos o nabo e crestado a fogo. No nível do piso, esses esteios enterrados no solo recebiam encaixes para a colocação de vigas baldrames, mais altas que o solo para evitar a penetração de água, pois a madeira é susceptível à decomposição pela umidade. Sobre as vigas se apoiavam os barrotes de sustentação dos assoalhos, que era o piso mais empregado nesse sistema construtivo.

Na parte superior os esteios recebem a carga dos frechais, apoiados ou encaixados, formando uma estrutura independente, denominada gaiola.

Entre os frechais e as vigas baldrames são encaixados em rebaixos os paus, de secção circular de menor espessura dos esteios. Perpendicularmente aos paus são amarradas com cipós, outras peças de madeira mais finas, denominadas de varas, de um dos lados, dos dois paralelos ou alternados (Figura 3.6).

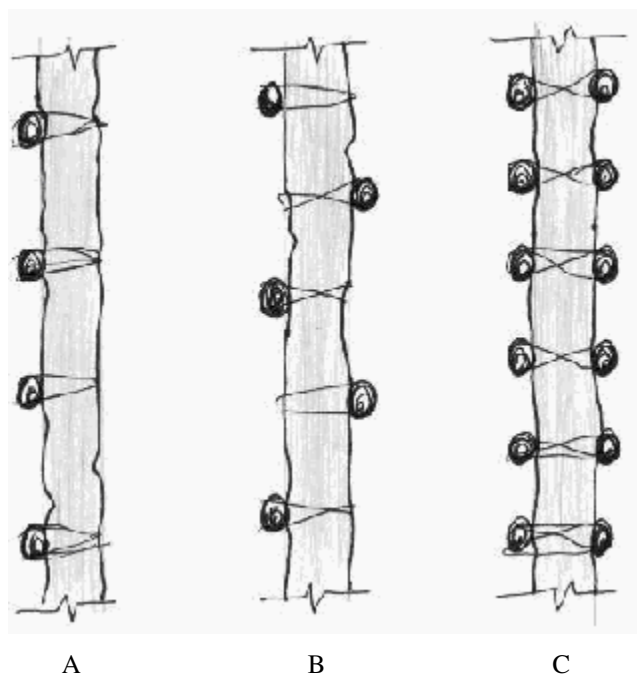


Figura 3.6 - Detalhe do modo de colocação das varas. (A) Varas de um lado.

(B) Varas alternadas dos dois lados (C) Varas paralelas dos dois lados

Fonte: Adaptado de Vasconcellos (1961) apud Justi Pisani (2004)

Montada essa trama, a aparência é de uma gaiola, com vãos quadriláteros de 5 a 20 centímetros de lado. Após a amarração da trama, o material de solo previamente escolhido é transportado para um terreiro onde é preparada a argamassa cuja plasticidade deve ser maior que para a taipa de pilão. Pode ser executado por um ou dois trabalhadores que se colocam de lados opostos da trama e prensam energeticamente o material contra a trama. (Justi Pisani, 2004).

A espessura das paredes varia entre 15 e 20 centímetros e o período de secagem antes da aplicação de revestimentos e de aproximadamente um mês. Ainda hoje se encontram construções de pau-a-pique em diversas regiões brasileiras, porém, a execução contemporânea da técnica é mais rudimentar, contribuindo para que a durabilidade das construções seja bastante reduzida.

3.2.3 Adobe

O termo “At-tub” que significa bloco de solo secado ao sol, assim como a técnica tem origem árabe. No Oriente Médio seu conhecimento é muito antigo e amplamente difundido. Sua utilização é muito presente nos países do Norte da África, de onde se difundiu pelo sul da Espanha e Portugal, devido à proximidade e facilidade de transporte pelo Mar Mediterrâneo. Esta técnica chegou à América através dos colonizadores Espanhóis e Portugueses sendo muito empregado no período de colonização, tanto na América do Norte (primeiramente no México, de onde se difundiu para regiões mais ao norte do continente) como na América Central, e América do Sul, principalmente no Peru, Bolívia e Brasil.

Relacionada à enorme potencialidade do adobe e diante da preocupação contemporânea com construções sustentáveis ecologicamente, esta tecnologia vem sendo resgatada por apresentar baixíssimo custo, pela ampla disponibilidade de material nos próprios locais de obra; não requerer mão-de-obra especializada e irrisório consumo de energia para sua produção.

Trata-se de um processo de produção de blocos de solo moldados em fôrmas de madeira (Figura 3.7a), a partir de material de solo preparado e homogeneizado em um orifício aberto no terreno, denominado “panela” (Figura 3.7b).

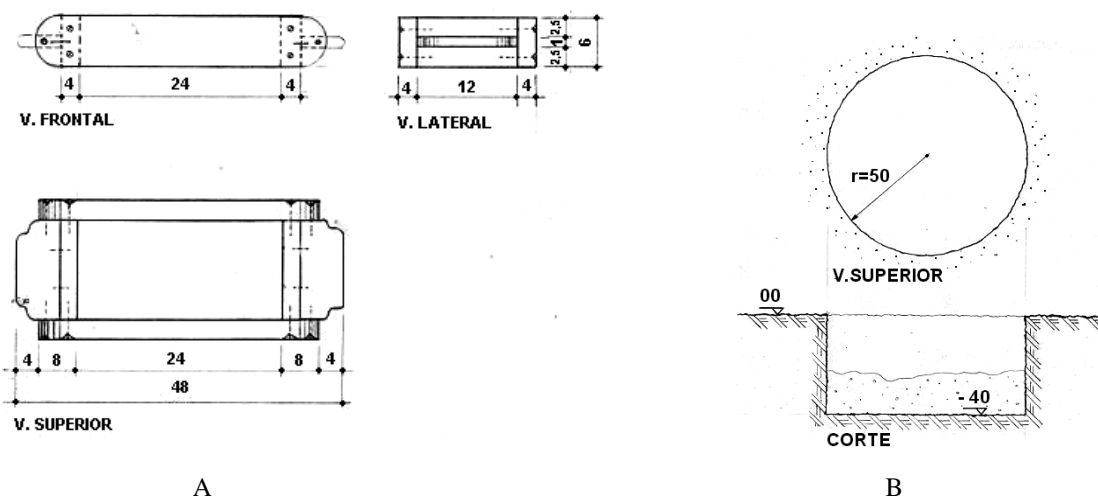


Figura 3.7 - (A) Forma para adobe - vistas; (B) “Panela” - vista superior e corte

Fonte: Autor

A confecção de adobes passa, inicialmente, pela determinação em campo, de um solo adequado, no qual, consideram-se como as propriedades mais importantes, a composição granulométrica, a plasticidade e a retração. Tais propriedades podem ser também determinadas em laboratório, sendo a composição granulométrica determinada por peneiramento e por sedimentação. A plasticidade é medida pelos limites de consistência e a retração ou contração é verificada pela determinação do limite de contração.

Em campo, estas propriedades podem ser determinadas por testes visuais e tácteis, e pelos chamados testes expeditos, documentados pelo CEPED (1984) apud Neves et al. (2005), os quais serão descritos posteriormente. A realização desses testes associa as propriedades de composição granulométrica, plasticidade, retração e umidade ao tipo de solo e este, à técnica construtiva com solo mais adequada.

De acordo com Corrêa et al. (2006) a composição granulométrica ideal da mistura de solo para o adobe varia com autores, como mostrada na Tabela 3.1;

Tabela 3.1 – Composição granulométrica de acordo com autores.

Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Referência Bibliográfica
	9 e 3	9 e 3	Velloso et al. (1985) apud Corrêa et al (2006)
40 a 55		20	Martinez (1979) apud Corrêa et al (2006)
>45		< 20	Alves (1985) apud Corrêa et al (2006)
50	30	20	Milanez (1958) apud Corrêa et al (2006)

Fonte: Autor

Corrêa et al. (2006) tomam como referência a porcentagem ideal de Milanez (1958) para adobes, com 50% de areia, 30% de silte e 20% de argila, (Figura 3.8), sendo necessária, a análise do solo em campo e em laboratório para verificar a necessidade de se corrigir, com areia, a granulometria do solo a ser utilizado.

Para Hlaváč (1983) a composição teórica ideal para misturas para conformação peças com materiais argilosos, com dois tamanhos de partículas, considerando-as esféricas é de 70% de fração grossa e 30% de fração fina. Com três tamanhos de partículas as frações são 50% de

partículas grossas, 10% médias e 40% finas. O autor considera ideal, uma ampla distribuição de tamanhos de partículas, para se ter o melhor adensamento, mas considera que, na prática a introdução de uma terceira fração de partícula apresenta pequena contribuição.

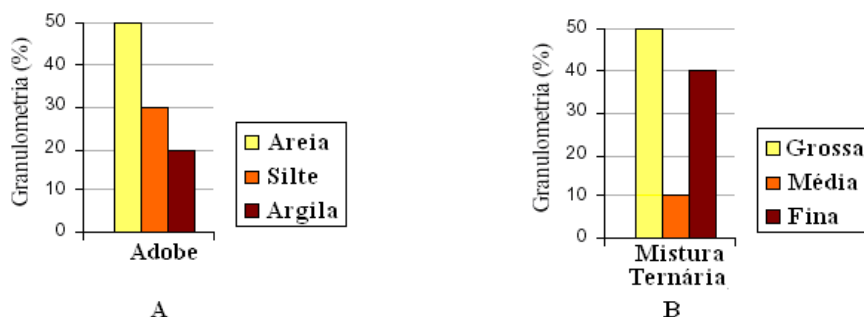


Figura 3.8 – (A) Composição granulométrica do adobe para Milanez (1958) apud Corrêa et al (2006) e (B) mistura ternária para Hlaváč (1983)

Fonte: Autor

A umidade ótima segundo Velloso et al. (1985) apud Corrêa et al. (2006), para BTA – Blocos de Terra Artesanal, a quantidade de água em solos fica entre 7 e 8% e em solos argilosos entre 16 e 18% enquanto Martinez (1979) apud Corrêa et al (2006) especifica entre 12 e 16% do peso. Devido à complexidade de características físicas e químicas do solo a umidade ideal é muito variável, podendo ser encontrados, segundo Buyle-Bodin et al. (1990) apud Mesa Valenciano (1999), adobes com teor de água de amassamento elevado, variando de 20 a 40%. Portanto, considera-se que não existe um padrão de umidade ótima para adobes.

Neste trabalho tomou-se como referência a umidade determinada na preparação do primeiro material de solo preparado pelo integrante da comunidade por teste de campo e medida, posteriormente, em laboratório.

As dimensões das fôrmas empregadas para a produção artesanal de adobe são muito variadas devido à regionalidade como pode ser visto na Tabela 3.2. As dimensões das fôrmas encontradas no Instituto Kairós, local escolhido para a realização de parte deste trabalho também podem ser vistas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Dimensões de adobes por região de ocorrência

Dimensões / cm³	Local	Referência Bibliográfica
29 x 9 x 9 e 30 x 15 x 15	Benin (África)	Ortega (1983)
38 x 38 x 8 ; 39 x 18 x 18 e 40 x 20 x 15	México (América Central)	Williams-Ellis e Eastwick-Field (1950)
15 x 15 x 15	Turquia (Europa)	Binici et al. (2004)
25 x 15 x 6	Egito (África)	Binici et al. (2004)
40 x 20 x 10 com 12,5kg e 25 x 12 x 8 com 2,5kg		Milanez (1958)
23 x 11 x 7 e 23 x 11 x 10	CEPLAC (Centro de Pesquisas do Cacau Itabuna), Bahia-Brasil (América do Sul)	Lavinski et al. (1998)
30 x 15 x 15	Brasil (América do Sul)	Rodrigues (1980)
24 x 14 x 14 ; 24 x 14 x 10 e 23 x 11 x 5,5	Universidade Federal de Lavras	Corrêa et al. (2006)
26 x 13 x 8	Instituto Kairós – São Sebastião das Águas Claras – M.G.	Levantamento para esta pesquisa

Fonte: Autor

A produção de fôrmas, de acordo com Corrêa et al. (2006) é feita de madeira com vários tamanhos e encaixes (dupla, simples, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$ de tijolo) retangulares ou quadrados, todas com “agarradeiras” nos extremos para facilitar a produção e o desenforme.

Quanto à homogeneização da mistura, Martinez (1979) e Milanez (1958) apud Corrêa et al. (2006) consideram de fundamental importância e que pode ser feita com “maromba” ou com os pés.

De acordo com Velloso et al. (1985) apud Corrêa et al. (2006) a origem mineralógica do material fino é importante, pois, o argilomineral é responsável pelo grau de expansibilidade

do solo. Solos com alto teor de óxido de ferro e baixo caulínico, tendem a ser pouco expansivos, e que sua presença no solo pode evitar a contração e o aparecimento de trincas e fissuras no processo de secagem. Portanto, devido à importância da composição química e dos teores apresentados por determinados elementos serão realizadas coletas de material de solo para caracterização química.

3.3 Propriedades físicas do adobe

A produção de adobe é um processo artesanal, tendo o material solo como principal componente. Este pode apresentar composição muito variável e às vezes, inadequada à confecção de adobes, podendo ser necessária correção granulométrica.

Não existe padrão de umidade ótima para adobes. A quantidade de água varia em função do tipo de solo a ser utilizado. Quanto mais argiloso, maior a necessidade de água.

O processo de secagem, sem gasto de energia, que oferece melhor qualidade ao adobe deve ser realizado em galpão coberto, por favorecer o equilíbrio entre a evaporação e transporte por capilaridade de água para a superfície (Corrêa et al. 2006). Porém, em processos artesanais sem consumo de energia (sem aporte de calor ou controle de ventilação), os efeitos da secagem dificilmente podem ser controlados.

Como resultados de resistência à compressão o valor mínimo encontrado na literatura para bloco de solo artesanal é de 0,5MPa.

Com base em resultados obtidos em seu trabalho com adobes de medidas (29 x 14 x 10)cm e (29 x 14 x 14)cm, Corrêa et al. (2006) concluem que os primeiros têm valores de resistência à compressão superiores ao segundo, sugerindo que menor espessura proporciona blocos com maior resistência à este esforço. Quanto à flexão, blocos com maior espessura apresentam maiores resistências.

As dimensões do adobe, dentre os consultados na literatura que apresenta maior resistência à compressão é de (23 x 11 x 5,5)cm, para determinado tipo de solo, variando entre 2,63 e 4,00MPa. O que demonstra que adobes robustos não significam que são mais resistentes, se comparado a outros de menores dimensões.

A estabilização com areia média², segundo Corrêa et al. (2006) é mais eficiente para solos argilosos.

Em geral, para os adobes, busca-se como referência o valor para resistência à compressão simples estabelecido na norma ABNT-NBR 8491 para tijolos de solo-cimento, que corresponde a 2.0MPa.

3.4 Aplicações do adobe

Os adobes após serem moldados e secados seguindo as condições necessárias para obtenção de um produto adequado, podem ser utilizados em alvenarias tanto de paredes externas como de paredes internas. Para seu assentamento deve-se preparar uma argamassa com o mesmo material, porém, com maior plasticidade. O levantamento da alvenaria não necessita de mão-de-obra especializada e pode ser executada de modo extremamente rápido. Tem-se conhecimento, hoje em Portugal, de empresas que produzem e comercializam adobes e outros elementos construtivos como elementos cônicos para arcos, argamassas e rebocos prontos para uso. Naquele país existe regulamentação específica para edificações deste tipo. Contudo, sabe-se que as construções com adobe são também susceptíveis aos agentes de degradação e necessitam (além dos cuidados com a preparação, produção dos materiais e construção) das disposições construtivas que limitam a ação daqueles agentes.

Atualmente no Brasil, têm-se experiências relacionadas a implantações de projetos com objetivo de transferir tecnologia e aperfeiçoar as construções com solo em algumas comunidades carentes como o trabalho de Barbosa et al. (1996) realizado na Paraíba. Estas aplicações dos conhecimentos e das tecnologias têm importância significativa na identificação de problemas inerentes à execução de construções com solo e promove a busca de novas pesquisas relacionadas às patologias e seus processos de saneamento.

Barreto & Silva (2005) pesquisaram a relação entre planejamento, projeto e execução na fabricação de tijolos de adobe e construção de moradia no Assentamento Rural Fazenda Pirituba no município de Itapeva, São Paulo, tendo como objetivo analisar as mudanças

² Existem várias escalas granulométricas para dimensionamento de partículas. Entre as mais utilizadas em sedimentologia, de acordo com Suguio (1973), areia média está compreendida nos intervalos de tamanho de partículas com diâmetro entre 0,2mm e 0,6mm, (escala granulométrica de Atterberg) e entre 0,25 e 0,5mm (escala de Wentworth) Atualmente a ABNT-NBR 6457 segue a escala de Atterberg.

ocorridas entre planejamento e execução durante a produção de adobe e a construção da habitação no referido assentamento rural. Foram realizadas análises do projeto, levantamento de dados durante a fabricação de adobe e a construção da moradia, por meio de observação direta, registros fotográficos e entrevistas com o morador e ainda, levantamento de problemas ocorridos e comparação entre planejamento, projeto e execução. Os resultados obtidos referem-se a: rol de mudanças do projeto arquitetônico; mudanças na fabricação dos adobes em relação à composição do traço, tempo de secagem, na elevação da parede e na argamassa para junta e revestimentos internos e externos. Os resultados obtidos foram indicadores da necessidade da compreensão, pelo morador, sobre as técnicas propostas e as mudanças ocorridas. Indicaram o grau de satisfação do morador quanto à utilização do adobe e a necessidade de reflexão sobre a relação entre o conhecimento dos pesquisadores e as expectativas e conhecimento do morador.

Em outra pesquisa foram analisadas as interfaces da alvenaria em adobe com a fundação, esquadrias (portas e janelas), cobertura, instalações hidráulicas e sanitárias, instalações elétricas e revestimentos em uma habitação do mesmo assentamento Rural Pirituba em Itapeva/SP (Barreto M. G. & Silva, F. M. G. 2005). O trabalho foi desenvolvido com base no método da pesquisa-ação, onde os pesquisadores e os sujeitos da pesquisa (moradores) estão envolvidos no processo de decisões e na construção e gestão da habitação, buscando soluções aos problemas. Foram coletados dados durante a execução da obra por meio de entrevistas e fotografias em momentos diversos da construção. Como resultados têm-se a descrição das interfaces entre a alvenaria de adobe e os outros elementos construtivos e ainda, a avaliação destas interfaces e dos problemas observados. Concluiu-se que o adobe é um material facilmente moldável nas interfaces com elementos constituídos de outros materiais, mas que são necessários cuidados para que não surjam problemas em longo prazo, com ênfase no uso de cimento na composição da argamassa utilizada pelo morador, que pelo não-atendimento às especificações técnicas recomendadas pela equipe de assessoria, indicou a necessidade de estabelecimento de estratégias de diálogo entre o saber técnico e o saber popular.

Em geral, vem sendo cada vez mais, procurado o desenvolvimento ou aperfeiçoamento dos processos que envolvem a produção de adobes. Por se tratar de tecnologia de produção de material de construção que não envolve processo de sinterização ou queima deve-se considerar de fundamental importância, para a obtenção de produtos de qualidades técnicas satisfatórias, o comportamento reológico da matéria-prima no processo de preparação da

mistura de solo e o processo de secagem. Estes podem apresentar influência significativa na resistência do material produzido e necessitam de descrição adequada.

3.5 Comportamento reológico de solo para adobes

A preparação da matéria-prima para confecção de tijolo adobe, apesar deste não ser submetido à queima, passa por procedimentos que se aproximam da preparação de matéria-prima de materiais cerâmicos tradicionais.

Conforme Hlaváč (1983), a manufatura de cerâmicas tradicionais é baseada no uso de material fino natural, o qual é capaz de produzir facilmente, quando trabalhada com água, uma massa plástica (pasta). Os corpos formados mantêm a forma modelada. Caolins e argilas são as principais matérias primas para esta aplicação. Porém o material mais plástico apresenta maior retração na secagem podendo causar trincas no produto. Por esta razão, substâncias que não contraem na secagem são adicionadas ao material plástico. Em geral, estes são chamados de materiais não-plásticos, já que não formam pastas plásticas com água. Esse material apresenta grãos grossos, como é o caso do quartzo (areias).

Os processos de produção e as propriedades são afetados pela composição química dos minerais das matérias-primas, por suas estruturas cristalinas, pelo tamanho de partículas e condições da superfície.

Praticamente todas as matérias-primas ocupam os grupos dos óxidos, silicatos e carbonatos. Estes são encontrados com tamanhos de grãos apropriados em materiais de solo. A preparação requer somente medição e mistura.

De acordo com Hlaváč (1983), a distribuição granulométrica tem influência sobre o processo de retração na secagem do material, pois a distribuição do tamanho das partículas é um fator que permite controlar a porosidade de corpos crus secos. A retração será maior para um corpo cru com elevada porosidade, como descrito a seguir. Na prática deve-se manter a retração em níveis mais baixos possíveis para garantir estabilidade dimensional e a possibilidade de modelagem de corpos de grandes dimensões.

Para Hlaváč (1983), o meio mais efetivo para obter baixa porosidade de corpo cru é por uma apropriada distribuição de tamanho de partículas. O princípio pode ser demonstrado em uma mistura de duas frações uniformes de tamanhos de um sólido. Para um único tamanho de partícula esférica, a porosidade pode ser vista em um arranjo específico como independente do raio da partícula.

Sistemas reais podem apresentar 40% de porosidade para partículas isométricas. Quando uma fração de partículas finas é misturada à fração grossa, elas irão preencher os vazios entre as partículas grossas. Num caso otimizado a porosidade mínima atinge $0,4 \times 0,4 \times 100 = 16\%$ do volume. A relação dos volumes resultante da mistura de partículas finas e grossas é mostrada na Figura 3.9.

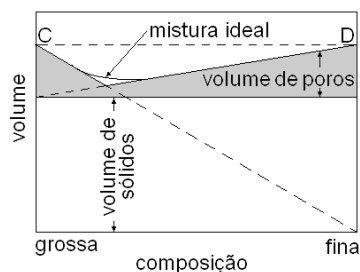


Figura 3.9 – Relação de volumes de um sistema binário composto por partículas grossas e finas

Fonte: Adaptação de Hlaváč (1983)

Os volumes originais de frações de partículas grossas e finas são C e D. A influência da substituição de fração grossa por fina, primeiro afeta o volume total da mistura como se a mesma quantia de partícula grossa tivesse sido retirada até que a fração fina seja completamente acomodada nos poros entre as partículas grossas.

A substituição de partícula fina por partícula grossa se apresenta primeiro como uma adição de um sólido compacto “não-poro” até que os vazios entre as partículas grandes estejam completamente cheios com a fração fina.

A porosidade mínima é atingida na proporção em que, vazios entre partículas grossas são completamente ocupadas pelas partículas finas. Isto acontece com 70% de fração grossa. Um mínimo apurado pode ser atingido com elevada proporção de tamanhos de partículas. De fato, o comportamento do volume muda ao longo da curva desde que a proporção de tamanhos de partículas atingível não exceda, na prática, 1:10. Com misturas binárias é possível atingir praticamente, uma porosidade de 25% e com misturas ternárias 22%. Teoricamente isto

mostra ser possível reduzir a porosidade ao máximo, aumentando o número de frações. Entretanto, na prática, não se pode ter uma perfeita distribuição de tamanho de partícula, devido à irregularidade da forma das partículas e da heterogeneidade das misturas. Para misturas ternárias a proporção ideal é de aproximadamente 50% grossa, 10% média e 40% fina. Mas, como visto, a redução da porosidade com a introdução de uma terceira fração é relativamente pequena.

Se for mantida uma única distribuição de tamanho de partícula e a forma da partícula, uma mudança no tamanho absoluto da partícula não afeta a porosidade, mas influencia o tamanho do poro substancialmente, conforme descrito por Hlaváč (1983) e então, também a permeabilidade do corpo a gases e líquidos.

3.5.1 Propriedades reológicas de massas plásticas

A expressão massa plástica ou pasta denota uma mistura facilmente trabalhável, a qual mantém sua forma depois de modelada. Até certo valor de esforço, cada tipo de mistura comporta como um sólido e exhibe aproximadamente comportamento elástico. Ele se deforma irreversivelmente somente acima de um valor de esforço crítico chamado “limite de escoamento”. Acima do limite de escoamento o comportamento pode ser caracterizado por uma respectiva “taxa de deformação” a partir da qual, a chamada “viscosidade plástica” pode ser determinada. O comportamento reológico envolvido é essencialmente do tipo Bingham, ainda que desvios substanciais do corpo ideal de Bingham possam ocorrer. Um corpo de Bingham é descrito pela relação:

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} (d\varepsilon/dt) \quad (1)$$

Onde

τ = tensão cisalhante;

τ_0 = limite de escoamento;

η_{pl} = viscosidade plástica e

$(d\varepsilon/dt)$ = taxa de deformação relativa.

Com materiais reais, o limite de escoamento (τ_0) não é explicitamente definido, ele é determinado extendendo-se a parte linear da curva até o eixo x das tensões no gráfico da Figura 3.10. O abaixamento e o aumento do limite de escoamento ($\eta=\infty$) podem ser determinados.

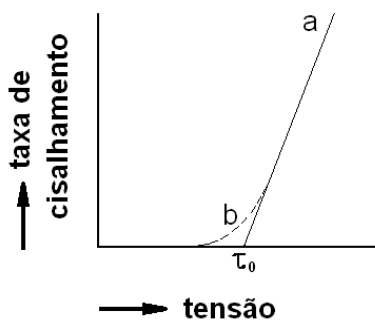


Figura 3.10 – Comportamento reológico: (a) Corpo de Bingham; (b) Corpo plástico real

Fonte: Hlaváč (1983)

Com um material plástico, tal como argila com água, deformações ocorrem claramente, quando o limite de escoamento é excedido. Porém, precisa-se evitar exceder a taxa de deformação crítica, acima da qual, materiais plásticos reais tornam-se frágeis e tendem a trincar. Um limite de escoamento adequado garante estabilidade à peça moldada, no sentido de que ela não se deforma com a ação gravitacional. Este comportamento reológico de corpos de argila é descrito pela natureza dos filmes de água formados nas superfícies hidrofílicas de partículas de argilominerais.

Quando necessário descrever mais apuradamente, o comportamento de misturas de materiais plásticos se mostrou também levar em conta, o comportamento elástico acima do limite de escoamento. Se um corpo é abruptamente solicitado por uma carga constante, primeiro ocorre rápida deformação elástica, seguida por uma deformação elástica retardada e escoamento irreversível. De modo similar, um relaxamento instantâneo segue o alívio de tensões. Se o produto moldado tem apenas uma limitada possibilidade de relaxamento, ele retém alguma tensão interna, a qual pode ser a causa de defeitos na secagem.

A despeito de várias complexidades envolvidas no comportamento de corpos plásticos, aproximações podem permitir que o modelo de Bingham seja aplicável. Fora dos parâmetros incluídos no modelo, há um outro fator significativo: a máxima deformação que o material

resistirá sem trincar. Junto com o limite de escoamento a viscosidade plástica é um parâmetro básico de caracterização do comportamento de corpos plásticos durante a moldagem.

Deformação elástica reversível ocorre até, aproximadamente, abaixo do ponto *a*, na Figura 3.11 (limite de escoamento).

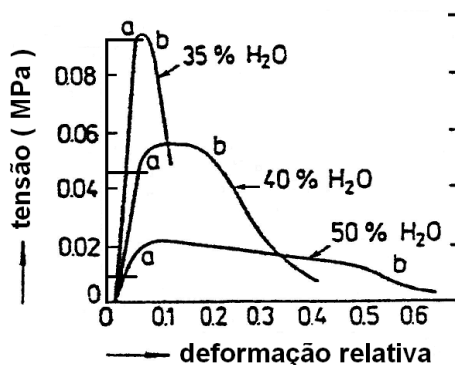


Figura 3.11 - Curvas de tensão x deformação para corpos plásticos de argila

Fonte: Adaptação de Norton (1952) apud Hlaváč (1983)

Se a tensão atua por um pequeno intervalo de tempo, a deformação é revertida no descarregamento. No ponto *a*, o limite de escoamento é atingido e ocorre rápida deformação irreversível. Por isto as curvas apresentam um patamar cujo comprimento é a máxima deformação que o material resiste sem romper. No ponto *b* começam a surgir trincas.

A partir destas curvas se estabelecem dois parâmetros que têm efeito sobre a trabalhabilidade: limite de escoamento e deformação máxima. Boa trabalhabilidade requer um, adequadamente, alto limite de escoamento, o qual eliminará deformações espontâneas devido à ação da gravidade e um valor elevado de deformação máxima, o qual garante que não irão se formar trincas na moldagem. Estes dois fatores são afetados pela água contida, que influencia os valores dos dois parâmetros em direções opostas. (Maior quantidade de água implica em menor limite de escoamento e maior deformação máxima). A trabalhabilidade pode ser expressa como produto dos dois valores – a dependência desta em relação à água contida mostra um pico correspondente à trabalhabilidade ótima. Existe também, forte dependência em relação ao tamanho de partícula, que é mostrado na Figura 3.12.

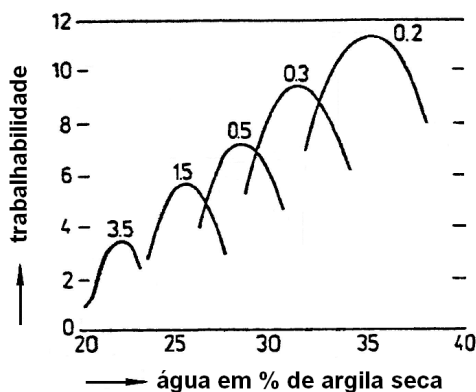


Figura 3.12 - Trabalhabilidade de frações de partículas dispersadas de Caolim. Valores nos topos das curvas indicam o principal tamanho de partículas esféricas em μm

Fonte: Adaptação de Norton (1970) apud Hlaváč (1983)

3.6 Processo de secagem

Uma peça que contém argila na sua composição, quando moldada retém uma porosidade significativa. Na medida em que esta peça seca, ela apresenta alguma contração de volume. Nos estágios iniciais do processo de secagem, as partículas de argila e outras estão envolvidas e separadas umas das outras por uma fina película de água. Com o processo de secagem e a remoção da água, a separação interpartículas diminui, o que é manifestado na forma de uma contração de volume. Durante a secagem torna-se crítico controlar a taxa de remoção da água. A secagem nas regiões internas de um corpo é realizada através do transporte por capilaridade das moléculas de água para a superfície onde ocorre a evaporação. Se a taxa de evaporação for maior que a taxa de difusão, a superfície irá secar mais rapidamente que o interior (e como consequência irá contrair em volume) com grande probabilidade de formação de defeitos (fissuras e trincas). A taxa de evaporação da superfície deve ser diminuída até o limite que se iguale à taxa de difusão da água. A taxa de evaporação pode ser controlada pela temperatura, pela umidade e pela taxa de escoamento do ar (ventilação). (Kingery, 1976 apud Callister, 2002)

Outros fatores também influenciam a contração de volume. Um destes fatores de acordo com Kingery (1976) apud Callister (2002) é a espessura do corpo; uma contração de volume não uniforme e a formação de defeitos são mais pronunciados em peças mais espessas.

O teor de água no corpo conformado, também tem significância. Quanto maior o teor de água, mais intensa é a contração de volume. Portanto, o teor de água deve ser mantido o mais baixo possível.

O tamanho das partículas de argila também apresenta influência. A contração de volume é aumentada na medida em que o tamanho das partículas é diminuído. No caso de adobes, quanto à contração devido ao tamanho de partículas, entende-se que pode não ser tão expressiva, caso este apresente quantidades significativas de partículas maiores como silte e areia.

Na produção de adobes podem ser utilizados diversos tipos de locais para secagem, como galpão coberto, cômodo fechado, ao ar livre à sombra ou ao sol, ou secadores de cacau. (Lavinski et al., 1991 apud Mesa Valenciano, 1999).

Métodos de secagem em estufa também podem ser utilizados, mas apresentam consumo elevado de energia devido às elevadas temperaturas. A energia de microondas pode ser utilizada, tendo como vantagem evitar as altas temperaturas, podendo manter o processo de secagem em temperaturas em torno de 50° C.

Corrêa et al. (2006), após ensaios com adobes secados em galpão coberto, cômodo fechado e ao tempo, relata que o primeiro local para secagem apresenta melhores resultados. Este resultado experimental nos leva a crer que um ambiente mais homogêneo em termos de ventilação proporcionará, também, maior homogeneidade na formação dos poros durante a secagem.

Outro processo com importante potencial de investigação é a “estabilização”, cujo termo aplicado ao solo corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo sob efeito de cargas aplicadas, apresenta maior resistência à deformação e ao deslocamento, que o solo original. Estes processos consistem em alterar as características do sistema solo-água-ar, com a intenção de se obter propriedades de longa duração adequadas à aplicação específica. (Houben & Guillaud, 1994 apud Ferreira et al. 2005).

Segundo Machado et al. (2005), estabilização compreende qualquer modificação introduzida no comportamento natural de um solo, para adequá-lo às exigências da aplicação desejada.

3.7 Processos de estabilização de solos

A estabilização de solos pode ser compreendida como processos físicos e químicos. De acordo com Silva (1968) apud Machado et al. (2005), os tipos de estabilização seguem o critério da natureza da energia aplicada, distribuindo-se em estabilização mecânica, elétrica, térmica, inclusões e química.

Deve-se, entretanto, considerar que cada um dos diferentes processos de estabilização e estabilizantes existentes não se restringem a uma determinada aplicação de estabilização de solos. Estes processos e materiais podem ser viáveis, ou não, em determinada aplicação, tais como estradas, contenção de taludes, correção de solos para agricultura, produção de briquetes ou habitações. Portanto cabe ao pesquisador avaliar as condições de viabilização técnica de cada processo e cada material, para a aplicação desejada.

A seguir descreve-se sucintamente, métodos de estabilização de solos para produção de elementos construtivos, que se enquadram nos processos de estabilização física ou química. Não impedindo que em um determinado método de estabilização química ocorram também interações físicas.

3.7.1 Estabilização mecânica

Neste processo a melhoria introduzida no comportamento do solo ocorre devido às mudanças no sistema trifásico (solo-água-ar). Ocorre sem introdução de nenhum material exterior, resultando apenas do uso de técnicas de compactação manual ou mecânica.

3.7.2 Estabilização elétrica

A estabilização elétrica envolve a passagem de uma corrente elétrica no solo por descargas sucessivas de alta tensão usadas no adensamento de solos arenosos saturados. Este processo, segundo Machado et al. (2005), encontra-se em fase de estudos. Uma variação deste processo seria a aplicação de corrente contínua de baixa tensão em argilosos, baseados em fenômenos de eletromose, eletroforese e consolidação eletroquímica. Este processo tem aplicação restrita em habitação e envolve consumo de energia.

3.7.3 Estabilização térmica

A estabilização térmica pode ocorrer de modos distintos. Por congelamento a melhoria no comportamento do solo é obtida de forma temporária, pela alteração na textura do solo. As baixas temperaturas promovem no solo o ordenamento de suas partículas em direções preferenciais. Processo com limitações de aplicação em habitações em países de clima tropical.

A termosose consiste em um processo de drenagem que promove a difusão de um fluido em meio poroso, pela ação de gradientes de temperatura.

Conforme Machado et al. (2005), a estabilização por aquecimento envolve rearranjos na rede cristalina dos minerais constituintes do solo. Um processo conhecido e amplamente utilizado na produção de tijolos envolvendo aquecimento é a sinterização, que tem como força motriz a redução da área superficial total das partículas. Durante este processo o material apresenta uma contração em volume e uma redução da porosidade devido à coalescência das partículas. Ocasionalmente um aumento de densidade e melhoria de sua integridade mecânica. A sinterização é processada a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão do material, portanto, as partículas do material coalescem sem se fundir.

3.7.4 Estabilização granulométrica ou fibrosa pela inclusão de inertes

Outro processo, estabilização granulométrica ou fibrosa pela inclusão de inertes, consiste no emprego de diversos tipos de fibras ou partículas, naturais ou sintéticas que atuam no material como agente de reforço. No caso de blocos de solo reforçados com fibras ou partículas o material resultante pode ser classificado como um material compósito, onde o solo é a fase matriz e a fibra ou partícula a fase dispersa, ou agente de reforço. Uma importante propriedade dos materiais compósitos é que o material resultante da interação entre fase matriz e fase dispersa apresentam propriedades físicas distintas das de seus constituintes separadamente, sendo que frequentemente as propriedades dos compósitos são favoráveis em relação às de seus constituintes.

3.7.5 Estabilização química

De acordo com Machado et al. (2005), estabilização química, refere-se às alterações produzidas na massa de um solo pela implementação de uma quantidade relativamente pequena de um aditivo destinado a conferir ao referido solo propriedades pré-determinadas, podendo processar-se pelos seguintes mecanismos: substituição das moléculas de água e cátions adsorvidos, por cátions hidrorrepelentes; estabelecimento de ligações reforçadas entre agregados de partículas pela adição de ligantes, floculação e dispersão (Silva, 1968 apud Machado et al. 2005).

Existem mais de um modo de classificação, quanto ao tipo de estabilizante químico, por exemplo, quanto ao modo de obtenção do material, que de acordo com Brazetti (1996) apud Machado (2005) podem ser naturais ou artificiais. Resinas e óleos vegetais ou minerais são encontrados naturalmente no meio ambiente, apenas sendo necessários processos de extração. Os aditivos artificiais ou sintéticos são obtidos por tratamentos de resinas naturais ou processos químicos complexos.

De maneira diferente, Fernandes (2000) apud Machado et al. (2005) divide em tradicionais e não-tradicionais os materiais mais empregados na estabilização de solos. Os autores consideram como tradicionais, o cimento, a cal e as misturas betuminosas que apresentam comprovada eficiência para diversos tipos de solo. Os não-tradicionais se dividem entre comerciais, produtos patenteados e já testados e não-comerciais que são aditivos de baixo custo obtidos a partir de resíduos sólidos ou líquidos de processos industriais.

Neste estudo, faz-se a distinção, apenas, do aspecto “tradicional” ou “não-tradicional”, independentemente do aspecto comercial ou não-comercial do segundo tipo, considerando relevante a aplicabilidade do material na confecção de adobes.

Os estabilizantes químicos atuam de acordo com diferentes mecanismos. Na estabilização química com agentes impermeabilizantes, de acordo com Mainford (1955) apud Machado et al. (2005), o agente impermeabilizante envolve as partículas do solo tornando-as hidrofóbicas; não afetando significativamente a resistência do solo quando seco, mas, permitindo que seja conservada em presença de umidade devido à redução de sua absorção de água. Lambe (1962)

apud Machado et al. (2005), descreve como mecanismo de impermeabilização das partículas de solo, o fato de uma extremidade da molécula impermeabilizante tornar-se preferencialmente adsorvida à superfície do mineral de argila e a outra extremidade da molécula, sendo hidrofóbica, repelir a água promovendo a impermeabilização do mineral do solo. Os principais tipos de impermeabilizantes são os betumes, com asfalto e alcatrão que, de acordo com Lima e Bueno (1993) apud Machado et al. (2005), em solos granulares, provocam a aglutinação entre as partículas, aumentando a parcela de coesão e, em geral uma redução do ângulo de atrito interno; em solos argilosos provoca bloqueio dos vazios, impermeabilizando o solo e mantendo o seu teor de umidade de compactação. Têm maior aplicação em pavimentação de estradas.

O agente dispersante segundo Machado (2005), aumenta a força de repulsão interpartículas do solo, pelo aumento de sua eletronegatividade ou aumentando a espessura do filme de água que envolve as partículas do solo. De acordo com Ingles (1968) apud Machado (2005), um efeito positivo sobre a compactação é a redução da quantidade de água necessária para a obtenção da massa específica máxima seca na aplicação. A repulsão elétrica entre as partículas finas mais próximas é aumentada, separando-as e desfazendo blocos argilosos que oferecem resistência à compactação. Esta repulsão permite que a densidade do solo seja elevada ao ser compactado, aumentando a resistência e diminuindo a permeabilidade promovendo, então maior estabilidade ao solo. São fosfatos, sulfonatos e versanatos e segundo Lambe (1962) apud Machado et al. (2005), são melhores descritos como auxiliar na compactação.

De acordo com Machado et al. (2005) os agentes agregantes, aglomerantes ou aglutinantes como cimento cal e silicato de sódio, promovem a coesão entre as partículas, formando ligações reforçadas entre os agregados de partículas pequenas e promovendo a formação de agregados maiores, modificando sua estrutura e favorecendo assim, ao aumento da resistência.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o cimento Portland é o aglomerante hidráulico mais usado na estabilização de solos. Os principais constituintes do cimento são os silicatos de cálcio, os aluminatos de cálcio e a gipsita adicionada para inibir a pega instantânea ocasionada pela grande reatividade dos silicatos. Esta alta reatividade se deve à presença de vazios na estrutura cristalina do cimento. As reações ocorrem no contato com a água, sendo a hidratação

dos aluminatos responsáveis pelo enrijecimento e a evolução da resistência (endurecimento) realizada pela hidratação dos silicatos sendo que estas ocorrem algumas horas após a hidratação do cimento. A hidratação dos silicatos de cálcio C_3S e C_2S , originam silicatos de cálcio hidratados de composição química variada representados por C-S-H e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$. Estes compostos preenchem o espaço ocupado pela água e pelas partículas do cimento em dissolução. A resistência da pasta é fortemente relacionada com sua porosidade, pois, somente elementos sólidos resistem a esforços sendo estes compostos os responsáveis pela resistência da pasta a esforços mecânicos.

A porosidade da pasta é distribuída entre: poros de gel ou entre camadas de C-S-H que são vazios muito pequenos e não influem na resistência; vazios capilares que representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da hidratação do cimento e poros de ar incorporado que têm forma esférica e dimensões superiores aos vazios capilares os quais podem ser decorrentes de uma má vibração do material. Os poros de ar, devido às suas grandes dimensões reduzem a resistência e aumentam a permeabilidade do material. O volume total de poros e a distribuição de tamanhos afetam a resistência da pasta. Poros de pequeno diâmetro são descritos por Mehta e Monteiro (1994) como pouco prejudiciais ao comportamento mecânico.

Existe uma região com maior porosidade e heterogeneidade localizada na porção da pasta em contato com materiais agregados graúdos (britas). Esta porosidade é decorrente da elevação da relação água/cimento na mistura em decorrência do filme de água que se forma em torno de agregados graúdos e maiores poros permitem a formação de grandes cristais de $Ca(OH)_2$ com um eixo perpendicular ao agregado, criando planos preferenciais de ruptura. A falha de aderência entre a pasta e o agregado é devido aos grandes cristais formados com superfície específica menor, o que diminui as forças de adesão (forças de Van der Waals).

O agregado miúdo (areia) tem a função de conferir aumento de volume ao material e preencher os espaços vazios localizados entre os agregados graúdos. Estes são, em geral, areias, mas pode ser pós de rochas ou resíduos agroindustriais como, casca de arroz e pó de serra. A mesma relação com a pasta de cimento ocorrente com o agregado graúdo pode ser identificada com o agregado miúdo.

A estabilização com cal é frequentemente aplicada para solos de predominância argilosa. Os resultados de estabilização dependem da natureza dos argilominerais e são melhores sob alta concentração de silicatos de alumínio, sílica e hidróxido de ferro (Ngowi, 1997 apud Ferreira et al., 2005).

Segundo Guimarães (1992) apud Ferreira et al. (2005), o cálcio, principal componente da cal, ataca quimicamente parte das argilas e até mesmo, o próprio quartzo, resultando na formação de silicatos e aluminatos hidratados de cálcio com notável capacidade cimentante. As primeiras reações envolvidas no mecanismo são de floculação/aglomeração, seguidas de trocas iônicas entre as argilas e a cal. Estas reações alteram suas propriedades geotécnicas como aumento do limite de plasticidade, diminuição do limite de liquidez e do índice de plasticidade; achatamento das curvas de compactação, com aumento do teor de umidade ótima e diminuição da massa específica aparente seca máxima; e, aumento da resistência, durabilidade e estabilidade volumétrica. Posteriormente, de acordo com Guimarães (2002) e Webb (1992) apud Ferreira et al. (2005), ocorre a formação de compostos de quartzo e simultaneamente, fenômenos de carbonatação, com o ataque ao anidrido carbônico, presente no ar e na água de infiltração, aos hidroxidados da cal.

Conforme Guimarães (1985) apud Ferreira et al. (2005), nos solos argilosos, a adição de cal provoca reações de troca iônica, mudanças das estruturas cristalinas, recarbonatações e acima de tudo, a formação de novos minerais capazes de cimentar as partículas e/ou preencher os espaços intercristalinos. Instantaneamente a cal hidratada promove aumento da alcalinidade do solo, fazendo com que parte de seus constituintes se tornem instáveis, possibilitando o ataque ao silício e ao alumínio dos minerais do solo e a recombinação desses íons com o cálcio, formando silicatos e aluminatos hidratados de cálcio, estáveis. Assim uma nova microestrutura ocupa os vazios entre os agregados, estabilizando a mistura solo-cal compactada.

De acordo com Freire (1976) apud Ferreira et al. (2005), o tratamento do solo com álcalis fortes favorece as reações do quartzo com estabilizadores alcalinos, como cal e cimento, podendo aumentar a resistência inicial entre 15 e 400%. Segundo Freidin e Erell (1995) apud Ferreira et al. (2005), o silicato de sódio (Na_2SiO_3), o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e o hidróxido de sódio (NaOH) são álcalis comumente associados ao cimento e a cal com finalidade de estabilização de solos. Como descrito por Ren e Kagi (1995) apud Ferreira et al.

(2005), o silicato de sódio é utilizado na estabilização de solos porque reage com sais solúveis de cálcio em soluções aquosas, formando silicatos de cálcio gelatinosos insolúveis. Os silicatos de cálcio hidratados são agentes cimentantes que melhoram a estabilidade do solo, preenchendo seus espaços vazios e expulsando a água do solo.

A seguir serão relatados diversos trabalhos em que alguns dos processos de estabilização descritos foram aplicados.

3.8 Tijolos de solo com estabilização térmica

3.8.1 Blocos e tijolos cerâmicos

Mitidiori Filho e Cavalheiro (1986) apud Mesa Valenciano (1999), relatam que os materiais cerâmicos têm origem na Mesopotâmia há 5000 anos a.C., quando os tijolos eram solidificados ao sol. A partir de 3000 a.C., surgiram os primeiros tijolos queimados em fornos. A primeira máquina modeladora de tijolos surgiu entre 1850 e 1860 e era movida por tração animal. Seu inventor foi Frederico Schilliceyen.

Os blocos e tijolos cerâmicos encontram-se entre os mais duráveis materiais. Apresentam boa resistência mecânica, resistência à abrasão, ao calor, à água, à agentes químicos e insetos e microrganismos. De acordo com Sabbatini (1985) apud Mesa Valenciano (1999), os blocos cerâmicos têm resistência à compressão elevada, entre 20 e 60MPa. Eles tem baixa retração na secagem, da ordem de, no máximo, 0,015% do comprimento do bloco e seu peso específico varia entre 1,4 e 2,4kgf/dm³. Os tijolos cerâmicos podem apresentar excelente durabilidade expostos à condições naturais severas; podem resistir muito bem ao fogo e sem quase nenhum risco de eflorescências. Quanto à absorção de água, os tijolos apresentam, em média 16,44% e os blocos, entre 15,02 e 17,21%. Os blocos com furos, de dimensões variadas, apresentam resistência à compressão entre 1,52 e 3,02MPa e segundo Santos e Silva (1995) apud Mesa Valenciano (1999), atendem à norma ABNT-NBR 6461 (Bloco Cerâmico para Alvenaria - Determinação da Resistência à Compressão) que tem como mínimo aceitável para blocos o valor de 1,0MPa. Os tijolos maciços apresentam, em média, 26MPa, valor que excede consideravelmente o mínimo aceitável pela norma ABNT-NBR 7170 (Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria) cujo valor mínimo aceitável é de 1,5MPa.

Os valores de resistência à compressão variam enormemente, devido a diferentes qualidades das argilas e os modos de produção. Apesar da reconhecida resistência dos materiais cerâmicos, a queima destes, na produção, apresenta um considerável consumo de energia.

3.9 Tijolos de solo com estabilização granulométrica ou fibrosa pela inclusão de inertes

Tem-se conhecimento desde o período colonial do uso de diferentes materiais para a estabilização de adobes, como capim-gordura, palha, esterco de animais, pêlos de animais, pó de serra, seixos rolados entre outros. Porém, na maioria destes casos só se tinha dados empíricos quanto à melhoria das propriedades físicas dos adobes. Pode-se perceber na prática, que o comportamento de fratura na flexão de um adobe comum é do tipo frágil enquanto a fratura do adobe estabilizado com fibras é distintamente mais dúctil. Sabe-se também que devido ao apodrecimento das fibras vegetais usadas em adobe, a resistência deste diminui consideravelmente, além de aumentar a absorção de água. Modernamente vêm sendo estudadas diversas incorporações nos blocos de solo buscando a melhoria de suas propriedades.

3.9.1 Blocos de solo reforçados com fibras de coco e fibras de sisal

Toledo Filho et al. (1990) apud Mesa Valenciano (1999) adicionaram 4% de fibras de coco e 4% de fibras de sisal em peso, em blocos cilíndricos de três tipos de solo, que foram submetidos à compressão simples, com medidas de deformações.

As fibras foram submetidas a um tratamento impermeabilizantes utilizando produtos líquidos piche e cipla. As fibras foram deixadas a secar por dois dias antes do mergulhamento por segundos nos impermeabilizantes. Posteriormente as fibras foram pesadas depois de mergulhadas em água potável. Eles concluíram que a resistência à tração das fibras de sisal é muito maior e sua deformação na ruptura muito menor que das fibras de coco. Quanto à absorção da água, a das fibras de sisal é muito maior que a das fibras de coco. O produto piche se mostrou melhor que cipla como impermeabilizante. A incorporação de fibras vegetais melhorou sensivelmente as características de ruptura dos adobes. Para o solo com fibras de coco a tensão máxima foi em torno de 2,2MPa, e para solo reforçado com fibras de sisal a tensão máxima ficou próxima de 2,6MPa.

3.9.2 Blocos de solo com fibras e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

Mesa Valenciano (1999) estudou o efeito da adição de fibras e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar a dois diferentes tipos de solo, um arenoso e outro argiloso melhorados com 3% de cimento. As características mecânicas dos tijolos foram determinadas em laboratório. As fibras e as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar passaram por tratamentos prévios. Após definidos os teores de fibra na mistura de solo-cimento-fibra, estas foram submetidas à compactação, compressão simples e absorção de água. Foram estudadas diferentes combinações de cimento-cinza e determinadas para cada uma a consistência normal, a resistência a compressão simples aos 7 e 28 dias. As misturas com cinza foram submetidas aos mesmos ensaios que as misturas com fibra. Posteriormente foram produzidos tijolos com diferentes misturas de solo-cimento-fibra e de solo-cimento-cinza que foram curados ao ar livre e à sombra. Foram submetidos a ensaio de compressão aos 7, 28 e 60 dias e ainda submetidos a ensaios de absorção de água.

A autora concluiu que tijolos moldados com misturas de solo-cimento-fibra apresentaram baixos valores de resistência e altos valores de absorção de água. A incorporação de até 20% de cinzas na mistura produziu pouco ou nenhum efeito na resistência e na absorção de água dos tijolos de solo-cimento-cinza. Os tijolos de solo-cimento-fibra apresentaram baixa resistência e altos valores de absorção de água se comparados com tijolos de solo-cimento.

3.9.3 Tijolos reforçados com palha, fibras plásticas e polietileno fabril

No estudo de Binici et al. (2004) buscou-se um material com alta resistência à compressão, resistente a terremotos. Para isto, trabalharam com blocos de solo laterítico de dimensão 15 x 15 x 15cm e outros, reforçados com palha muito disponível no verão da Turquia, fibras plásticas e polietileno residual da indústria têxtil.

Os blocos foram moldados em três camadas de solo separadas por duas camadas de fibra de tamanhos equivalentes. O solo foi estabilizado com cal, gesso, cimento e *pumice* basáltico (rocha vulcânica do período terciário e quaternário) chamadas de “trass” pela indústria cimenteira e que é muito abundante no sul da Turquia. Suas propriedades cimentantes ainda não estão completamente estabelecidas. Os adobes foram submetidos à compressão, absorção de água e perda de peso após 7 dias. Dos resultados puderam concluir que os blocos de solo

reforçados com fibras atendem aos requisitos de resistência à compressão da norma norte-americana e norma da Turquia. Fibras dispostas em camadas aumentam a resistência à compressão. Blocos de solo reforçados com fibras reduzem o “peso morto” e custos de manejo de materiais para moradias em consideração à alta resistência a compressão. Esta classe de blocos de solo pode ser moldado de várias formas e tamanhos dependendo da necessidade, rendendo a este eficiência como material de construção. Vale ressaltar que o valor estabelecido pela Norma da Turquia para blocos tradicionais é de $0,5\text{N/mm}^2$ e os blocos deste estudo apresentaram valores entre 3,7 e $7,1\text{N/mm}^2$ garantindo a estes atendimento ao objetivo proposto.

3.10 Blocos e tijolos de solo estabilizados com aditivos químicos tradicionais

3.10.1 Tijolos de solo-cimento

Tijolo de solo-cimento é definido como a mistura de solo pulverizado, cimento Portland e água, que sob compactação a um teor de umidade ótima, forma um material estruturalmente resistente, estável e de baixo custo (Freire, 1976 apud Dallacort et al., 2002).

Segundo Barbosa et al. (1997), seu uso no Brasil teve início em 1936. Hoje vem sendo ampliada sua aplicação em construções populares.

Como relata Mesa Valenciano (1999), o assentamento e o revestimento deste material com argamassas tradicionais devem ser executados com cuidados, devido às características de absorção de água e variações dimensionais.

De acordo com a ABCP (1985) apud Mesa Valenciano (1999), tijolos de solo-cimento apresentam vantagens como; produção com solo local nos canteiros de obra; espessura mínima e uniforme da argamassa de assentamento e revestimento; dispensam o revestimento, se devidamente protegidos da água e sua produção apresenta baixo consumo de energia (principalmente por não haver queima).

Para a ACBP (1985) apud Mesa Valenciano (1999), os solos mais adequados à sua produção têm 100% do material passando na peneira 4,8mm (nº. 4)³; 10 a 50% passando na peneira 0,075mm (nº. 200); Limite de liquidez $\leq 4,5\%$; Índice de plasticidade $\leq 18\%$.

Tijolos de solo-cimento devem ser prensados, curados por 7 dias à sombra e ensaiados de acordo com a norma NBR 08492 (tijolo maciço de solo-cimento. Determinação da resistência à compressão) da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT para determinação da resistência à compressão e absorção de água. É estabelecido como valor mínimo, para a média de valores de resistência à compressão, 2,0MPa, com a idade mínima de 7 dias, sendo que nenhum valor individual deve ser inferior a 1,7MPa; a média dos valores de absorção de água não deve ser maior que 20% de seu volume e nenhum valor individual deve ser superior a 22%. São condições específicas para aceitação do material registradas na norma ABNT-NBR 8491 (Tijolo maciço de solo-cimento).

Assis (1995) apud Mesa Valenciano (1999) descreveu a fabricação de blocos de solo-cimento com encaixes especiais do tipo “macho-fêmea” que permitem o assentamento dos mesmos, sem a utilização de argamassa. Sendo estes nomeados “Tijolitos”.

3.10.2 Blocos e tijolos de solo-cal

Tijolos foram moldados em prensa manual com amostras de solos e tratados com diferentes teores de cales cálcica e dolomítica por Picchi et al. (1987) apud Mesa Valenciano (1999).

Os tijolos foram submetidos a dois processos diferentes de cura (cura úmida a 25°C e cura térmica a 40°C) e posteriormente ensaiados em laboratório. Dos resultados os autores concluíram que em ambos os tipos de cura a cal cálcica manteve resultados superiores; a cura úmida mostrou-se melhor para ambos os tipos de cal; a resistência do tijolo cresce com o teor da cal, mas apresenta um pico em 10%, para tempo de cura igual a 28 dias; a absorção de água diminui ligeiramente com o teor de cal e com curas úmidas e térmicas; baixa variação dimensional, possibilitando bom comportamento na execução da alvenaria.

³ As medidas das malhas das peneiras são estabelecidas pela norma ABNT-NBR 5734.

Guimarães (1985) apud Mesa Valenciano (1999) visando à fabricação de tijolos de solo-cal moldados em prensa manual, com teor de umidade superior à ótima de compactação, pesquisou a adição de 10% de cales cálcica e magnésiana a um solo laterítico. Após prensagem os tijolos foram curados ao abrigo de chuvas intensas por três dias e por sete dias expostos às intempéries, sendo umedecidos uma vez por dia. Foram construídos painéis de tijolos solo-cal magnésiana de $1,40 \times 0,45 \times 2,10\text{m}^3$, assentados com argamassa mista de traço 1: 2: 9 e revestidos das seguintes formas: pintura com nata de cimento; pintura com tinta látex; chapisco com argamassa mista traço 1: 1: 6; revestimento com argamassa mista de traço 1: 2: 9. Os painéis, quando expostos às intempéries não apresentaram defeitos mesmo quatro anos após sua execução com ou sem revestimento. Os tijolos apresentaram resistências à compressão da ordem de 8,6-9,4-20,7kgf/cm² (0,86-0,94-2,07MPa), respectivamente aos 30-120-180 dias de idade, para a série cálcica com 10% de cal hidratada e resistência de 6,9 a 18,0kgf/cm² (0,69 a 1,80MPa), para as mesmas idades para a série magnésiana com 10% de cal hidratada.

O custo do tijolo solo-cal foi avaliado por Guimarães (1985) apud Mesa Valenciano (1999) como pouco mais que a metade do custo do tijolo cerâmico cozido. Dado que os tijolos de solo-cal sofreram apenas os encargos referentes à coleta do solo, aquisição ou preparo da cal hidratada, mistura, moldagem e cura.

3.10.3 Blocos de solo, cal e silicato de sódio

No trabalho de Ferreira et al. (2005) estudou-se o efeito da incorporação ao solo de estabilizantes químicos (cal e silicato de sódio) nas propriedades mecânicas de um solo argiloso, visando a sua aplicação em construções rurais. Os teores de cal foram 0% (testemunhas), 6% e 10% e a dosagem de silicato de sódio foi de 4%. O solo foi submetido à caracterização quanto à granulometria, limite de liquidez massa específica. Os corpos de prova cilíndricos foram moldados com 127mm de altura por 100mm de diâmetro, curados em câmara úmida por 7, 28 e 56 dias. Os autores concluíram que o silicato de sódio afeta o comportamento mecânico do solo estudado promovendo ganhos consideráveis na sua resistência à compressão simples. Observaram também que os maiores valores de resistência à compressão simples são obtidos em corpos de prova com 56 dias de cura, tratados com 10% de cal e 4% de silicato de sódio. Apenas este tratamento atingiu o valor mínimo de resistência à compressão simples normatizado para tijolos prensados de solo-cimento (ABNT-NBR

8491); todos os tratamentos promovem valores de capacidade de absorção de água superiores aos estipulados pela norma, sugerindo a busca de novas estratégias para a melhoria do comportamento do solo de classe textural argilosa frente à ação de água. Solos semelhantes ao estudado, desde que tratados com cal, associada ao silicato de sódio, podem ser promissores ao atendimento de demandas por tecnologias de baixo custo, associadas ao uso de solos estabilizados físico-quimicamente para fins de construções rurais.

Ferreira et al. (2005) consideram que os resultados sugerem uma aplicação promissora do silicato de sódio com vistas à melhoria das propriedades físico-mecânicas relacionadas às resistências e à durabilidade de solos destinados às construções rurais.

Ferreira e Freire (2004) avaliaram a eficiência da estabilização do solo e a qualidade de tijolos prensados de terra crua tratada com os aditivos químicos, cimento, cal e silicato de sódio, pela combinação de testes destrutivos (ensaio de resistência à compressão simples) e testes não-destrutivos (ensaio acústico de ultra-som). Os autores relatam que além dos testes destrutivos algumas caracterizações podem ser realizadas pelo método acústico do ultra-som e que para concreto e madeira este método vem sendo utilizado há vários anos para determinação de parâmetros como resistência à compressão simples e módulo de elasticidade dinâmico (Beraldo, 2002 apud Ferreira e Freire, 2004)

Os autores relatam que o método é baseado na introdução de ondas ultra-sônicas por meio de pulsos periódicos, usando um transdutor (emissor) acoplado à superfície do material. Após a propagação da onda através do material, a mesma é coletada por outro transdutor (receptor). O tempo em micro-segundos decorrido da emissão à recepção é então medido, obtendo-se a velocidade (m/s). Para Cultrone et al. (2001) apud Ferreira e Freire (2004), a velocidade da onda, ou pulso ultra-sônico em tijolos, é influenciada pela composição mineralógica, estrutura cristalina, massa específica aparente e teor de água. Já para Qasrwi (2002) apud Ferreira e Freire (2004), a presença de vazios, fissuras e rachaduras promovem a queda na velocidade como resultado da absorção e dispersão do pulso ultra-sônico. Determinada a velocidade, pode-se ter idéia sobre a qualidade, uniformidade e resistência do material. Um dos parâmetros usados para análise é a resistência anisotrópica do material. Os autores chegaram as seguintes conclusões:

Os efeitos dos fatores, tipo de solo, adições químicas e período de cura, bem como suas interações, proporcionaram diferenças significativas nos valores de resistência anisotrópica dos tijolos; Em geral, os tijolos arenosos foram menos anisotrópicos que os siltosos, efeito devido à maior porosidade dos tijolos siltosos. Porém a baixa anisotropia dos tijolos arenosos não confirmou sua melhor qualidade técnica, visto que seus valores foram baixos;

A qualidade dos tijolos pode ser avaliada mediante a combinação dos efeitos do estresse mecânico e da estrutura anisotrópica dos mesmos, e confirma a “resistência anisotrópica” como um parâmetro quantitativo viável para uso no controle e na avaliação da qualidade de tijolos de terra crua estabilizada quimicamente.

3.11 Blocos e tijolos de solo estabilizados com aditivos químicos não-tradicionais

3.11.1 Blocos de solo-cimento com substituição parcial do cimento por resíduo cerâmico moído

Dallacort et al. (2002) realizaram ensaios em 81 corpos de prova cilíndricos do material solo-cimento-resíduo cerâmico moído à compressão. Em uma programação fatorial, três variáveis foram selecionadas: o teor de material ligante (cimento + resíduo cerâmico), a umidade do solo e o teor de resíduo cerâmico adicionado. Foi apresentado um estudo estatístico por análise de variância da massa específica do material e da resistência à compressão.

Assim como em outros estudos, que substituem parcialmente o cimento por diversas adições como cinzas de casca de arroz, sílica ativa metacaulinita e cinzas volantes, entre outras (Rolim e Freire, 1998; Akasaki e Silva, 2001; Farias Filho et al., 2001 apud Dallacort et al., 2002), observou-se que essas adições minerais possuem alguma sílica e alumínio em forma amorfa. Estes, na presença de água podem combinar-se quimicamente com a cal oriunda da hidratação do cimento, para formar compostos semelhantes aos silicatos e aluminatos de cálcio hidratado. Este fato tem sido explorado para a melhoria das propriedades mecânicas dos solos estabilizados e para diminuir a alcalinidade dos solos quando se utilizam fibras naturais. Outra adição usada no cimento como o pó de calcário moído não possui reatividade em presença de água, porém, devido à finura, seus grãos podem preencher os vazios entre as partículas maiores do cimento aumentando a compacidade do solo e conseqüentemente sua

resistência. Este fenômeno chama-se “efeito fíler” (ou filler). Outro fator favorável à utilização de adições minerais é que, em sua maioria são resíduos ou subprodutos industriais.

O resíduo cerâmico proveniente de olarias e da construção civil se enquadra neste grupo de materiais (Ay e Ünal, 2000 apud Dallacort et al., 2002). No Brasil enormes quantidades deste material são rejeitadas. A maioria das argilas usadas na fabricação de materiais cerâmicos, em estado natural tem uma pequena reatividade, mas, quando calcinado entre 700 e 900°C tornam-se mais reativas. O tratamento térmico destrói a estrutura cristalina e a transforma em uma estrutura silico-aluminosa amorfa, que físico-quimicamente atende as normas internacionais para uso como adição mineral em mistura de cimento Portland. Dallacort et al. (2002) investigaram o comportamento à compressão do solo estabilizado com cimento, do qual, parte foi substituída por resíduos cerâmicos finamente pulverizados. Dos resultados obtidos, os autores puderam chegar às conclusões seguintes:

Os resíduos de material cerâmico moído apresentaram reatividade e efeito fíler. Foram obtidas resistências superiores a 2MPa, com substituições de até 57%, para um teor de material ligante de 8%;

As curvas de superfícies obtidas das variações de massa específica e da resistência do solo estabilizado podem ser utilizadas para estimativa de proporções ótimas. Com relação às variáveis estudadas, foram obtidas curvas e foram utilizadas para obtenção de proporções ótimas para fabricação de blocos de solo-cimento, com o solo em questão.

Também concluíram os autores que substituições de 25 e 57% do teor de material cerâmico podem produzir blocos de solo-cimento com resistências superiores a 2MPa com teor de material ligante de 6% e 8% respectivamente.

3.11.2 Compósitos para construções com aproveitamento de cinzas de cama sobreposta de suínos e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

No estudo apresentado por Zardo et al. (2005) caracterizaram-se cinzas de cama sobreposta de suínos, produzidas por calcinação em mufla a 600°C por duas horas e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, coletados diretamente das caldeiras da usina de cana-de-açúcar com incineração realizada sem controle, com temperatura em torno de 1000°C. Ambos os

materiais foram moídos em moinho com cargas esféricas por duas horas. Foram realizados ensaios para avaliação da reatividade e da composição de óxidos.

A reatividade das amostras das cinzas de cama foram notadamente superiores. A reatividade das cinzas de bagaço de cana ficou abaixo do limite mínimo sugerido pela norma. A sílica encontrada na cinza de bagaço encontra-se na forma de cristais e apresenta baixa superfície específica, diferindo estatisticamente da cama. A soma dos percentuais dos compostos: SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 , para as cinzas de cama é de 70,28%.

Os autores concluíram que, com a busca da sustentabilidade ambiental pelo aproveitamento de resíduos gerados, torna viável a utilização de tais resíduos em construções. As cinzas de cama sobreposta de suínos podem ser utilizadas como material alternativo para substituição do cimento Portland, enquanto que, as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar apenas como filer em compósitos.

Kawabata (2004) pesquisou a utilização de resíduos como cama de frango, bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz em compósitos fibrosos para construções rurais, referindo-se a material “fibrocimento”. Nestes últimos estudos (Kawabata, 2004; Zardo et al., 2005) tratou-se de caracterização de materiais com uso potencial como adição em ligantes ou filer, o que os tornam potenciais aditivos químicos para estabilização de solos, ainda que, não se tenham encontrado referências na literatura.

3.11.3 Tijolos de solo-vinhaça concentrada

A vinhaça obtida como subproduto da produção de álcool se caracteriza por um resíduo líquido e apresenta qualidades para diversas aplicações, como fertirrigação e arraçoamento animal, mas, na condição líquida, segundo Rolim (1996), apresenta problemas para algumas aplicações, devido à baixa concentração de sólidos totais (5% em média). Como alternativa, obtém-se a vinhaça concentrada que, embora implique em grande consumo de energia, pode ser usada como agente aglutinante do solo, com efeitos positivos sobre sua resistência mecânica. O objetivo de seu trabalho foi o desenvolvimento de tijolos solo-vinhaça concentrada como alternativa aos tijolos cerâmicos. Segundo Umbert (s/d) apud Rolim (1996) a vinhaça “in natura” apresenta a seguinte composição: 95% de água e 5% de matéria seca, da qual, a orgânica representa 82% e a mineral, 18%.

Existem tecnologias para a concentração da vinhaça, que como relatam os trabalhos de Zezza Neto (1977); Hullet (1980); Rittner (1980) e Berdaguer (1979) apud Rolim (1996) no qual, do processo se obtém a vinhaça em pó.

Diversos tipos de solo tratados com vinhaça concentrada foram analisados quanto as suas propriedades físicas como limite de liquidez, índice de plasticidade, peso específico aparente seco máximo, umidade ótima correspondente e resistência à compressão simples (Camargo, 1988; Freire e Aguiar, 1993 apud Rolim, 1996). De modo geral, Aguiar (1992) apud Rolim (1996) concluiu que, apenas o solo areno-argiloso mostrou-se viável ao tratamento com vinhaça concentrada, assim como, encontrou resultados semelhantes aos de Valsecchi e Gomes (1954) apud Rolim (1996) no qual, verificaram que a adição de vinhaça, não apenas, aumentava o pH do solo, mas também, a capacidade de troca catiônica e a soma de bases.

A aplicação da vinhaça ao solo provoca um acréscimo no teor de matéria orgânica que propicia uma melhor estruturação (a mucilagem excretada pelos microrganismos do solo atua como agente cimentante das partículas do solo, formando agregados estáveis), favorecendo com isto, uma melhor circulação de água e ar, reduzindo também, a susceptibilidade à erosão (Ferreira e Monteiro, 1987 apud Rolim, 1996).

Em estudo do efeito da vinhaça “in natura” e biodigerida nas propriedades de um determinado solo, comparando um ecossistema natural e outro cultivado com cana-de-açúcar realizado por Longo (1994) apud Rolim (1996) a autora constatou que, com a introdução da cultura e aplicação dos tratamentos houve aumento da estabilidade dos agregados, concluindo que, no caso da vinhaça biodigerida que apresenta teor de matéria orgânica menor que a “in natura” os seus efeitos foram menos marcantes.

O efeito da matéria orgânica no solo como agente aglutinador, tem sido observado, havendo forte indicação de que a matéria orgânica conduz à formação dos agregados estáveis. Baver et al. (1973) apud Rolim (1996) afirmaram que este efeito é mais notável em solos que contêm pequenas quantidades de argila (menos de 25%) e concluíram que a argila e os colóides orgânicos causam a maior parte da agregação do solo, o que sugere a possibilidade da existência de interação entre a matéria coloidal mineral e a orgânica, formando complexos

argilosos orgânicos. A incorporação da matéria orgânica no solo traz à cena a ação dos microrganismos do solo, a qual se intensifica após sua incorporação.

Como efeito da formação de agregados estáveis tem-se a ação de união mecânica das células e os filamentos dos organismos; cimentação dos produtos derivados da síntese microbiana e ação estabilizadora dos produtos da decomposição que atuam individualmente ou em combinação.

A relação entre a agregação e a matéria orgânica do solo é um processo dinâmico, segundo Baver et al. (1973) apud Rolim (1996), os agentes cimentantes que se formam a partir da degradação da matéria orgânica estabilizam os grãos e logo se decompõem, tornando os agregados menos estáveis. Por sua vez, os autores citaram que os polissacarídeos e compostos similares estão sujeitos a uma lenta transformação biológica, diminuindo a taxa de decomposição da matéria orgânica e aumentando o efeito do tempo na estabilidade dos agregados.

Rolim (1996) estudou as características físico-mecânicas do solo-vinhaça concentrada a 19% de sólidos totais, com objetivo de aplicação na fabricação de tijolos. Foram utilizados para tal, dois tipos de solo. Um solo arenoso e outro argiloso tratados com 0%(Testemunhas), 12%, 16% e 20% de vinhaça concentrada. Foram moldados corpos de prova cilíndricos e ensaiados para determinação da resistência à compressão simples aos 7, 30 e 90 dias. Com a análise dos resultados obtidos, foi escolhida a dose de 12% de vinhaça concentrada para a confecção dos tijolos de solo-vinhaça. Dos resultados dos ensaios de resistência à compressão dos tijolos, determinaram-se as médias para tijolos de solo arenoso-vinhaça concentrada e para tijolos de solo argiloso-vinhaça concentrada. Os resultados obtidos permitiram ao autor concluir que, independentemente do tipo de solo estudado, todos os tratamentos com vinhaça concentrada reduziram os valores do limite de liquidez e de plasticidade em relação à testemunha, sendo que o solo argiloso apresentou sempre maiores valores de limites de liquidez e de plasticidade que o solo arenoso; aumentaram os valores da porcentagem acumulada de agregados e do módulo de finura, em relação à testemunha, não se constatando diferença estatística entre ambos, assim como, entre as doses de vinhaça aplicadas. O tratamento com vinhaça concentrada promoveu intensa agregação das partículas e agregados primários de ambos os solos, conferindo-lhes estabilidade e resistência à demolição mecânica, expressa através da porcentagem acumulada de agregados em peneira de 0,25mm e do módulo de finura. O

tratamento aumentou significativamente o valor da resistência à compressão simples do material solo-vinhaça aos 7, 30 e 90 dias de idade.

O solo arenoso respondeu melhor ao tratamento que o solo argiloso quanto à resistência à compressão simples, sendo os valores da média para solo arenoso-vinhaça concentrada de 1,92MPa e para solo argiloso-vinhaça concentrada 1,72MPa. Ambos os valores ficaram abaixo dos especificados para o solo-cimento (2,0MPa).

O autor esclareceu que não foi possível a aplicação do ensaio de absorção de água aos tijolos de solo-vinhaça concentrada, porque estes se desmancharam poucas horas após sua imersão total em água e a aplicação de produtos impermeabilizantes em pintura superficial não foi suficiente para garantir aos tijolos total impermeabilização. Portanto, concluiu que o uso de tijolos de solo-vinhaça concentrada pode ser recomendado para ambientes protegidos ou paredes revestidas e tratadas com produtos hidrofugantes.

3.11.4 Tijolos de solo-melaço de cana-de-açúcar

Conforme relata Machado et al. (2005), o melaço de cana-de-açúcar é matéria-prima para a produção de álcool, por ser, constituído, em sua maior parte, por açúcares fermentescíveis e contem outros constituintes inorgânicos e produtos resinosos, que o tornam impróprio para o consumo humano. Segundo Silva (1968) apud Machado et al. (2005), aparentemente, o melaço apresenta-se como estabilizante devido à sua propriedade de retenção de água determinada pela higroscopicidade do açúcar. Esta higroscopicidade promove uma quebra nas tensões de vapor nos poros dos solos, que resulta em aumento na coesão aparente, provocado pelo aumento na tensão superficial. Silva (1968) apud Machado et al. (2005) cita trabalho sobre o efeito do melaço em propriedades de um solo saibroso, de predominância montmorilonítica, no qual as seguintes alterações foram observadas:

Aumento do peso específico seco máximo e diminuição do teor ótimo de umidade, sendo que a máxima compactidade correspondeu a 1% de aditivo. Os valores para teores de 0,5 e 1,5% não se diferenciaram muito.

Aumento do limite de liquidez e manutenção do limite de plasticidade, resultando em aumento do índice de plasticidade de 80%, efeito este, justificado pela consistência pastosa do material melação.

A aplicação do melação de cana-de-açúcar como estabilizante de solos para confecção de tijolos pode apresentar restrições, devido ao ataque de fungos e à alta solubilidade do açúcar, apesar de que, medidas de prevenção à ação da água são necessárias em construções com solo.

3.11.5 Estabilização solo-lignina

Como subproduto da indústria da celulose, a lignina pode se apresentar viável como um estabilizante de baixo custo para estabilização de solos, pois em algumas regiões brasileiras existe grande disponibilidade deste material. Alcântara (1995) apud Machado et al. (2005) apresentou a molécula da lignina como um componente ativo, a partir de sua estrutura com grupos hidroxílicos e carbônicos, com afinidade à superfície da sílica e sujeita a formar ligações fortes com as partículas do solo. O autor afirma que existe uma forma mais eficiente para este estabilizante, conhecida com cromo-lignina sendo esta uma mistura ajustada de modo adequado de dicromato de potássio em material contendo lignina. Considera-se o íon cromato bastante efetivo no fortalecimento da ligação entre as superfícies das partículas de argila e as moléculas de lignina. De modo geral, o autor, se refere ao mecanismo de estabilização pela ação conjunta de cimentação, ligada à ocorrência de um gel polimérico que forma películas ligantes entre as partículas de solo; e ação dispersante de grupos polianiónicos adsorvíveis pelas superfícies das partículas. O material resultante apresenta-se muito sensível à lixiviação devido à solubilidade do gel; pouco permeável com reduções na sensibilidade à água; mais compacto que o solo não tratado devido ao deslocamento dos finos para os vazios deixados pelos grãos mais grosseiros; mais coeso, devido ao aumento de superfície efetiva do ligante argiloso. Alcântara (1995) apud Machado et al. (2005), cita que o tratamento do material e as reaplicações necessárias devido às perdas por lixiviação, quando aplicado em estradas, podem onerar os custos. Porém, não se fez referência quanto à aplicação na produção de tijolos de solo.

3.11.6 Uso de amido como estabilizante

Aplicações de matérias primas amiláceas são muito antigas podendo ser encontradas em tiras de papiro egípcio datados entre 4000-3500 anos a.C., as quais, eram coladas entre si com pasta adesiva obtida do amido.

Tem-se conhecimento da utilização do amido de diversas fontes botânicas como aglomerante para várias aplicações na indústria farmacêutica; na metalurgia para produção de moldes para fundição, na produção de briquetes de materiais finos de minérios, briquetes de carvão vegetal e como adesivos na indústria de papel e papelão e indústria têxtil.

O amido, depois dos açúcares mais simples (sacarose, glicose, maltose) é o principal carboidrato que os vegetais superiores sintetizam a partir da fotossíntese. Como matérias-primas para extração de amido encontram-se raízes e tubérculos como mandioca e batata e cereais como milho e arroz.

No Brasil a produção anual total de amido (nativos, modificados e hidrolizados) atinge pouco acima de um milhão de toneladas, sendo que o setor alimentar consome 69,0%, em segundo lugar à indústria papelreira com 16,7% e a indústria têxtil com 5,0%. Outras aplicações consomem 77 mil toneladas de amido nativo no Brasil. (Cereda M. P. Org, 2002)

De acordo com Bermudez (1997) apud Cereda M.P.Org., (2002), dentre as diversas fontes botânicas a mandioca (*Manihot esculenta*) apresenta 40,6% de matéria seca, podendo o restante ser considerado água. Desta quantidade de matéria seca a mandioca, segundo Cereda et al. (1990), apresenta elevado teor de amido, 83,50%, caracterizando a mandioca como uma tuberosa amilácea com elevado potencial para extração de amido para diversas aplicações.

O amido é um polissacarídeo de α -D-glicose (Figura 3.13) e se apresenta como grânulos compostos por parte cristalina e parte amorfa, de forma e tamanhos variando de acordo com a fonte botânica.

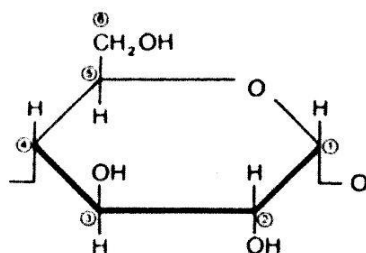


Figura 3.13 – Molécula de Glicose

Adaptado de Swinkels, (1985) apud Cereda M.P.Org., (2002)

É composto por dois tipos de macromoléculas: amilose e amilopectina (Figura 3.14). A proporção entre estas duas macromoléculas também variam com a fonte botânica e conferem muitas das propriedades funcionais dos amidos.

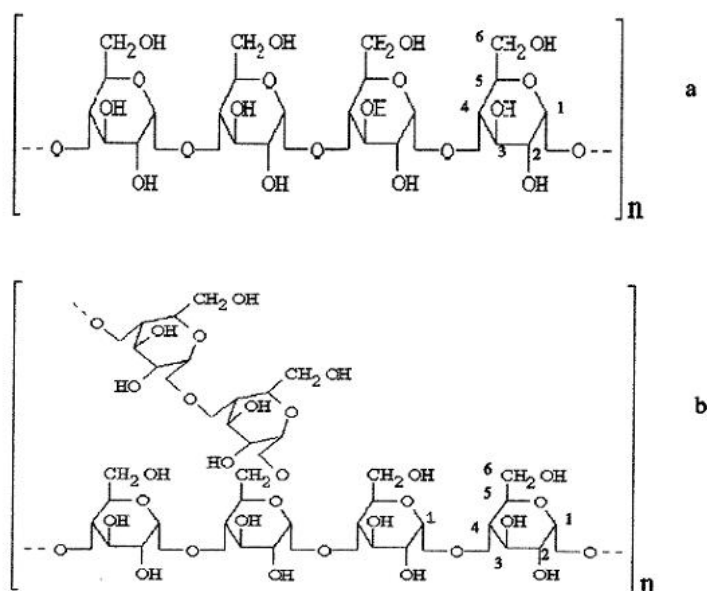


Figura 3.14 – (a) Amilose e (b) Amilopectina

Adaptado de Wurzburg (1986b) apud Cereda M.P.Org., (2002)

Os amidos nativos em temperatura ambiente são insolúveis em água fria e as propriedades funcionais dos amidos são evidenciadas por alterações estruturais causadas pelas reações hidrotérmicas entre os grânulos de amido e a água em variações de temperatura entre 30 e 200°C. A capacidade de hidratação do grânulo é medida pelo grau de inchamento e como consequência direta do poder de inchamento tem-se o aumento na solubilidade, claridade e viscosidade da pasta de amido (Ciacco & Cruz, 1982 apud Cereda M.P.Org., 2002), Com o inchamento dos grânulos e a solubilização da amilose e amilopectina, ocorre a gradual perda

da integridade granular com a geração de uma pasta viscosa. Este processo é denominado de gelatinização e a determinação da temperatura de gelatinização para amidos de diferentes fontes botânicas é muito importante para aplicações industriais dos amidos.

Outra propriedade funcional ocorrente nos amidos é a retrogradação. Como definido por Atwell et al. (1988) apud Cereda M.P.Org., (2002), a retrogradação se processa quando as moléculas de amido gelatinizadas começam a se reassociar proporcionando uma estrutura mais ordenada, conferindo ao amido o retorno à sua condição de insolubilidade em água fria.

As mudanças ocorridas durante a gelatinização e retrogradação são determinantes no comportamento das pastas de amido que é medido pela variação da viscosidade em função da variação de temperatura e do tempo. Para Cereda (1995) apud Cereda M.P.Org., (2002), as características de viscoelasticidade determinam as potencialidades do uso do amido. Os amidos de cereais caracterizam-se por serem mais consistentes, pouco viscosos e opacos enquanto os amidos de tuberosas são pouco consistentes, muito viscosos e translúcidos ou transparentes.

Outra propriedade funcional dos amidos é a geleificação que de acordo com Mestres (1996) apud Cereda M.P.Org., (2002), é um processo que ocorre durante o resfriamento e o armazenamento da pasta. Um gel tem estrutura oposta a de uma solução. Na solução só existe uma fase presente, a do solvente em que o polímero encontra-se dissolvido. Já no gel a fase contínua é o polímero formando uma estrutura em forma de rede tridimensional, em cuja malha encontra-se o solvente como fase dispersa. São as propriedades mecânicas desta estrutura de rede que conferem as propriedades viscoelásticas do gel. A geleificação ocorre em duas etapas: Separação de fases e cristalização ou retrogradação. A Separação de fases trata da agregação das moléculas dos polímeros que irão formar uma rede tridimensional. Na fase de retrogradação as cadeias do polímero que se encontram agregadas no gel, segundo Cereda M.P.Org., (2002), se alinham para formar os cristais.

Não se deve confundir a gelatinização que é a perda da estrutura cristalina em pequeno intervalo de temperatura, com a geleificação que ocorre em um intervalo mais longo de temperatura.

Existem, ainda, outras propriedades funcionais como: a transparência da pasta que tem relação, além de outros fatores, com o teor de amilose do amido. Maiores teores apresentam pastas mais opacas; a dextrinização trata da formação de dextrina que é uma massa de cor amarela solúvel em água obtida pelo aquecimento do amido granular a 160°C. A dextrinização é completa a 200°C e acima desta temperatura ocorre a decomposição do amido; a hidrólise do amido cujo processo químico se dá por desdobramento total das moléculas de amilose e amilopectina que, como relata Cereda M.P.Org., (2002), ao se romperem formam dextrinas cada vez mais simples e posteriormente, glicoses.

Algumas propriedades funcionais do amido foram utilizadas em diversas aplicações como na “Obtenção de Cerâmica Porosa a partir da Técnica de Conformação Direta com Amido Comercial”. Conforme relatado por Almeida et al. (s/d), cerâmicas porosas têm aplicações como isolantes térmicos, filtros membranas, materiais para implantes ósseos e outros. Devido à propriedade de formação de gel em água, foi possível o uso de amido como agente conformador e formador de poros na conformação de materiais porosos, permitindo controle da porosidade final, tendo estes poros o formato inicial dos grãos de amido, levando em consideração seu inchamento em meio aquoso. As suspensões coloidais foram preparadas com alumina A-1000, amido de mandioca comercial em pó e defloculante. Para formação na matriz cerâmica, de poros de maiores dimensões, antes da etapa de gelatinização foram adicionadas às suspensões, esferas de poliestireno expandido. Posteriormente, os corpos verdes foram postos à secagem em temperatura ambiente por 96 horas e em estufa por 2 horas à 105°C. Em seguida foram submetidos à pré-sinterização para a eliminação de materiais voláteis e sinterizados por 2 horas a 1400°C. A densidade e porosidade aparente foram calculadas por método de Arquimedes e a caracterização realizada por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Também pôde ser verificado o uso de amido como estabilizante em trabalho de Cantelmo O.A. et al. (2002) em que se observaram “Características físicas de Dietas para Peixes Confeccionadas com Diferentes Aglutinantes”. O objetivo foi avaliar através da estabilidade física do pélete, a eficiência de diferentes aglutinantes a seco e na água. Avaliaram-se duas técnicas de processamento: com ou sem vapor e seis tipos de aglutinantes: carboximetilcelulose, plimetilcarbamida, amido de mandioca, alginato de sódio, polivinilpirrolidona e goma guar, por meio da análise de variância no esquema fatorial (2x6), além de controle com acréscimo de aglutinante. Os autores concluíram que independente da

técnica de processamento, o aglutinante apresentou melhora significativa na resistência física do grânulo; que o vapor determinou grânulos mais estáveis em contato com a água. O alginato de sódio, em ambas as técnicas, proporcionou grânulos mais estáveis fisicamente e a goma guar a pior estabilidade.

No trabalho de Fontes et al. (1984), os autores descrevem a aplicação dos aglomerantes no processo de briquetagem de material fino de carvão vegetal e a atuação de diferentes tipos de aglomerantes quanto às interações ocorridas entre esses tipos de aglutinantes e os finos de carvão vegetal, dentre estes, verifica-se, também, a utilização de amido.

Messman e Tibbetts apud Fontes et al. (1984) afirmam que os aglomerantes são materiais essenciais para auxiliar a briquetagem econômica. Teoricamente, alguns materiais sólidos podem ser compactados sem aglutinantes se forem aplicadas altas pressões. De acordo com Saleme (s/d) apud Fontes et al (1984), o ligante deve se comportar como um simples adesivo que ligue duas superfícies inertes, formando uma amálgama com o carvão, amolecendo e produzindo a soldagem das partículas. Pietsch (1976) apud Fontes et al. (1984) afirma que os aglutinantes podem ser de três tipos: Do tipo “matriz” que envolvem completamente as partículas formando uma matriz contínua. Para o processo com este tipo são necessárias grandes quantidades de aglomerante, pois, as substâncias a serem compactadas possuem baixa resistência e depende de uma fase contínua em torno de cada partícula individual. Piche de petróleo, asfalto, alcatrão mineral e alcatrão de madeira apresentam esse comportamento quando usados como aglutinante.

Os aglomerantes do tipo “filme” são, em geral, usados como soluções ou dispersões, sendo água o solvente mais comum, além do álcool, acetona e outros. Os briquetes quando úmidos apresentam baixa resistência e alta quando secos. A água, como caso especial, dissolve cristais ou partículas e quando seca promove recristalização cruzada, que pode favorecer a coalescência pela tensão superficial entre materiais insolúveis. No caso de materiais orgânicos e produtos celulares, o autor relata que a água estimula a adesão pelas forças de Van der Waals, através do aumento da área verdadeira de contato entre partículas. Este efeito ocorre com o melão, os lignosulfatos, silicato de sódio e amido de milho.

Os aglomerantes “químicos” são aqueles em que o efeito de adesão depende de reações químicas efetivas dos componentes do aglomerado entre si, ou entre o aglomerante e o material a ser aglomerado.

Como pode ser notado, apesar dos critérios de classificação dos aglutinantes, aplicados em produção de briquetes se diferenciarem, parcialmente, dos critérios considerados para classificação de estabilizantes de solos para pavimentação de estradas e para tijolos, alguns dos aglomerantes utilizados, são também empregados na estabilização em estradas e na confecção de tijolos (para estas aplicações, todos os estabilizantes citados foram classificados como estabilizantes químicos).

O amido usado na briquetagem é um subproduto da produção agrícola, derivado da moagem do nomeado “fubá grosso”, impróprio para consumo humano e amplamente comercializado como suplemento do arração animal. Portanto, supõe-se que amidos de outras fontes botânicas possam ser usados para outras aplicações. Devido às características relatadas sobre a utilização do amido como estabilizante, pretende-se verificar os efeitos de sua implementação na produção de adobes, através de avaliação em sua resistência mecânica.

CAPÍTULO 4: MATERIAIS E MÉTODOS

Depois de obtida a informação que o Instituto Kairós, localizado no distrito de São Sebastião das Águas Claras – MG desenvolve projetos de execução de construções com materiais alternativos e bio-construção, entre estas, a produção artesanal de tijolos adobe, fez-se contato com integrantes da instituição, no momento qual, se apresentou o Sr. Flávio Nazaré, como responsável pela execução de tais trabalhos. Em conversa com este representante, este descreveu os procedimentos realizados nestes trabalhos, inclusive, na confecção de adobes. Este último apresentava características que se distanciavam bastante de outros referidos na literatura, mas também, características que convergiam. Divergências nos processos são muito comuns neste tipo de produção, devido ao regionalismo ou às peculiaridades dos locais. Contudo, julgou-se viável a realização desta pesquisa em parceria com aquela instituição. Feita a manifestação desta intenção, procedeu-se ao contato com a Sra. Rosana Bianchini, que encaminhou ao contato com o Presidente da Instituição, Sr. Renato Ribeiro Ciminelli, que autorizou e disponibilizou a atuação do integrante responsável na execução da pesquisa. Assim como, permitiu a utilização do material de solo do local e possibilitou que outros integrantes participassem dos trabalhos, dos quais participaram temporariamente: Geraldo; Filipe Nazaré; Emerson; entre outros.

Em seguida, fizeram-se os esclarecimentos, junto aos integrantes, do objetivo deste trabalho, das razões que se consideravam justificar sua realização e dos procedimentos que se pretendia executar.

Todo o procedimento de seleção, extração, preparação do solo e produção dos adobes foi realizado nas dependências do Instituto Kairós, em São Sebastião das Águas Claras – MG.

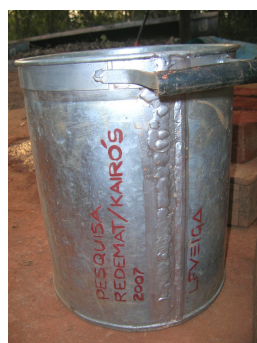
Foi estabelecido um local adequado (Figura 4.1) à abertura da “panela” e houve concordância em preparar um abrigo, em simulação a um galpão coberto, para receber os adobes moldados para secagem.



Figura 4.1 – Abrigo e “panela”.

Foto: Autor

Adaptou-se uma graduação de 0,5L (Figura 4.2a) em uma lata comumente utilizada para obras (Figura 4.2b), para ser utilizada na medição de todos os materiais empregados nesta produção.



A



B

Figura 4.2 – (A) Lata graduada; (B) Graduação no interior da lata.

Foto: Autor

Segundo levantamento feito no local escolhido encontrou-se duas formas. Ambas com vãos de dimensões (26 x 13 x 8)cm, porém, uma tripla e uma quádrupla. Optou-se pela utilização da forma tripla por esta se apresentar em melhores condições de conservação. Simultaneamente, decidiu-se utilizar uma forma simples com dimensões aproximadas a uma das referidas por Corrêa et al. (2006), (24 x 12 x 6)cm, com intenção de se confirmar a influência da dimensão sobre a resistência à compressão, para as determinadas composições de material utilizadas.

Foram, portanto, utilizadas duas fôrmas distintas para a confecção dos tijolos. Uma com um vão apenas, com dimensões internas de (24 x 12 x 6)cm, denominada Fôrma “R” (Figura

4.3a) em referência a REDEMAT e uma fôrma com três vãos de dimensões internas iguais a (26 x 13 x 8)cm, cada vão, denominada Fôrma “K” (Figura 4.3b), em referência a KAIRÓS.



Figura 4.3 - (A) Forma “R”(24x12x6)cm; (B) Forma “K”(26x13x8)cm.

Foto: Autor

Para a execução da produção dos tijolos adobe com solo puro para testemunhas, optou-se por reproduzir integralmente todo procedimento do conhecimento local, descrito pelos trabalhadores envolvidos. Foram seguidos os seguintes procedimentos:

4.1 Caracterização do solo

4.1.1 Análises visuais e tácteis

Para selecionar o solo, são consideradas como propriedades mais importantes a composição química, granulométrica, a plasticidade e a contração ou retração. Estas propriedades foram determinadas em campo e em laboratório, buscando identificar convergências nos métodos de determinação.

Em campo, a composição granulométrica, pode ser determinada por testes visuais e tácteis, nos quais, a caracterização do tamanho das partículas pode ser feita visualmente. As partículas visíveis se enquadram em grânulos e areias e o material fino corresponde a siltes e argilas. Ao se esfregar o solo seco entre os dedos, pela sensação ao tato podem-se identificar os tipos de partículas presentes. A areia arranha, o silte cobre os dedos e apresenta sensação aveludada. Para se verificar a presença de argila observa-se a facilidade de se moldar uma esfera com solo umedecido. O reconhecimento destes efeitos é relatado na Tabela 4.1:

Tabela 4.1 – Identificação de tipos de solo por análise visual e tátil

Classificação	Sensação tátil e aparência do solo
Areia	Sensação granular. Tamanho de grãos visíveis. Escoa quando seca
Solo arenoso	Sensação granular com coesão
Solo siltoso	Grãos finos. Suja os dedos. Sensação aveludada. Aparência compacta, quando seco, mas com facilidade de pulverização
Solo argiloso	Grãos muito finos. Tem aspecto plástico quando úmido e de difícil pulverização
Solo orgânico	Aparência esponjosa, odor típico de matéria orgânica que se acentua quando úmido.

Fonte: Adaptado de Neves et al (2005)

Neste trabalho procedeu-se à análise granulométrica visual e tátil do solo e considerou-o como predominantemente argiloso e considerou-se que este estaria apropriado à confecção de adobes.

4.1.2 Análise da plasticidade por testes expeditos

Para a determinação em campo, da plasticidade, umidade e retração podem ser feitos os chamados testes expeditos relatados pelo CEPED (1984) apud Neves (2005), sendo estes: teste do cordão, que avalia a resistência apresentada pelo solo com um determinado estado de umidade. Consiste em formar um cordão com 3mm de diâmetro e com o mesmo solo formar uma esfera. A adequação da umidade é verificada pela resistência oferecida pela esfera à pressão exercida pelos dedos até a ruptura. O teste da fita relaciona a plasticidade ao tipo de solo. Trata-se de moldar um cilindro de aproximadamente 7cm e amassar formando uma fita com espessura de 3 a 6mm. O comprimento da fita avalia a plasticidade. O teste da exsudação avalia a plasticidade pela capacidade de retenção de água. Deposita-se uma amostra de solo em uma mão e aplicam-se golpes com a outra mão até o afloramento de água na superfície da amostra. A velocidade do afloramento é marcada pela quantidade de golpes, sendo mais rápido para solos mais arenosos, lento para siltosos e sem afloramento para argilosos. O teste da resistência seca identifica o tipo de solo em função da resistência ao esmagamento de pastilhas de 1cm de altura e 2 a 3cm de diâmetro, moldadas com solo bem úmido e secas ao sol por 2 ou mais dias. A realização destes testes permite relacionar os comportamentos

apresentados aos tipos de solos e às técnicas construtivas mais apropriadas a serem executadas com este solo, como pode ser visto na tabela 4.2:

Tabela 4.2 – Tipos de solo e técnicas construtivas indicada por testes expeditos

Teste do cordão	Teste da fita	Teste da exsudação	Teste da resistência seca	Tipo de solo	Técnica construtiva
Cordão frágil ou resistência nula	Fita curta ou não se consegue fazer a fita	Afloramento rápido ou lento, mas não muito lento	Fraca a nula, geralmente nula	Arenoso;areno-siltoso;areno-argiloso;silo-argiloso	Tijolo prensado, adobe e terra compactada
Cordão frágil e mole	Fita curta	Afloramento lento a muito lento	Fraca média a	Siltoso	Utilização limitada, mas possível com uso de aglomerante
Cordão mole	Fita curta a longa	Afloramento muito lento ou sem afloramento	Média grande a	Argiloso com pedregulho; Argilo-arenoso ou argilo-siltoso	Solo compactado ou tijolo prensado com aglomerante
Cordão duro	Fita longa	Sem afloramento	Grande	Argiloso	Possível para adobe com adição de fibras e taipa de mão

Fonte: Adaptado de CEPED, (1984) apud Neves et al.(2005)

Para se verificar a retração linear sofrida por determinado solo, pode-se proceder ao teste da caixa. Este teste indica seu comportamento quanto à retração volumétrica. Consiste em umedecer uma amostra de solo até que se obtenha um material de consistência plástica, sendo então colocada dentro de uma caixa com 60,0cm de comprimento, 8,5cm de largura e 3,5cm de altura. Após a realização do adensamento manual, o material fica em repouso à sombra durante sete dias: após este período faz-se a medida da retração no sentido do comprimento da caixa, sendo que a soma das leituras deve se inferior a 20mm e o corpo da amostra não deve apresentar nenhuma fenda.

Nesta etapa do processo, para se fazer a avaliação da umidade, procedeu-se ao teste do cordão. Moldou-se a pequena esfera e pressionou-a com os dedos até sua ruptura, avaliando-

se sua resistência a este esforço para determinado estado de umidade. Considerou-se que umidade se apresentava adequada à produção dos adobes.

Serão descritas, a seguir, as técnicas de caracterização e os ensaios realizados em laboratório, para o estudo das amostras do solo utilizado.

4.1.3 Análise granulométrica

Foi realizada a análise granulométrica conjunta do solo corrigido utilizado na produção de todos os adobes. Esta análise, de acordo com Suguio (1973) permite dimensionar a granulometria necessária de materiais que constituem as matérias-primas a serem usadas em diversos processos produtivos. Existem muitos métodos para sua realização. Utilizou-se a técnica para determinação da fração grossa e fina estabelecida pela norma ABNT-NBR 7181 que determina o método do peneiramento para as partículas grossas e o método do densímetro para partículas finas.

A norma estabelece para os peneiramentos que sejam dispostas uma série de peneiras de 20,0cm de diâmetro de armação com 5,0cm de altura, possuindo telas com malhas padronizadas que podem ser combinadas variando de 50 a 2,0mm para peneiramento grosso e de 1,200 a 0,075mm para peneiramento fino. Os conjuntos de peneiras são montados colocando-as umas sobre as outras por meio de encaixes, com a malha aumentando de baixo para cima. Deste modo, os grãos que permanecerem em uma determinada peneira, após o peneiramento, são maiores que a abertura daquela peneira, mas menores que da peneira superposta. Os grãos que passam através da peneira são chamados “fração passante” e os grãos que permanecem são chamados “fração residual”.

Os métodos de sedimentação usados para determinação da fração fina de acordo com Suguio (1973) são baseados nas mudanças de concentração de partículas em uma suspensão originalmente uniforme. O cálculo da resistência friccional exercida sobre uma partícula esférica em queda em meio fluido calmo de suspensão é determinado pela lei de Stokes:

$$v = C \times r^2, \quad (2)$$

onde:

$$v = \text{velocidade de queda em cm.s}^{-1};$$

e

$$C = 2(d_1 - d_2)g/9n \quad (3)$$

r = raio da esfera em cm;

d_1 = densidade da partícula em g.cm^{-3} ;

d_2 = densidade do fluido em g.cm^{-3} ;

g = aceleração da gravidade ($980 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2}$)

n = viscosidade do fluido em dinas.

São encontradas tabelas com valores da constante C sob diversas condições. Para água a 20°C e partículas esféricas com peso específico do quartzo ($2,65\text{g/cm}^3$), o valor de $C = 3,57 \times 10^4$.

Neste método a densidade de uma suspensão é medida a determinados intervalos de tempo após iniciada a sedimentação com o densímetro imerso na suspensão.

A partir das densidades $d(t)$ lidas no densímetro após um intervalo de sedimentação t , a concentração $C(t)$ é calculada pela equação:

$$C_{(t)} = \frac{d_1}{d_1 - d_2} \times (d_{(t)} - d_2); \quad (4)$$

onde

d_1 = densidade das partículas;

d_2 = densidade do líquido de sedimentação.

As granulometrias são determinadas por curvas que relacionam os tempos de sedimentação com as leituras dos densímetros. As leituras são feitas quando decorridos: 15:30s; 1; 2; 4; 8; 15:30 min; e 1; 2; 4; 8 e 16h a contar do início da sedimentação. Cada leitura do densímetro é complementada com os valores de temperatura da suspensão. Encontram-se valores de correções em tabela de leitura em função da temperatura e com tabela obtida na calibração do densímetro pode-se encontrar os diâmetros dos grãos do material suspenso para cada leitura. As porcentagens das classes de diâmetros são obtidas na tabela pela equação seguinte.

$$Q = \frac{\delta}{\delta - 1} \times \frac{100}{P_s} \times L_c ; \quad (5)$$

onde

Q = quantidade em porcentagem, do material em suspensão no instante da leitura no densímetro;

δ = densidade real dos grãos em $\text{g} \times \text{cm}^{-3}$;

P_s = peso do material seco colocado em suspensão;

L_c = leitura corrigida do densímetro.

O valor 1 na equação corresponde à densidade da água usada como meio de suspensão.

Os pesos de cada uma das frações granulométricas são convertidos em porcentagens relativas ao peso total da amostra. O resultado do material grosso peneirado em classes é combinado com os dados da sedimentação que em conjunto, expressam a distribuição granulométrica da amostra e são representados pela curva granulométrica conjunta.

As amostras passaram por destorroamento e pesagem como prescrito pela norma ABNT-NBR 6457, que determina a preparação das amostras para este ensaio.

A caracterização do material de solo quanto às propriedades relacionadas à umidade foram determinadas em laboratório através de ensaios para determinação dos limites de consistência.

A plasticidade dos solos varia, nitidamente, de acordo com a quantidade de água contida e pode ter caráter líquido, plástico ou sólido, sendo necessário medir o teor de umidade para diversas consistências. Para realizar a caracterização dos solos em relação aos teores de umidade presentes deve-se determinar o LL – Limite de Liquidez, que é o teor de umidade que determina, no solo, a transição do estado plástico para o estado líquido. O LP – Limite de Plasticidade, marca a transição do estado plástico para o estado sólido. O limite de liquidez e o limite de plasticidade dependem da quantidade e do tipo de argila presente no solo. A diferença entre estes, determina o IP – Índice de Plasticidade, sendo este dependente apenas da quantidade de argila.

As argilas presentes no solo são responsáveis pelos movimentos de expansão e contração do material em função da variação de umidade. O teor de umidade, a partir do qual, o volume do solo permanece constante, quando ocorre evaporação, determina o LC – Limite de Contração. Este limite marca a passagem do solo em estado semi-sólido para o estado sólido e determina o limite do teor de umidade, abaixo do qual, a evaporação ocorre sem variação do volume do corpo, mas com possível surgimento de trincas, como pode ser visto na Figura 4.4. Aproximadamente 2kg do solo seco preparado para a produção dos adobes foram coletados e levados ao Laboratório ConcreSolo para se proceder as determinações dos limites físicos do solo.

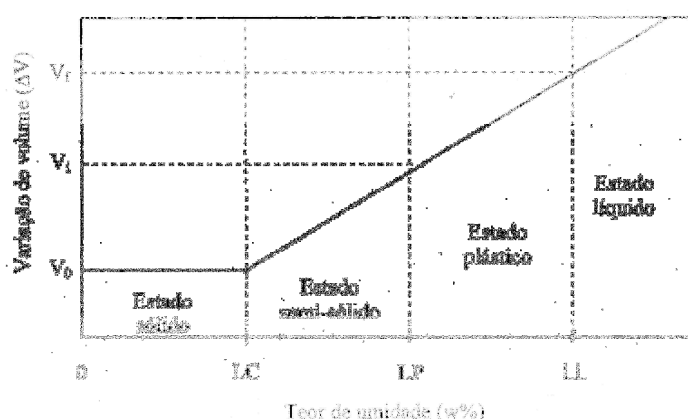


Figura 4.4 – Estados de consistência

Fonte: Centro de Tecnologia –UFSM

4.1.4 Determinação do Limite de liquidez (LL)

O limite de liquidez de um solo é o teor de umidade que separa o estado de consistência líquido do plástico e para o qual o solo apresenta uma pequena resistência ao cisalhamento. O ensaio utiliza o aparelho de Casagrande, onde tanto o equipamento quanto o procedimento de preparação das amostras são descritos pela norma ABNT-NBR 6459.

No ensaio de limite de liquidez mede-se, indiretamente, a resistência ao cisalhamento do solo para um dado teor de umidade, através do número de golpes necessários ao deslizamento dos taludes da amostra; para um teor de umidade igual ao limite de liquidez foram encontrados valores iguais a 2,5kPa, valores estes muito baixos, indicando a proximidade do estado líquido e sendo a maior parte desta resistência devida às forças atrativas entre as partículas que por sua vez estão relacionadas a atividade superficial dos argilominerais.

O aparelho de Casagrande, mostrado na Figura 4.5 é formado por uma base dura (ebonite), uma concha de latão, um sistema de fixação da concha à base e um parafuso excêntrico ligado a uma manivela que movimentada a uma velocidade constante, de duas rotações por segundo, elevará a concha a uma altura padronizada para, a seguir deixá-la cair sobre a base.

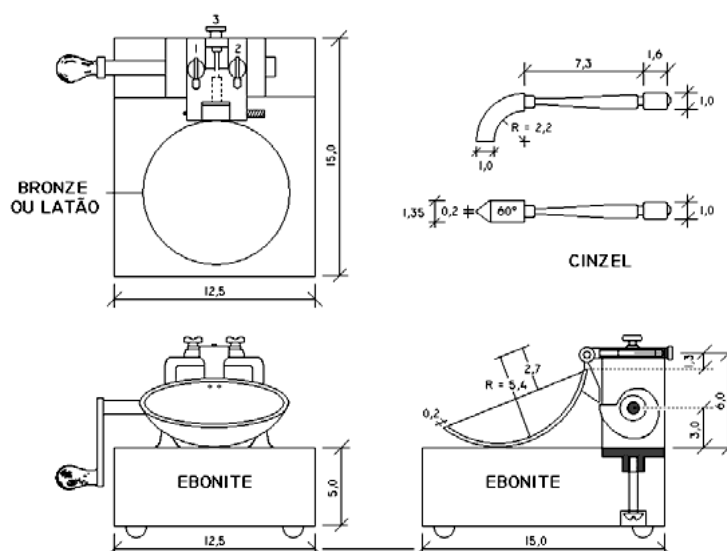


Figura 4.5 - Aparelho de Casagrande.

Fonte: Centro de Tecnologia – UFSM

Um cinzel (gabarito), com as dimensões mostradas na mesma figura completa o aparelho. O solo utilizado no ensaio é a fração que passa na peneira de 0,42mm (# 40) de abertura e uma pasta homogênea deverá ser preparada e colocada na concha; utilizando o cinzel, deverá ser aberta uma ranhura, conforme mostrado na Figura 4.6.

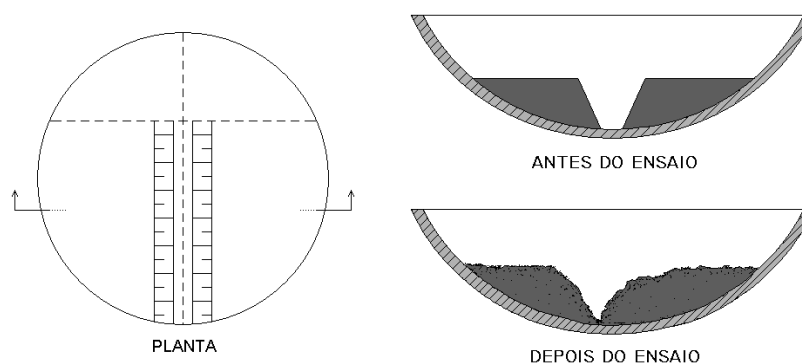


Figura 4.6 - Ensaio de limite de liquidez.

Fonte: Centro de Tecnologia - UFSM

Conforme a concha vai batendo na base, os taludes tendem a escorregar e a abertura na base da ranhura começa a se fechar. O ensaio continua até que os dois lados se juntem, longitudinalmente, por um comprimento igual a 10,0 mm, interrompendo-se o ensaio nesse instante e anotando-se o número de golpes necessários para o fechamento da ranhura.

Retirando-se uma amostra do local onde o solo se uniu determina-se o teor de umidade, obtendo-se assim um par de valores, “teor de umidade x número de golpes”, que definirá um ponto no gráfico de fluência. A repetição deste procedimento para teores de umidade diversos, permitirá construir um gráfico do tipo apresentado na figura 4.7.

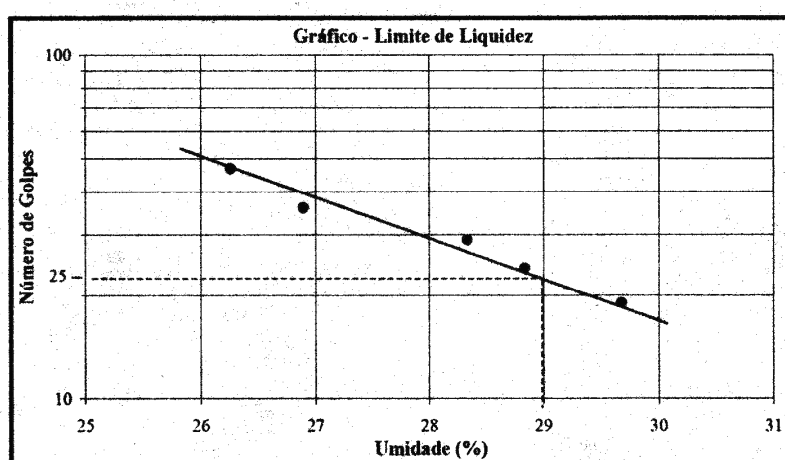


Figura 4.7 – Gráfico de Limite de Liquidez

Fonte: Centro de Tecnologia - UFSM

Convencionou-se, que no ensaio de Casagrande, o teor de umidade correspondente a 25 *golpes*, necessários para fechar a ranhura, é o limite de liquidez.

As amostras foram preparadas e os ensaios foram realizados pelo Laboratório ConcreSolo em conformidade com as especificações da norma citada.

4.1.5 Determinação do Limite de Plasticidade (LP)

Uma explicação para o limite de plasticidade de acordo com UFSM - Notas de aula (s/d) não é tão simples, como a do limite de liquidez, podendo-se sugerir que o limite de plasticidade corresponde a um teor de umidade do solo que para valores menores do que ele, as propriedades físicas da água não mais se igualam às da água livre ou de que o limite de plasticidade é o teor de umidade mínimo, no qual a coesão é pequena para permitir deformação, porém, suficientemente alta para garantir a manutenção da forma adquirida. O limite de plasticidade é, portanto, o extremo inferior do intervalo de variação do teor de umidade no qual o solo apresenta comportamento plástico. O equipamento necessário à realização do ensaio consta de uma placa de vidro com uma face esmerilhada e um cilindro padrão com 3mm de diâmetro, conforme está representado na Figura 4.8.

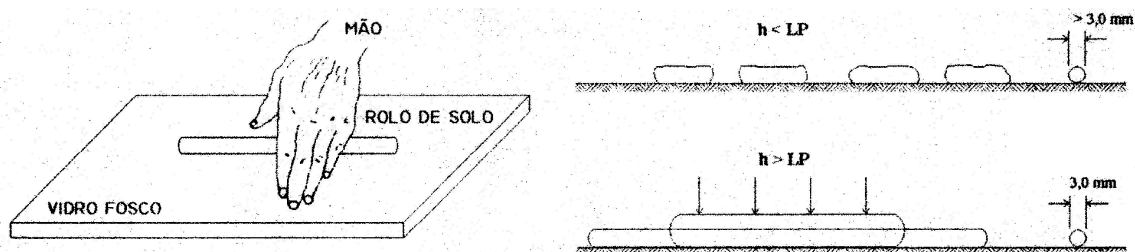


Figura 4.8 – Determinação do limite de plasticidade (LP)

Fonte: Centro de Tecnologia - UFSM

O ensaio inicia-se rolando, sobre a face esmerilhada da placa, uma amostra de solo com um teor de umidade inicial próximo do limite de liquidez, até que, duas condições sejam, simultaneamente, alcançadas: o rolinho tenha um diâmetro igual ao do cilindro padrão e o aparecimento de fissuras (início da fragmentação). O teor de umidade do rolinho, nesta condição, representa o limite de plasticidade do solo. A preparação das amostras e o ensaio são descritos pela ABNT-NBR 7180.

4.1.6 Determinação do Índice de Plasticidade (IP)

Este índice, fisicamente, representa a quantidade de água que seria necessário acrescentar a um solo, para que ele passasse do estado plástico ao líquido. Sendo definido como a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, portanto, temos:

$$IP = LL - LP \quad (6)$$

Ele determina o caráter de plasticidade de um solo, assim, quando maior o “IP”, tanto mais plástico será o solo. Sabe-se, ainda, que as argilas são tanto mais compressíveis quando maior for o “IP”. Em relação a este índice os solos poderão ser classificados em:

- fracamente plásticos $1 < IP \leq 7$
- medianamente plásticos $7 < IP \leq 15$
- altamente plásticos $IP > 15$

4.1.7 Determinação do Limite de Contração (LC)

O limite de contração é o teor de umidade que separa o estado semi-sólido do sólido. Uma argila, inicialmente saturada e com um teor de umidade próximo do limite de liquidez, ao perder água sofrerá uma diminuição do seu volume igual ao volume de água evaporada, até atingir um teor de umidade igual ao limite de contração. A partir deste valor a amostra secará a volume constante. A Figura 4.9 mostra o descrito, onde no esquema central (b) estão indicados os valores das fases líquida e sólida que possibilita calcular o limite de contração. O esquema à esquerda (a) indica as condições iniciais da amostra e à direita (c) as condições, após a secagem;

Onde

V_o = Volume inicial;

W_o = Peso inicial;

V_w = Volume de água;

W_w = peso da água;

V_s = Volume de sólidos;

W_s = Peso de sólidos;

γ_s = Densidade do sólido;

γ_w = Densidade da água.

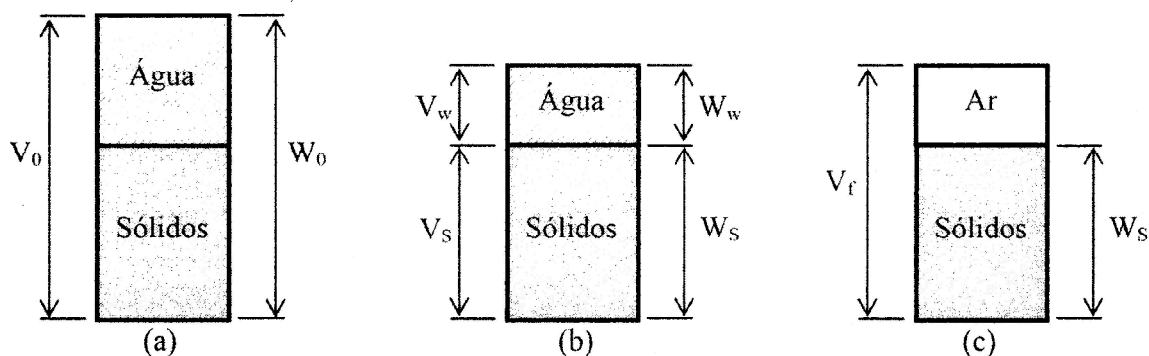


Figura 4.9 – Determinação do Limite de Contração

Fonte: Centro de Tecnologia - UFSM

O limite de contração é igual a:

$$LC = W_w/W_s ; \quad (7)$$

quando se conhece o peso específico dos sólidos, o peso de água, poderá ser calculada por:

$$W_w = (V_f - W_s/\gamma_s) \cdot \gamma_w ; \quad (8)$$

que são grandezas facilmente determináveis em laboratório, resultando:

$$LC = \gamma_w \cdot (V_f/W_s - 1/\gamma_s). \quad (9)$$

Para a determinação do limite de contração pela equação (8) foram tomados valores da densidade aparente medida pela pesagem e medição do volume dos adobes produzidos e densidade real medida através de picnometria a gás. Esta técnica será descrita posteriormente.

4.1.8 Determinação do Grau de contração (C)

Este indicador é determinado pela razão da diferença entre os volumes inicial (V_0) e final (V_f) após a secagem da amostra, para o volume inicial (V_0), expressa em porcentagem:

$$C=(V_0-V_f)/V_0 \quad (10)$$

A compressibilidade de um solo cresce com o grau de contração, podendo ser considerados:

Solos bons	$C < 5\%$
Solos regulares	$5\% < C < 10\%$
Solos sofríveis	$10\% < C < 15\%$
Solos péssimos	$C > 15\%$

4.2 Confeção dos adobes

Serão descritos a seguir todos os procedimentos realizados na produção de adobes.

4.2.1 Preparação do solo

O solo utilizado foi extraído de um corte existente no local, com altura de 1,90m. Com cavadeira, excluiu-se uma primeira camada exposta e retirou-se material situado aos 0,50m da base do corte como visto na Figura 4.10.



Figura 4.10 – Retirada de solo.

Foto: Autor

O material de solo foi peneirado no local, com peneira de malha 2,0mm, a quantidade foi medida em lata graduada, totalizando 240,0L e transportada com carrinho de mão para o abrigo, sendo espalhado completamente e deixado a secar exposto ao sol por um ou dois dias.

Posteriormente foi adicionado ao solo 30,0L de areia, para efeito, de “correção do solo”. Fez-se a mistura do material por quarteamento com enxada e pá, para, em seguida, depositá-lo na panela. Coletou-se uma amostra do solo corrigido para realização de análise granulométrica em laboratório. Determinou-se a densidade aparente seca do solo corrigido igual a 1,01 kg/L pela média das pesagens e medições dos volumes de porções do material. Valor que se tomou como referência para as dosagens de todas as composições.

Optou-se por atender à correção granulométrica descrita por um integrante envolvido, para que não se descaracterizasse o caráter artesanal e o reconhecimento dos saberes populares. Mesmo a dosagem não se aproximando dos valores ideais encontrados na literatura, considerou-se importante o conhecimento e a aplicação deste procedimento considerado de caráter técnico.

Em seguida, verteu-se água sobre o material até sua cobertura (Figura 4.11), totalizando 110,0L de água. O volume foi medido com a lata graduada. O material foi deixado em repouso, para posteriormente se proceder à homogeneização.



Figura 4.11 – Panela com material de solo e água.

Foto: Autor

4.2.2 Homogeneização

A homogeneização se fez por dois indivíduos com os pés descalços, percorrendo o interior da panela, variando-se a distância em relação ao centro e também se pisoteando temporariamente o centro. Procedeu-se o pisoteamento por um período de uma hora, alternando-se com uma ou duas pessoas. O material, após esse período se apresentava, visualmente, homogeneizado.

Posteriormente a este procedimento, foi retirada uma amostra de solo, diretamente da panela, para se fazer medições de umidade do solo pronto para aplicação no Laboratório de

Geomorfologia do Instituto de Geociências da UFMG. Pesou-se, em uma balança analítica, uma amostra de solo úmido. Registrou-se o peso da amostra úmida (Pu). Introduziu-se a amostra em uma estufa da marca Fanem LTDA 80-180°C e deixando-a permanecer à temperatura de 110°C, por 24 horas. Retirou-se a amostra e pesou-se novamente com a mesma balança, registrando o peso seco (Ps).

Utilizou-se a equação seguinte para se determinar a porcentagem de umidade na amostra (o relatório pode ser visto no anexo I):

$$U = \frac{(Pu - Ps)}{Ps} \times 100 \quad (11)$$

Onde:

$$Pu = 103,705g ;$$

$$Ps = 73,483g ;$$

Verificou-se umidade de 29,1%. Valor este, medido na preparação do primeiro material de solo e que se estabeleceu como referência para as composições subseqüentes.

4.2.3 Moldagem dos adobes Testemunha

Para se moldar os adobes nos dois tipos de fôrmas, preparou-se, previamente, cada uma delas, umedecendo-as e depositando areia seca sobre suas paredes internas para possibilitar melhor desmoldagem, dito “salgar a fôrma” (Figura 4.12). O que se verificou imprescindível, dado que o material com expressiva plasticidade promove aderência sobre as paredes, dificultando o deslocamento do material para fora da fôrma e, ocasionalmente, produzindo deformações no tijolo moldado. Esse processo foi repetido a cada moldagem.



Figura 4.12 – Forma “salgada”

Foto: Autor

As fôrmas foram postas sobre pranchas de madeira que se encontravam disponíveis no local e que permitiram o isolamento do tijolo moldado em relação ao piso, o qual apresentava irregularidades.

O material de solo foi lançado, com velocidade elevada, em porções que ocupam a mão do operário em forma de concha. Após preenchimento de toda a fôrma com o material, fez-se a compactação com golpes das próprias mãos do operário e em seguida, retirou-se o excesso rizando com régua de madeira em posição oblíqua às laterais das fôrmas.

Percebeu-se que a fôrma com três vãos exige maior esforço físico do operário e que, em algumas desmoldagens, nem todos os adobes saem da fôrma, demandando espaço livre nas pranchas para deposição dos remanescentes.

Foi confeccionado um lote de vinte adobes com cada uma das fôrmas, totalizando, portanto, para os adobes com solo puro para testemunhas: 20 adobes “KT” e vinte adobes “RT”, onde “T” se refere à “Testemunha”. Estes foram deixados na posição em que foram desmoldados para secagem em galpão coberto por vinte e um dias sendo virados a cada sete dias.

Para a produção dos adobes com a implementação de amido repetiu-se todo o procedimento de retirada do material de solo, peneiramento, medição e correção com areia, até sua deposição na panela, descritos para os adobes Testemunha.

Quanto à adição de amido, os materiais utilizados foram pastas de amido preparadas com duas proporções diferentes de farinha e água. Utilizou-se farinha de mandioca crua⁴, produzida no município de Contagem, região metropolitana de Belo Horizonte – M.G. adquirida em estabelecimento comercial local.

⁴ Previamente, tentou-se obter no povoado fornecimento de subproduto da extração de mandioca, como pontas e partes impróprias para consumo. Porém, verificou-se que na localidade, pessoas que produziam farinha artesanalmente abdicaram desta atividade e consomem cotidianamente produtos industrializados adquiridos em estabelecimentos comerciais locais. Tentou-se também encontrar os subprodutos em diversas outras localidades da região e a abdicação da atividade de produção artesanal de farinha se confirmou. Entretanto outra razão foi considerada para a escolha de alternativa ao material pretendido. Sabendo-se que farinha de mandioca pode conter, segundo Cereda (2000), até 88% de amido na matéria seca, considerou-se que o teor elevado favoreceria a verificação dos efeitos específicos do uso amido, enquanto que, com a utilização de outras partes do tubérculo, os resultados poderiam ser influenciados pela estabilização promovida pela inclusão de inertes.

À farinha não se prestou nenhum tipo de tratamento prévio em laboratório. Por se tratar de processo artesanal de produção, julgou-se que melhorias procedidas em laboratório comprometeriam o caráter artesanal do processo e inviabilizariam a reprodução dos resultados obtidos, posteriormente, pela comunidade.

Para a confecção dos adobes com amido, trabalhou-se com a mesma quantidade de água, 29,1% em volume, dos adobes Testemunha. Sendo parte da água depositada previamente sobre o material de solo na panela e outra parte inserida na composição da pasta de amido.

Considerando que os materiais utilizados apresentaram densidades aparentes aproximadas, elaborou-se a seguinte equação simples para se preparar no local, diferentes composições de pasta de amido, mantendo-se constante a quantidade de pasta em 10% em volume⁵ e quantidade de água em 29,1% em volume.

$$\begin{array}{c}
 \text{PASTA} \\
 \text{┌──10%──┐} \\
 (\text{SOLO SECO PREPARADO})+(\text{AMIDO}+\text{ÁGUA})+\text{ÁGUA DE AMASSAMENTO}=\text{TOTAL DE MATERIAL} \\
 \text{└────────── 29,1% ─────────┘} \\
 \text{ÁGUA TOTAL} \qquad \qquad \qquad (12)
 \end{array}$$

Produziram-se adobes com duas proporções de pastas de amido distintas conforme Tabela 4.3:

Tabela 4.3 – Composição das pastas de amido

PASTA	AMIDO (%)	ÁGUA (%)
Composição A	8	92
Composição B	4	96

Fonte: Autor

4.2.4 Preparação da pasta de amido composição A e moldagem dos adobes da série A

⁵ Determinou-se a quantidade de pasta em 10%, considerando que esta é a quantidade máxima de uso de aglomerante verificada na produção de tijolos de solo-cimento.

As quantidades de materiais, em volume⁶, para a composição “A” foram determinadas, pela equação referida anteriormente, como se segue:

$$(240L_{\text{Solo seco}} + 30L_{\text{Areia}}) + (0,8\%_{\text{Amido}} + 9,2\%_{\text{Água}}) + 19,9\%_{\text{Água de amassamento}} = 100\% \quad (13)$$

(Solo Preparado) (Pasta)

70,1%	-----	270,00L Solo Preparado
0,8%	-----	3,08L Amido
9,2%	-----	35,44L Água da pasta
19,9%	-----	76,65L Água de amassamento

Considerando a fração amilácea da farinha, determinada pelo produtor, como sendo igual a 82,0% , para termos 3,08L de amido utilizou-se 3,75L de farinha.

Para a preparação da pasta, na própria área de trabalho, existia um sistema utilizado para tratamento de bambus para artesanato (Figura 4.13), que consiste em uma cava no solo, sobre a qual se atravessam pequenas barras de aço e sobre estas se apóia um tubo de aço. Sob esta estrutura, no fundo da cava, deposita-se carvão e lenha para se fazer a secagem do bambu, o qual, em estado verde é introduzido no tubo aquecido.



Figura 4.13 – Sistema para tratamento de bambus.

Foto: Autor

Paralelamente à utilização do sistema para tratamento dos bambus, usou-se a extremidade fechada da cava para se apoiar um recipiente de alumínio com capacidade de 50,0L para se depositar a água e a farinha nas proporções determinadas para a composição A. Manteve-se o material sob aquecimento (Figura 4.14a) por aproximadamente vinte minutos sob constante

⁶ No campo, procedeu-se ao arredondamento dos valores devido às limitações de graduação da lata utilizada para medição.

agitação, até que atingisse a temperatura de $63,0^{\circ}\text{C}$, a qual Cereda (2000), relata como a temperatura de gelatinização do amido de mandioca, medida com termômetro com graduação de $-10,0$ a 110°C , da marca Incoterm adquirido em estabelecimento especializado em equipamentos de laboratório.

Manteve-se o material sob esta temperatura por aproximadamente cinco minutos, ainda sob constante agitação. Retirou-se o recipiente da chama (Figura 4.14b).



A



B

Figura 4.14 - (A) Aquecimento da pasta de amido; (B) Pasta de amido aquecida.

Foto: Autor

Observou-se neste procedimento que foi obtida uma pasta bastante viscosa, homogênea e com transparência significativa, conforme descrito por Cereda (2000), característica própria dos amidos de tuberosas.

A seguir, verteu-se o conteúdo de pasta no interior da panela, sobre o material de solo umedecido. Aguardaram-se alguns minutos para a realização do procedimento seguinte: homogeneização, feita por pisoteamento, por uma hora, como descrito anteriormente para os adobes Testemunha. Coletou-se amostra do material para análises químicas e controle de umidade, sendo esta, medida em determinador de umidade, igual a $29,35\%$. O material obtido apresentou plasticidade significativa, considerando-o adequado para lançamento nas fôrmas. Moldou-se, desenformou-se e deixou-se a secar em galpão coberto por período de vinte e um dias virando-os a cada sete dias.

Foram moldados vinte adobes com cada fôrma totalizando para estes lotes: vinte adobes “KA” e vinte adobes “RA” nos quais “A” se referem à Composição A (Figura 4.15).



Figura 4.15 – Lotes “KA” e “RA”.

Foto: Autor

4.2.5 Preparação da pasta de amido composição B e confecção dos adobes da série B

Utilizou-se a mesma equação descrita anteriormente, para determinação dos volumes de materiais para a pasta de amido da Composição B :

$$(240L_{\text{Solo seco}} + 30L_{\text{Areia}}) + (0,4\%_{\text{Amido}} + 9,6\%_{\text{Água}}) + 19,5\%_{\text{Água de amassamento}} = 100\% \quad (14)$$

(Solo Preparado) (Pasta)

70,5%	-----	270,00L Solo Preparado
0,4%	-----	1,53L Amido
9,6%	-----	36,77L Água da pasta
19,5%	-----	74,68L Água de amassamento

Considerando a fração amilácea da farinha, determinada pelo produtor, como sendo igual a 82,0% , para termos 1,53L de amido utilizou-se 1,86L de farinha.

Verificou-se que a pasta obtida, mantida pelo mesmo período sob agitação, apresentou menor viscosidade, ou seja, maior fluidez, se comparada à Composição A. Verteu-se a pasta sobre o solo umedecido na panela. Aguardaram-se aproximadamente dez minutos para se realizar a homogeneização.

Realizado o pisoteamento por um período de quinze minutos, verificou-se que todo o material apresentava baixa viscosidade. Prosseguiu-se com o pisoteamento por mais trinta minutos e o material se apresentava, ainda, com baixa viscosidade. Inapropriada para lançamento em

fôrmas. Decidiu-se, interromper o período estabelecido para a homogeneização por, aproximadamente, quatro horas. Seguido a este intervalo, retomou-se o pisoteamento pelo período restante determinado (quinze minutos). Logo no início da retomada, percebeu-se que o material apresentava maior viscosidade que anteriormente (inferior à apresentada pelos materiais para os adobes Testemunha e adobes de Composição A). Terminado o período de homogeneização, coletaram-se amostras do material para análises químicas e verificação da umidade em laboratório através de Determinador de Umidade, ficando esta em 29,85%. Procedeu-se ao lançamento nas fôrmas, desmoldagem e postura à secagem, como descrito para as composições precedentes.

Foi confeccionado um lote de vinte adobes com cada forma, finalizando com o total de vinte tijolos adobe do tipo “KB” e vinte tijolos adobe do tipo “RB”, em que “B” faz referência à Composição B.

Amostras de solo Testemunha e amostras de solo com pastas de composição A e B foram levadas ao Laboratório de Materiais do Departamento de Química da UFMG sob coordenação da Professora Dra. Nelcy Della Santina Mohallem para se determinar as características composicional e estrutural dos materiais.

4.3 Caracterização composicional e estrutural do solo

Foram realizadas microanálise utilizando Espectrômetro de Dispersão de Energia EDS para determinar os elementos presentes e difração de Raios X (DRX) para se determinar as fases. Para se identificar as características texturais utilizou-se a adsorção de Nitrogênio (BET) e a picnometria a Hélio.

4.3.1 Microanálise eletrônica

Para analisar a composição das amostras foram realizadas microanálises em um equipamento JEOL JSM-840 A com um detector EDS. Para a realização da microanálise, foi depositada uma camada de carbono sobre a superfície da amostra. Os espectros foram obtidos através do espectrômetro de energia dispersiva (EDS) que analisa os raios X gerados na amostra, característicos dos elementos que compõem o material estudado. O equipamento pertence ao Laboratório de Microanálise pertencente ao convênio Física / Química / Geologia – UFMG / CDTN.CNEN.

De acordo com Garcia (2001), um espectrômetro EDS consiste de um detector de estado sólido (diodo) o qual coleta o espectro completo de raios X e o transfere para um analisador multicanal que, por sua vez estoca as diferentes linhas espectrais como uma função de sua energia. Na Figura 4.16 tem-se esquematicamente a estrutura de um espectrômetro EDS.

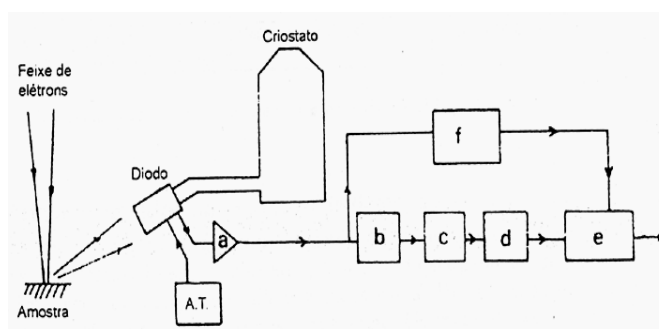


Figura 4.16 – Esquema de um espectrômetro de raios X de dispersão de energia: a) pré-amplificador; b) amplificador; c) restaurador de linha de base; d) conversor analógico-digital; e) analisador multicanal; f) rejeição de empilhamento de pulso

Fonte: Adaptado de Garcia (2001)

As principais vantagens do detector de estado sólido (EDS) estão na sua rápida aquisição de um espectro (permitindo a aquisição de todo o espectro simultaneamente) e em sua alta eficiência de detecção. Em contraste sua resolução espectral e sua relação sinal/ruído deixam muito a desejar. Finalmente o detector de estado sólido não permite a detecção e a análise de elementos leves (abaixo do boro). A Tabela 4.4 sumariza as principais características desse sistema.

Tabela 4.4 – Características de espectrômetro de dispersão de energia – EDS

CARACTERÍSTICA	ESPECTRÔMETRO DE DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS)
Taxas de contagem	10.000 choques/s/nA
Corrente necessária para a análise	10pA a 0,5nA
Tempo de aquisição para um espectro (1-20keV)	10s
Elementos que podem ser analisados	B ao U
Resolução (FWHM, MnK α -5,9keV)	150eV
Relação pico/ <i>background</i>	10 a 100
Tempo morto	> 25 μ s
Dispositivo mecânico de montagem	Nenhum
Deslocamento vertical possível sem desfocalização	Vários milímetros
Mapeamento de raios X: dimensões máximas do campo	Vários milímetros

Fonte: Adaptado de Garcia (2001)

4.3.2 Difração de Raios X

A técnica de difração de raios X foi utilizada na determinação das estruturas e fases existentes nos materiais e na comprovação da cristalinidade.

Os materiais foram identificados utilizando-se um difratômetro RIGAKU modelo Geigerflex - 3034, radiação CuK α , com tubo de cobre, tensão de 40Kv, corrente de 30 mA, constante de tempo igual a 1s e velocidade do goniômetro de 8o 2 θ /min. Os difratogramas são obtidos utilizando o NaCl como padrão interno. As análises foram realizadas no Departamento de Química da UFMG.

Após pulverização em grau de ágata, uma quantidade da amostra foi aderida e espalhada homogeneamente sobre uma lâmina de vidro, utilizando álcool etílico como líquido dispersante.

O fenômeno da difração por cristais resulta de um processo de espalhamento no qual raios X são espalhados por elétrons dos átomos que constituem os cristais (Bish, D.L. & Reynolds Jr., R.C.; 1989). A difração resultante de um cristal é uma propriedade característica da substância e permite chegar a uma completa elucidação da estrutura do mesmo. A análise dos

picos de difração conduz ao conhecimento do tamanho, forma e orientação da cela unitária. Mas, para localizar as posições dos átomos individuais na cela, é necessário medir e analisar as intensidades envolvidas.

Da mesma forma que a luz visível, os raios X são ondas eletromagnéticas e, como tal, são acompanhadas por uma variação periódica do campo elétrico. Quando um feixe de raios X encontra um elétron em sua trajetória podem ser observados fenômenos de espalhamento elástico. Para o espalhamento elástico segundo Bish & Reynolds (1989), o elétron tem, após o choque, as mesmas características do feixe incidente, ou seja, ele próprio é uma fonte de ondas eletromagnéticas. Desta interação resulta uma nova frente de ondas esféricas de raios X, tendo o elétron como origem. Devido a isto, é dito que o elétron espalha o feixe original. Como o átomo é circundado por uma nuvem de elétrons, as ondas espalhadas por eles se combinam de modo que o efeito de espalhamento do átomo pode ser considerado como provocado por uma fonte puntual de raios X espalhados. A intensidade da radiação espalhada depende do número de elétrons no átomo, de como estes elétrons se encontram distribuídos por todo o volume atômico e da direção da radiação.

Quando um material é submetido à radiação X, uma parte da radiação incidente é espalhada pelos átomos que constituem o material. Os fótons espalhados pelos átomos individuais se superpõem e geralmente se cancelam. No entanto, quando os átomos têm uma estrutura ordenada, como uma estrutura cristalina, os fótons espalhados em certas direções podem ser amplificados pela somatória de suas frentes de onda e diz-se, então, que a radiação foi difratada. Matematicamente, esse efeito pode ser descrito como uma “reflexão” de raios-X de comprimento de onda λ incidindo segundo um ângulo θ , em conjunto de planos reticulares separados por um espaçamento d , conhecida como equação de Bragg

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (15)$$

Em um difratômetro padrão, a radiação difratada é registrada como uma função do ângulo de difração 2θ e um valor d calculado para cada reflexão através da equação de Bragg.

Em uma substância cristalina, os raios X difratados pelos átomos que a constituem dão informação sobre a estrutura interna desse material. Os difratogramas são característicos e

podem, na maioria dos casos inequivocadamente, identificar a substância sob estudo.

4.3.3 Adsorção gasosa

O ensaio de adsorção de nitrogênio foi realizado utilizando o equipamento Autosorb – Quantachrome NOVA 1200, o qual é composto por um sistema de adsorção automatizado que fornece dados de equilíbrio de adsorção e dessorção. As amostras foram degaseificadas por 1 hora a 200°C antes de cada ensaio. O erro do equipamento é de 5%. O equipamento é pertencente ao Laboratório de Materiais Nanoestruturados do Departamento de Química da UFMG.

De acordo com Vieira (2000), quando uma superfície limpa de um sólido qualquer for exposta a uma mistura de gases, a concentração deles, ou de um deles, sobre a superfície do sólido, será muito maior do que no centro da massa gasosa. A essa tendência de acumulação de uma superfície a outra se dá o nome de *adsorção*. Essa tendência à acumulação ocorre porque os átomos de qualquer superfície não possuem as forças de atração perpendiculares sobre o seu plano balanceadas em relação aos átomos do interior do sólido, e, portanto, possuem certo grau de insaturação.

A adsorção é um fenômeno espontâneo que ocorre com diminuição da variação da energia livre superficial (ΔG^0), diminuição da desordem do sistema, isto é, as moléculas adsorvidas perdem graus de liberdade e, portanto, há uma diminuição da variação da entropia, ΔS . A equação:

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (16)$$

onde ΔG^0 = variação da energia livre de Gibbs; ΔH^0 = variação da entalpia; ΔS^0 = variação da entropia e T = temperatura absoluta; mostra que a variação da entalpia (ΔH^0) do sistema também terá que diminuir, isto é, a adsorção é um processo exotérmico.

Dependendo da força da adsorção, isto é, da força das ligações que ocorrem entre as moléculas que estão sendo adsorvidas e o adsorvente, podemos diferenciar dois tipos principais de adsorção: adsorção física e adsorção química.

Na adsorção química ocorre a formação de ligações químicas entre o adsorvente e o adsorbato, a maioria dos processos necessita de ativação, sendo então bem mais vagarosa que uma adsorção física.

A adsorção física envolve o fenômeno de condensação ou atração por força de Van der Waals. O calor liberado durante uma adsorção física em 1 mol de gás adsorvido é geralmente em torno de 2 a 6 Kcal/mol, mas ocorre até 20 Kcal/mol. A adsorção física é causada por forças de interação molecular, ocorrendo uma espécie de condensação do vapor para formar líquido ou a liquefação de um gás. A adsorção física exhibe características que são apropriadas para determinações de área superficial, e por isso existem equipamentos utilizando este tipo de adsorção para cálculos precisos de área superficial e porosidade. Em relação à especificidade, na adsorção física, por ser efetivamente um processo de condensação do gás, o adsorbato é capaz de produzir uma ou mais camadas sobre o sólido inerte; os poros podem ser preenchidos pelo adsorbato para medidas de volume de poros. Sendo assim, a adsorção física não é específica, podendo cobrir totalmente a superfície do sólido; é reversível, permitindo que tanto a adsorção como a dessorção sejam estudadas.

A quantidade adsorvida no método da adsorção gasosa, depende (F) da temperatura (T), pressão (p) e interação potencial (E) entre o vapor (adsorbato) e a superfície (adsorvente). Na mesma pressão de equilíbrio, a massa (m) do gás adsorvido em uma unidade de massa e temperatura do adsorvente é:

$$m = F(p,T,E) \quad (17)$$

Usualmente, a quantidade adsorvida é medida à temperatura constante, onde:

$$m = F(p,E) \quad (18)$$

O gráfico massa (m) x pressão (p), a temperatura constante chama-se isoterma de adsorção da interface particular vapor-sólido. O estudo das isotermas é a maneira mais conveniente para se especificar o equilíbrio da adsorção e seu tratamento teórico.

Brunauer, Deming, Deming & Teller (BDDT) (1940), depois de extensiva pesquisa na literatura, acharam que toda isoterma de adsorção obtida de dados experimentais deve se

adequar a um dos 5 tipos de isotermas (Figura 4.17), e cada tipo reflete diferentes condições ou diferentes características das substâncias envolvidas. Na literatura, existem milhares de isotermas de adsorção, medidas em uma larga variedade de sólidos. Entretanto, a maioria dessas isotermas, que resultam de adsorção física, podem convenientemente ser agrupadas nos cinco tipos mencionados, referidos como isotermas B.E.T. (Brunauer, Emmett & Teller, 1938) ou simplesmente de classificação Brunauer. As isotermas Tipo IV e V possuem histerese, que ocorre devido às diferenças existentes na quantidade de massa adsorvida com a quantidade desorvida numa mesma pressão relativa. Mas efeitos de histerese são suscetíveis a aparecer nas isotermas de outros tipos também. Além dos tipos clássicos, há casos de fronteira difíceis de relacionar a um tipo exato de isoterma.

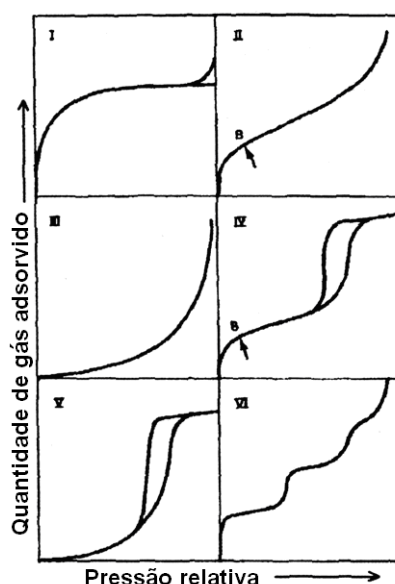


Figura 4.17 – Os cinco tipos de isotermas de adsorção, da classificação BDDT junto a isoterma tipo VI

Fonte: Adaptado de Gregg, S.J., Sing, K.S.W.; (1982)

Isotermas I: A adsorção ocorre em poucas camadas moleculares. Esta condição é encontrada também na quimissorção, onde a aproximação assintótica a uma quantidade limite indica que todos os sítios superficiais foram ocupados. Em adsorção física, ocorre em pós microporosos (menores que 20\AA) e a superfície exposta é quase que exclusivamente dentro dos microporos. Às baixas pressões relativas, as moléculas do gás encontram o potencial coincidente com o aumento da quantidade de gás adsorvido. Às altas pressões relativas, não ocorre praticamente nenhuma adsorção adicional.

Isotermas II: Ocorre em pós não porosos ou macroporosos. Um ponto de inflexão ocorre

geralmente perto do término da primeira monocamada adsorvida e com o aumento da pressão relativa, as outras são adsorvidas sucessivamente.

Isotermas III: O calor de adsorção do adsorbato é menor que o calor de liquefação do adsorbato. Por isso, a adsorção adicional é facilitada porque a interação adsorbato/camada adsorvida é maior que a interação adsorbato/superfície adsorvente. Esta isoterma é característica de materiais não porosos ou macroporosos.

Isotermas IV: Adsorventes porosos com raio variando de 15-1000 Å. A inclinação aumenta com o aumento da pressão relativa devido ao aumento da quantidade de adsorbato nos poros. Como no tipo II, o ponto de inflexão ocorre próximo ao término da primeira monocamada.

Isotermas V: Resultam da pequena interação potencial adsorvente/adsorbato como tipo III. São características de materiais mesoporosos ou microporosos.

Isotermas VI: Um novo tipo de isoterma relativamente rara e de particular interesse teórico.

As isotermas obtidas teórica ou empiricamente podem, freqüentemente, ser representadas por equações simples que relacionam diretamente o volume adsorvido (V) em função da pressão do gás (p). A Tabela 4.5 apresenta uma série de equações de isotermas de adsorção, propostas por alguns pesquisadores ao longo de seus desenvolvimentos históricos.

Tabela 4.5 - Isotermas de adsorção

NOME	EQUAÇÃO DE ISOTERMA	APLICAÇÃO (ADSORÇÃO)
Langmuir	$\frac{V}{V_m} = \theta = \frac{pK}{1 + pK}$	Física e química
Freundlich	$V = kp^n, n \geq 1$	Física e química
Henry	$V = k'p$	Física e química
Temkin	$\frac{V}{V_m} = \theta = \frac{1}{a} \ln C_0 p$	Química
Brunauer, Emmett e Teller (BET)	$\frac{p}{V(p_0 - p)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-1}{V_m C} \times \frac{p}{p_0}$	Física em multicamada

Nessas equações:

V = volume adsorvido (geralmente expresso em cm^3 em mL em condições normais de temperatura e pressão);

V_m = volume requerido para cobrir a superfície do adsorvente com uma camada monomolecular de adsorbato;

θ = fração da monocamada coberta à pressão de equilíbrio p ;

p_0 = pressão de vapor do adsorbato; sendo todos os outros, símbolos constantes.

Não existia, até 1938, teoria que pudesse explicar as curvas das isotermas. A explicação veio da teoria de Brunauer, Emmett e Teller (BET) (Brunauer, Emmett & Teller, 1938), que permite a medida da área superficial e de calores de adsorção. Ela foi, possivelmente, o maior fator de progresso no campo da catálise heterogênea, desde 1938, quando foi elaborada. Esta teoria emprega as mesmas considerações iniciais feitas com a equação de Langmuir (Langmuir, 1918), mas assume, que o tratamento da monocamada localizada pode ser estendido a diversas camadas, da forma exposta a seguir: despreza-se no tratamento as interações laterais e assume-se uma superfície homogênea. Dentre seus conceitos mais importantes, eles discutiram, por exemplo, que no equilíbrio a velocidade de condensação (adsorção) na superfície limpa é igual a velocidade de evaporação (dessorção) da primeira monocamada. Sendo assim, as equações de velocidade de adsorção e dessorção podem ser

igualadas, como na equação de Langmuir. Do mesmo modo, as expressões de velocidade de condensação da primeira monocamada e a velocidade de evaporação da segunda monocamada podem ser igualadas, e assim por diante. Como argumento simplificador, foi sugerido que o calor de adsorção ou condensação é o mesmo na segunda camada e em cada uma das subseqüentes, assim como o calor de liquefação do gás.

Baseado nesta teoria de adsorção gasosa pelo método BET existem hoje equipamentos bastante sofisticados no qual se consegue perfeitas reproduções do fenômeno da adsorção, levando em consideração mínimos detalhes da técnica como melhor gás adsorvente para determinado material, entre outros, obtendo-se assim confiáveis resultados de medidas de área superficial e porosidade em variados materiais.

A área superficial total pode ser calculada a partir da equação:

$$\frac{1}{m \left(\frac{p_0}{p} - 1 \right)} = \frac{1}{m_m C} + \frac{C-1}{m_m C} \times \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (19)$$

onde C é denominado constante de BET e está relacionado com a energia de adsorção da primeira monocamada, m é a massa do gás adsorvido a uma pressão relativa p/p_0 e m_m a massa adsorvida em uma monocamada.

O gráfico de

$$\frac{1}{m \left[\left(\frac{p_0}{p} \right) - 1 \right]} \times \frac{p}{p_0} \quad (20)$$

produz uma reta na faixa de $0,05 \leq p/p_0 \leq 0,35$ como visto na Figura 4.18.

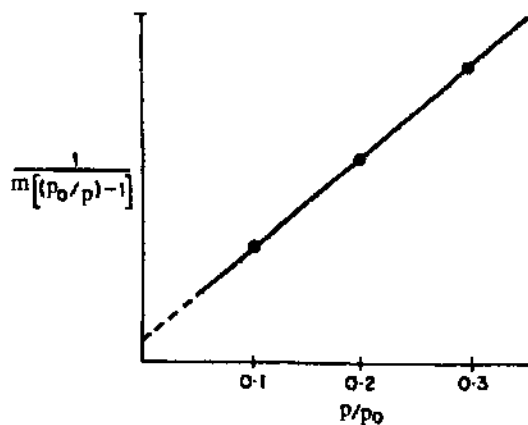


Figura 4.18 - O gráfico de $\frac{1}{m \left[\left(\frac{p_0}{p} \right) - 1 \right]} \times \frac{p}{p_0}$

A interseção s e a inclinação i do gráfico BET são:

$$s = \frac{C - 1}{m_m C} \quad (21)$$

$$i = \frac{1}{m_m C} \quad (22)$$

Resolvendo as equações para m_m , a massa adsorvida em uma monocamada,

$$i = \frac{1}{s + i} \quad (23)$$

e a solução de C é:

$$C = \frac{s}{i} + 1 \quad (24)$$

A área superficial total é então:

$$S_t = \frac{m_m N A_{cs}}{MM} \quad (25)$$

Sendo que A_{cs} é a área molecular de seção transversal da molécula do adsorbato, N é o número de Avogadro e MM é a massa molar do adsorbato.

A área superficial específica (ASE) pode ser determinada dividindo S_t pela massa molecular da amostra (Gregg, S.J., Sing, K.S.W.; 1982)

Quando ocorre adsorção suficiente para a cobertura de exatamente uma camada de moléculas, a fração de superfície não coberta $(\theta_0)_m$ é dependente do valor C da equação BET e é dado por:

$$(\theta_0)_m = \frac{C^{\frac{1}{2}} - 1}{C - 1} \quad (26)$$

Observa-se pela equação que quando ocorre adsorção suficiente para completar uma monocamada, há ainda sempre alguma fração de superfície desocupada. Apenas para valores de C se aproximando do infinito θ_0 aproxima-se de zero. São os casos de alta interação adsorbente-adsorbato resultante de uma quimissorção. Para valores de C próximos de 100 (valores comuns de trabalho), a fração de superfície não ocupada é próxima de 0,091. Deve-se observar então, que a equação BET indica a massa de adsorbato necessária para formar uma monocamada na superfície, embora tal fenômeno, uma monocamada uniforme, não aconteça na realidade no caso da adsorção física.

O sucesso das teorias de medidas de área superficial depende da habilidade para se calcular o número de moléculas para cobrir exatamente uma camada de adsorbato, e da habilidade para se calcular a área da seção transversal de uma molécula de adsorbato.

A teoria B.E.T é até hoje utilizada devido a sua simplicidade, por ser conclusiva, e hábil para acomodar cada um dos cinco tipos de isotermas. A equação BET de forma mais geral dá a equação de Langmuir ou isoterma tipo I, quando $n = 1$. As isotermas, tipos IV e V, são modificações dos tipos II e III devido à presença de poros.

4.3.4 Picnometria a Hélio

As análises no picnômetro a hélio foram obtidas no aparelho Multipycnometer modelo MVP-4DC Quantachrome Corporation e ocorreram no Laboratório de Materiais Nanoestruturados do Departamento de Química da UFMG. As amostras foram tratadas em estufa a 150°C antes das análises e resfriadas num dessecador. As medidas foram repetidas no mínimo três vezes para cada análise. A média é obtida desde que a variação entre elas não seja superior a 5%.

A técnica emprega o princípio de Arquimedes de fluido deslocado para determinar o volume. O fluido deslocado é um gás que pode penetrar nos mais finos poros, assegurando um máximo de precisão. Por essa razão, hélio é recomendado, pois além de ser um gás ideal, sua pequena dimensão atômica assegura penetração dentro das fendas e poros de aproximadamente 1Å. No multipicnômetro, é possível determinar a densidade real de sólidos ou amostras em pó pela medida da diferença de pressão quando uma quantidade conhecida de hélio sob pressão flui de um precisamente conhecido volume de referência (V_R) para uma célula (porta-amostras) contendo o sólido ou material em pó. A área hachurada na Figura 4.19 representa o volume de referência V_R conhecido

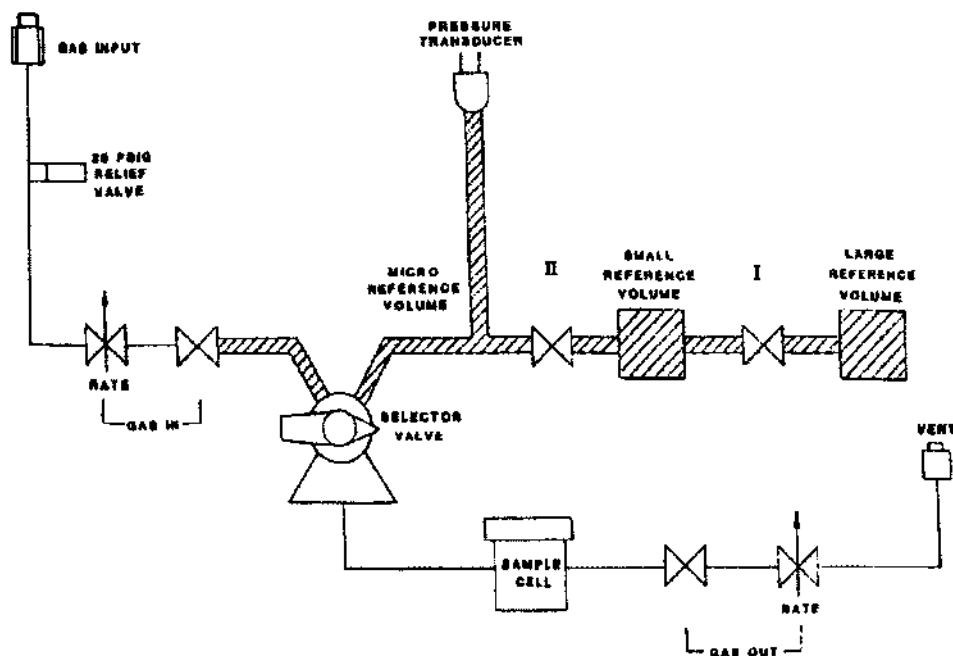


Figura 4.19 - Esquema do picnômetro a hélio

O sistema fica à pressão ambiente p_a e o estado da célula com amostra é definido por:

$$p_a(V_c - V_p) = n_aRT_a \quad (27)$$

Sendo n_a o número de mols de gás ocupado no volume da célula (V_c) incluindo o volume do pó (V_p), a constante dos gases (R) e a temperatura ambiente (T).

Quando o volume de referência é pressurizado a aproximadamente 17 psi acima da pressão ambiente, o estado do volume de referência (V_R) pode ser expresso como:

$$p_1V_R = n_1RT_a \quad (28)$$

onde p_1 representa uma pressão acima da ambiente e n_1 é o número de mols de gás total no volume referência (V_R).

Quando a válvula seletora é conectada à célula, a pressão cai a um nível mais baixo, p_2 , dado por:

$$p_2(V_c - V_p + V_r) = n_aRT_a + n_1RT_a \quad (29)$$

Substituindo nas equações 27 e 28, $p_a(V_c - V_p)$ e p_1V_R por n_aRT_a e n_1RT , respectivamente, obtêm-se:

$$p_2(V_c - V_p + V_R) = p_a(V_c - V_p) + p_1V_R \quad (30)$$

ou

$$(p_2 - p_a)(V_c - V_p) = (p_1 - p_2)V_R \quad (31)$$

então

$$V_c - V_p = \frac{p_1 - p_2}{p_2 - p_a} V_R \quad (32)$$

Sendo p_a igual a zero no medidor digital, e todas as medidas de pressão relacionadas a p_a , a equação 27 torna-se:

$$V_c - V_p = \frac{p_1 - p_2}{p_2} V_R \quad (33)$$

ou

$$V_p = V_c - V_R \left[\left(\frac{p_1}{p_2} \right) - 1 \right] \quad (34)$$

A equação 12 é a empregada para o cálculo do volume da amostra. Posteriormente, a densidade real é obtida através da razão de massa pelo volume medido.

4.4 Determinação da resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão foram moldados corpos-de-prova conforme determina a norma ABNT-NBR 8492 que prescreve o método para determinação da resistência à compressão e da absorção de água de tijolos maciços de solo-cimento para alvenaria. A moldagem será descrita a seguir.

4.4.1 Preparação dos corpos-de-prova

Na moldagem de acordo com a norma citada foram feitas algumas alterações que se julgaram necessárias por se tratar de adobe e não existir norma específica para sua produção e para determinação de sua resistência à compressão.

Como uma destas adaptações, não se submeteu os adobes a ensaio de determinação de absorção de água, por estes não resistirem a este teste, como referido em Lavinski et al. (1991) apud Mesa Valenciano (1999), por se verificar que estes se desintegram completamente após poucas horas de imersão.

Cada amostra foi marcada, conforme Figura 4.20, em duas maiores laterais opostas com as referências de acordo com a fôrma: K ou R; com a composição: T, A ou B, seguido de numeração conforme a ordem de produção: de 1 a 20.



Figura 4.20 – Marcação dos adobes

Foto: Autor

Procedeu-se à medição e pesagem de todos os adobes, sendo cada dimensão medida em três posições diferentes e registrada a média das três, para cada dimensão conforme ABNT-NBR 8492. Estas medidas serão utilizadas na verificação da retração média sofrida e determinação da porosidade média.

A determinação da retração pode ser feita pela variação da maior dimensão dos adobes selecionados após secagem, em relação às dimensões do adobe desenformado, que corresponde às dimensões da forma utilizada.

A porosidade pode ser determinada pela seguinte equação:

$$P(\%) = \frac{V_p}{V_s + V_p} \times 100 \quad (35)$$

onde

V_p = volume de poros;

V_s = Volume se sólidos.

Neste trabalho, a porosidade média de cada lote será determinada pela seguinte equação:

$$P(\%) = 1 - (\rho_{ap}/\rho_r) \times 100 \quad (36)$$

na qual

ρ_{ap} = densidade aparente;

ρ_r = densidade real.

A densidade aparente do material pode ser obtida pela razão entre a média das massas e o volume médio dos adobes de cada lote. Estes valores podem ser encontrados no anexo I. A densidade real dos sólidos foi obtida por picnometria a Hélio.

Verificou-se que os adobes moldados apresentaram fissuras expressivas durante o processo de secagem, principalmente os de maior dimensão (fôrma K: 26 x 13 x 8 cm). A presença de fissuras assim como a deformação ocorrida na moldagem, presença de empeno, deformações causadas no transporte ou presença de corpos estranhos visíveis na superfície dos tijolos foram critérios de exclusão dos adobes na seleção de amostras para corpos-de-prova de cada lote. Alguns foram excluídos como excedentes, apesar de não apresentarem nenhum dos problemas usados como critério de exclusão. Estes foram armazenados para substituição de algum dos selecionados que, eventualmente, sofresse alguma avaria no processo de preparação dos corpos-de-prova. A relação dos adobes selecionados e excluídos pode ser encontrada no Anexo I.

Do total de treze amostras selecionadas de cada lote prepararam-se dez corpos-de-prova. Sendo que cada amostra foi cortada ao meio, como pode ser visto na Figura 4.21, perpendicularmente à sua maior dimensão, com serrote comum, realizando um entalhe de aproximadamente 10mm de profundidade perpendicular à cada face do tijolo e aplicado um golpe com as mãos para promover a partição. Em sua grande maioria se partiram adequadamente, sendo que apenas dois exemplares se partiram de forma anômala e necessitaram ser substituídos.



Figura 4.21 – Corte dos adobes

Foto: Autor

Os adobes tiveram suas metades sobrepostas por suas faces maiores com as superfícies do corte em lados opostos, ligando-os por uma camada de argamassa colante do tipo AC II da marca Quatzolit⁷, com uma espessura aproximada de 2mm.

Depois de aguardado o endurecimento da argamassa, realizou-se o capeamento das superfícies inferior e superior, com a argamassa citada. Neste procedimento necessitou-se de adaptação do sistema de guias para capeamento referido na ABNT-NBR 8492, pois devido a diferenciações nas dimensões dos tijolos não se permitia, de maneira precisa, obter a espessura do capeamento adequada (2 a 3mm).

Para isto foi produzido um dispositivo (Figura 4.22) que pode ser utilizado para o capeamento, individualmente para cada superfície sendo necessário, para manter o paralelismo entre as faces, um instrumento de nível de bolha, posto em posições diferentes para cada corpo-de-prova.



Figura 4.22 – Sistema de Guias

Foto: Autor

Posteriormente ao capeamento de todos os tijolos em suas duas faces de trabalho, executou-se a retificação das arestas das faces, realizada com serra. Fez-se, em seguida, a medição das áreas de trabalho (Figura 4.23), determinou-se a média destas, para cada corpo-de-prova, que foram registradas para cálculos posteriores.

⁷ Esta adaptação é aceitável e prevista no item 4.2.1.1 da ABNT-NBR 8492, o qual determina que: “Para obtenção do paralelismo e regularização das faces de trabalho dos corpos-de-prova, quaisquer outros processos ou materiais poderão ser usados, desde que, para fins de ensaio, surtam efeitos semelhantes ao da pasta.”



Figura 4.23 – Corpos-de-prova capeados e retificados

Foto: Autor

Os corpos-de-prova foram conduzidos para o Laboratório de Testes Físicos da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC – MG, sob coordenação do Professor Jorge Saffar e os ensaios realizados pelo técnico Marcílio Peixoto.

Os ensaios foram executados de acordo com a Norma ABNT-NBR 8492. Este ensaio, aplicado aos tijolos, consiste na aplicação de uma carga à razão de 50kgf/s até a ruptura do corpo-de-prova.

Para se calcular a tensão σ de compressão é utilizada a equação seguinte;

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (37)$$

Onde F é a carga instantânea aplicada em uma direção perpendicular à seção reta da amostra e A_0 representa a área da seção reta original antes da aplicação de qualquer carga. Para materiais como os adobes em estudo, não se justificam determinar as deformações sofridas pelos corpos-de-prova, pelo fato de apresentarem comportamento frágil, no qual as deformações permanentes no regime plástico, antes da ruptura podem ser consideradas desprezíveis.

Para o ensaio foi utilizada uma Máquina Universal para Ensaio da marca MOHR & FEDERAFF (Figura 4.24), com calibração de 4000kgf e 10000kgf, com certificação 0252/07 datada de 04/06/2007.



Figura 4.24 –Máquina para ensaios de compressão

Foto: Autor

Os tijolos foram postos individualmente, diretamente sobre o prato inferior da máquina de ensaio à compressão, de modo centralizado em relação a ele como na Figura 4.25A e para cada um foi aplicado o carregamento uniforme, à razão de 50kgf/s até a ocorrência de rompimento do corpo-de-prova (Figura 4.25B).



A



B

Figura 4.25 - (A) Corpo de prova colocado na prensa para ensaio de compressão; (B) Realização dos ensaios de compressão

Foto: Autor

Os resultados foram registrados em formulário específico para o ensaio. Onde se registraram em uma coluna, os nomes dos adobes, pela marcação feita em cada um e as cargas individuais registradas na linha correspondente a cada adobe na próxima coluna e na coluna seguinte, alguma ocorrência considerada relevante, como o tipo de rompimento. Os formulários podem ser encontrados no Anexo I.

Depois da execução dos ensaios de compressão, os corpos-de-prova rompidos foram armazenados para extração de fragmentos para determinação da densidade dos sólidos por

picnometria à hélio. Posteriormente todos eles foram depositados em tanque com água, onde após algumas horas se desintegraram completamente. Em seguida, as superfícies de capeamento de argamassa foram retiradas e dispensadas em caçamba da Prefeitura de Belo Horizonte, apropriada ao recolhimento de resíduos de construção.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise granulométrica conjunta do solo corrigido

Mediante análises visuais e tácteis o solo utilizado na produção foi caracterizado como argiloso, considerando que seria necessário fazer a correção granulométrica para que ele apresentasse condições adequadas para produzir os adobes. Posteriormente, foi feita em laboratório a análise granulométrica do solo já corrigido e este apresentou a seguinte composição (Figura 5.1):

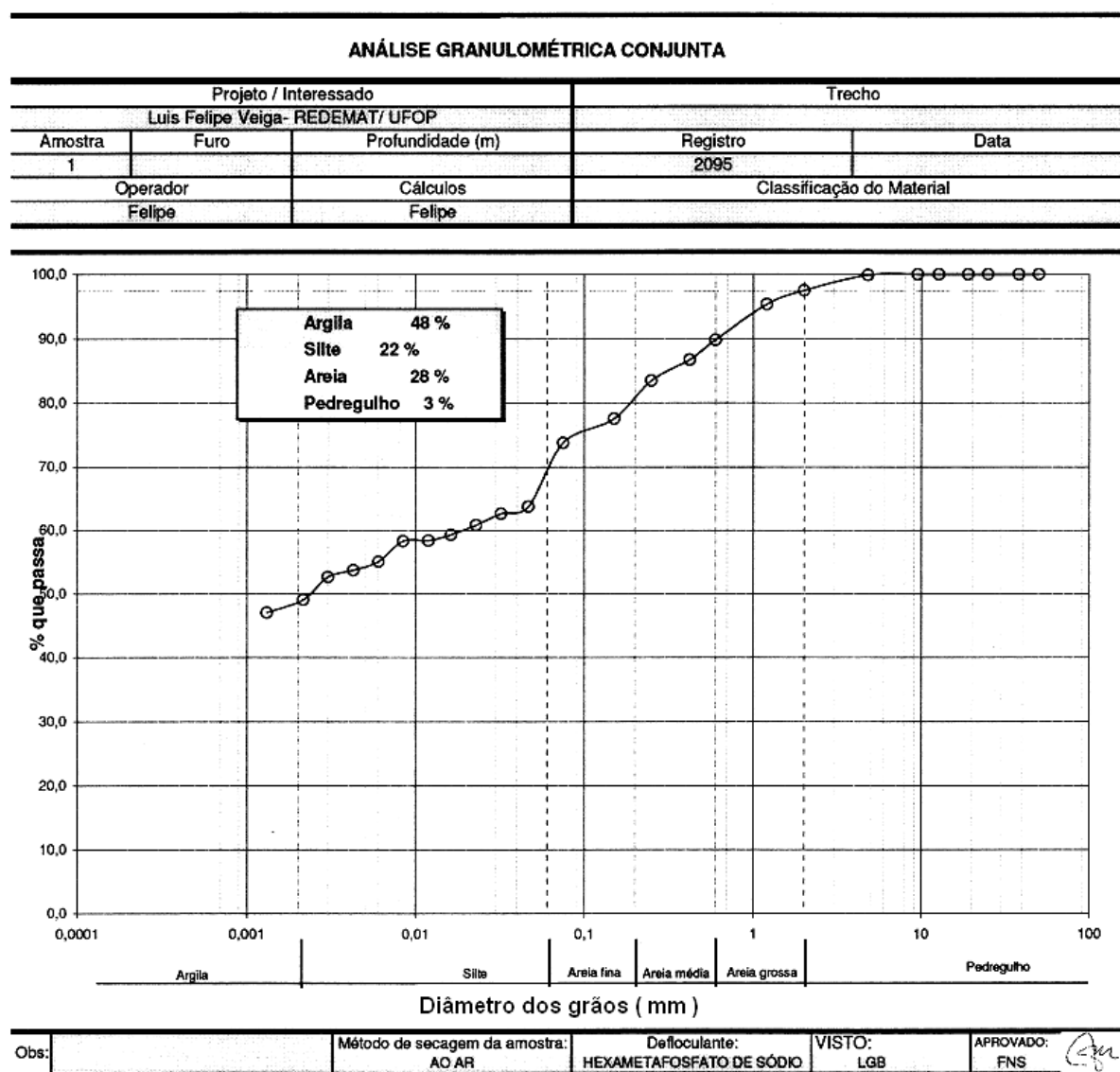


Figura 5.1 – Curva granulométrica do solo corrigido

Fonte: ConcreSolo

Verifica-se nestes dados que o solo apresenta predominância de argila: 48,0%. A fração de silte é de 22,0%, a porcentagem de areia é de 28,0% e ainda uma pequena fração de pedregulhos igual a 3,0%. Observa-se que esta composição granulométrica difere amplamente dos valores encontrados na literatura nos quais os adobes apresentaram propriedades mecânicas satisfatórias. Mesmo com a adição de areia, esta não proporcionou ao solo a granulometria com predominância de partículas grossas descritas por Corrêa et al. (2006) e por Hlaváč (1983), como mostrado na Figura 5.2:

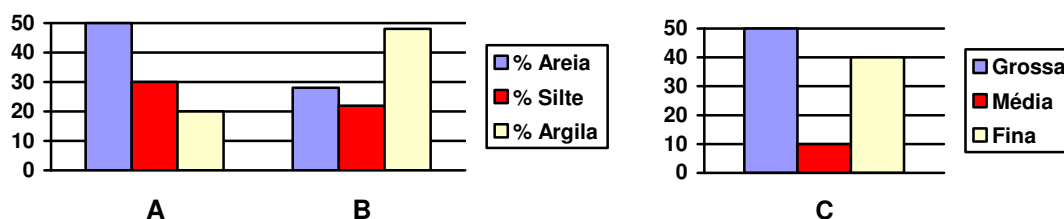


Figura 5.2 – (A) Composição granulométrica de Milanez (1958) apud Corrêa et al. (2006), (B) Composição granulométrica do solo preparado e (C) Distribuição granulométrica de Hlaváč (1983)

Fonte: Autor

A distribuição do tamanho das partículas é muito importante na preparação das misturas por ser um fator que permite controlar a porosidade dos corpos moldados. Além disso, a resistência à compressão é fortemente influenciada pelo tipo de partícula predominante, já que minerais como o quartzo nas areias são menos compressíveis que as partículas de argila, portanto, irá favorecer a resistência de todo o corpo.

5.2 Limites de consistência do solo preparado

O solo utilizado foi anteriormente analisado por testes expeditos realizados em campo, através dos quais se concluiu que o solo apresentava plasticidade adequada para a confecção de adobes. A seguir são mostrados dados referentes aos resultados dos ensaios realizados para determinação dos limites de consistência do mesmo solo utilizado. Os relatórios completos podem ser encontrados no anexo I.

5.2.1 Limite de liquidez (LL)

Foi determinado pelo ensaio de Casagrande (ABNT – NBR 6459), o teor de umidade que marca a passagem do solo utilizado, do estado de consistência plástico para o líquido. A

umidade para 25 golpes que corresponde ao limite de liquidez é de 50%, conforme mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Limite de Liquidez

Limite de Liquidez							
Determinação	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula No	22	4	75	83	166		
M_{c+s+w} (g)	10,91	15,78	11,70	12,54	13,06		
M_{c+s} (g)	8,72	13,50	9,63	10,28	11,06		
M_c (g)	4,85	8,97	5,38	5,53	6,78		
M_s (g)	4,07	4,53	4,25	4,75	4,28		
M_w (g)	2,19	2,28	2,07	2,26	2,00		
w (%)	53,8%	50,3%	48,7%	47,6%	46,7%		
Número de Golpes	12	22	32	42	50		
$\ln(N)$	2,48	3,09	3,47	3,74	3,91		
Utilizar valor (s/n)	s	s	s	s	s		

Resultados do Ensaio	
Equação da Retra: $w = a \ln(N) + b$	
a =	-0,0490
b =	0,6578
Dados Satisfatórios (s/n):	s
LL =	50%
OBSERVAÇÕES	
VISTO:	
LGB	
APROVADO:	
FNS	<i>[Assinatura]</i>

Fonte: ConcreSolo

5.2.2 Limite de plasticidade (LP)

Determinou-se o teor de umidade para a transição do estado plástico para o semi-sólido, pelo procedimento ABNT – NBR 7180. O limite de plasticidade é de 31%. O resultado obtido é mostrado na tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Limite de Plasticidade

Limite de Plasticidade						
Determinação	1	2	3	4	5	6
Cápsula N ^o	(-)	72	117	120	129	178
M_{c+s+w} (g)		5,92	5,88	5,95	10,04	8,33
M_{c+s} (g)		5,65	5,58	5,63	9,73	8,04
M_c (g)		4,79	4,60	4,65	8,75	7,09
M_s (g)		0,86	0,98	0,98	0,98	0,95
M_w (g)		0,27	0,30	0,32	0,31	0,29
w (%)		31,4%	30,6%	32,7%	31,6%	30,5%
Utilizar valor na média (s/n)		S	S	S	S	S
w (para compor a média) (%)		31,4%	30,6%	32,7%	31,6%	30,5%
LP (médio) (%)		31%				

Fonte: ConcreSolo

5.2.3 Índice de plasticidade (IP)

A partir da diferença entre os limites representados, o índice de plasticidade – IP descrito pela equação (16) pôde ser determinado como 19%. Conforme foi relatado na página 76, para determinação deste índice, $IP > 15$ caracteriza o solo como altamente plástico e por se tratar de um solo argiloso, o elevado IP indica que o solo é muito compressível, ou seja, não deve apresentar resistência à compressão elevada.

5.2.4 Limite de contração (LC)

Foi realizado o experimento descrito na página 76 e determinou-se em 28% o teor de umidade que marca a transição do estado semi-sólido para o estado sólido. Valor abaixo do qual o solo pode apresentar trincas durante o processo de secagem. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 5.3

Tabela 5.3 - Limite de Contração

Limite de Contração					
Nome da Amostra:		A1	A3	A3	A4
Volume da forma: V_o	(cm^3)	1728,00	2704,00	1728,00	2704,00
Peso solo seco: P_s	(g)	2251,00	3743,00	2336,00	3705,00
Volume solo seco: V_f	(cm^3)	1465,30	2415,64	1484,42	2351,55
Grau de Contração: $C_i = (V_o - V_f) / V_f * 100$	(%)	17,93	11,94	16,41	14,99
Densidade dos grãos: $\bar{\delta}_s$	(g/cm^3)	2,77			
$LC_i = (V_f / P_s - 1 / \bar{\delta}_s) * 100$	(%)	29,08	28,52	27,53	27,45
Limite de Contração: $\Sigma LC_i / n^\circ$ Amostras	(%)	28,15			
Limite de Contração: LC		28%			

5.2.5 Grau de contração (C)

Para determinar o grau de contração (C) do solo procede-se à média dos valores deste indicador, medidos para cada amostra usada na determinação do limite de contração conforme equação (10). Pela tabela 5.3 obteve-se, portanto, 15,32% para o grau de contração deste solo. O valor de C maior que 15% indica que o material corresponde a um solo em condição péssima quanto à compressibilidade.

O conjunto dos indicadores para este solo pode ser visto na Tabela 5.4 e comparando-o com dados da tabela 5.5, podemos verificar que o solo estudado tem seus indicadores enquadrados nos limites do argilo-mineral Caulinita.

Tabela 5.4 – Conjunto dos Limites e índices físicos

Conjunto dos limites e índices físicos (%)				
LL	LP	LC	IP	C
50	31	28	19	15,32

Fonte: Autor

Tabela 5.5 – Classificação dos argilo-minerais quanto aos limites de consistência

Argilo-minerais	Limite de Liquidez LL (%)	Limite de Plasticidade LP (%)	Limite de Contração LC (%)
Montmorilonita	100 - 900	50 - 100	8,5 - 15
Ilita	60 - 120	35 - 60	15 - 17
Caulinita	30 - 110	25 - 40	25 - 29

Fonte: Adaptado de Mitchell, 1976 apud Centro de Tecnologia UFSM

Observa-se ainda, com a análise dos indicadores, que a quantidade de água utilizada no processo de preparação do solo para confecção dos adobes, se aproxima muito do limite de contração (28%) deste solo, o que implicou em elevada perda de amostras por presença de fissura, conforme pode ser visto na tabela 5.6. O índice geral de perdas por fissuras, dado pela média das perdas em cada lote foi de 20,83%. Pode-se considerar elevada perda, apesar de não se ter Norma específica para determinação de um percentual aceitável, por se tratar de um processo artesanal e, portanto, a perda elevada implica em maior desgaste da força de trabalho humano.

Tabela 5.6 – Exclusão pela presença de fissura em cada lote

Exclusão por presença de fissura					
KT	KA	KB	RT	RA	RB
8/20	5/20	3/20	4/20	3/20	2/20
40%	25%	15%	20%	15%	10%

Fonte: Autor

Considerando que as umidades medidas dos solos utilizados nas composições T, A e B apresentaram uma pequena variação como foi relatado anteriormente, constata-se que os

adobes cujas umidades se aproximaram mais do limite de contração (série T) apresentaram maior porcentagem de perda por trincas, enquanto aqueles que tiveram umidade mais próxima do limite de plasticidade (série B) apresentaram menor perda por presença de fissuras, conforme mostrado na figura 5.3.

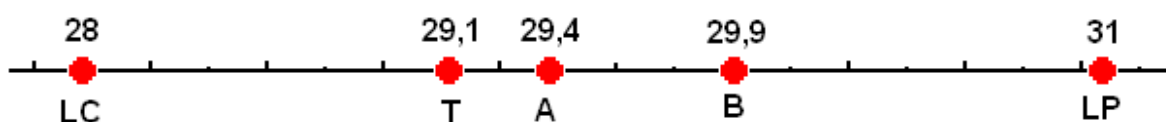


Figura 5.3 - Relação da umidade dos adobes com os limites de consistência

Fonte: Autor

Pode-se observar que os lotes de adobes maiores (séries K) apresentaram fração maior de perda por fissura (16/60 ou 26,7%), que os menores (série R, 9/60 perda de 15,0%), em concordância com Kingery (1976) apud Callister Jr (2002) onde afirma que o surgimento de trincas tende a ser mais pronunciados em corpos de maior dimensão. Este efeito ocorre, possivelmente, devido a maior distância a ser percorrida pela água do interior até a superfície no processo de secagem, considerando que a maior distância pode implicar em menor taxa de difusão capilar e conseqüente elevação da taxa de evaporação na superfície. Ambas as taxas devem ser mantidas mais próximas possível, para que se tenha contração uniforme do corpo sem ocorrência de defeitos.

Nota-se que nos adobes com amido a perda por fissura foi menor em relação aos adobes Testemunha. Observa-se também que entre aqueles que se adicionou amido, a perda por fissura foi menor para os de composição B com 0,4% de amido cuja perda foi de 5/40 ou 12,5%. Para os adobes de composição A contendo 0,8% de amido a perda foi de 8/40 ou 20,0%. Isto nos indica que maior quantidade de água retida pelo amido na composição A pode ter proporcionado diminuição da taxa de difusão de água para a superfície ocasionando maior taxa de evaporação na superfície e assim formação de trincas.

5.2.6 Retração e porosidade dos adobes

A determinação da retração linear média percentual, para cada lote foi medida pela variação da maior dimensão dos adobes selecionados após secagem, em relação à maior dimensão

do tijolo desenformado, que corresponde ao comprimento da forma utilizada. Foi também determinada a retração volumétrica média percentual pela variação do volume dos adobes selecionados após secagem em relação ao volume da forma utilizada.

Para determinação da porosidade, a densidade aparente do material foi determinada pela razão da média das massas dos adobes de cada lote (ver anexo I). A densidade real dos sólidos foi obtido por picnometria a Hélio cujo resultado é mostrado na Tabela 5.7. O erro máximo dado pelo equipamento é de 0,86%.

Tabela 5.7 – Média da densidade real

Média Densidade Real (g/cm³)	2,7765
Desvio Padrão (g/cm ³)	0,0054
Erro (%)	0,8599

Os valores encontrados para as médias das retrações e da porosidade dos adobes podem ser vistas na tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Porosidade e retrações médias dos lotes de adobes

LOTE	KT	KA	KB	RT	RA	RB
POROSIDADE MÉDIA (%)	41,64	40,82	44,04	41,51	39,43	42,96
RETRAÇÃO LINEAR MÉDIA (%)	1,73	4,75	3,12	6,29	9,77	8,23
RETRAÇÃO VOLUMÉTRICA MÉDIA (%)	13,59	24,89	16,82	17,72	27,7	22,64

Fonte: Autor

Observa-se na tabela 5.8 que os adobes de todos os lotes apresentam porosidades muito elevadas, o que indica que podem apresentar baixas resistências mecânicas.

Verificou-se que a maioria dos lotes de adobes de ambas as dimensões (K e R) apresentaram valores muito elevados de contração, sendo que apenas os adobes do lote KT (retração linear média igual a 1,73%) se apresentaram próximos da média de 2,0% considerada por Neves (2005) como dentro da faixa de estabilidade dimensional aceitável. Foi observado que os adobes de maior dimensão (forma K: 26 x 13 x 8cm) sofreram menores retrações percentuais que os adobes de menor dimensão (forma R: 24 x 12 x 6cm).

Os adobes com adição de 0,8% de amido (lotes KA e RA) apresentaram maiores retrações linear e volumétrica média, enquanto que os adobes Testemunha sofreram a menor retração linear.

Quanto à retração volumétrica, podemos observar que os adobes com amido apresentaram retrações elevadas, em média 26,3% para composição A e 19,7% para composição B. Isto sugere que este efeito tenha relação com processo de gelatinização e geleificação do amido, no qual ocorre a dissolução dos grânulos com a abertura das redes formadas pelas cadeias de amilose e amilopectina. Neste processo as redes abertas poderão estabelecer maiores interações com partículas de solo. Além disso, durante o processo de secagem as partículas do solo, assim como as cadeias do amido perderão a água superficial que as envolvem e poderão estabelecer maior contato entre elas e conseqüentemente contrair como um todo, de modo mais uniforme.

5.3 Caracterização química do solo utilizado

Amostras dos solos utilizados nas composições A e B foram analisados com microsonda EDS para se determinar os elementos presentes, como pode ser visto na Figura 5.4.

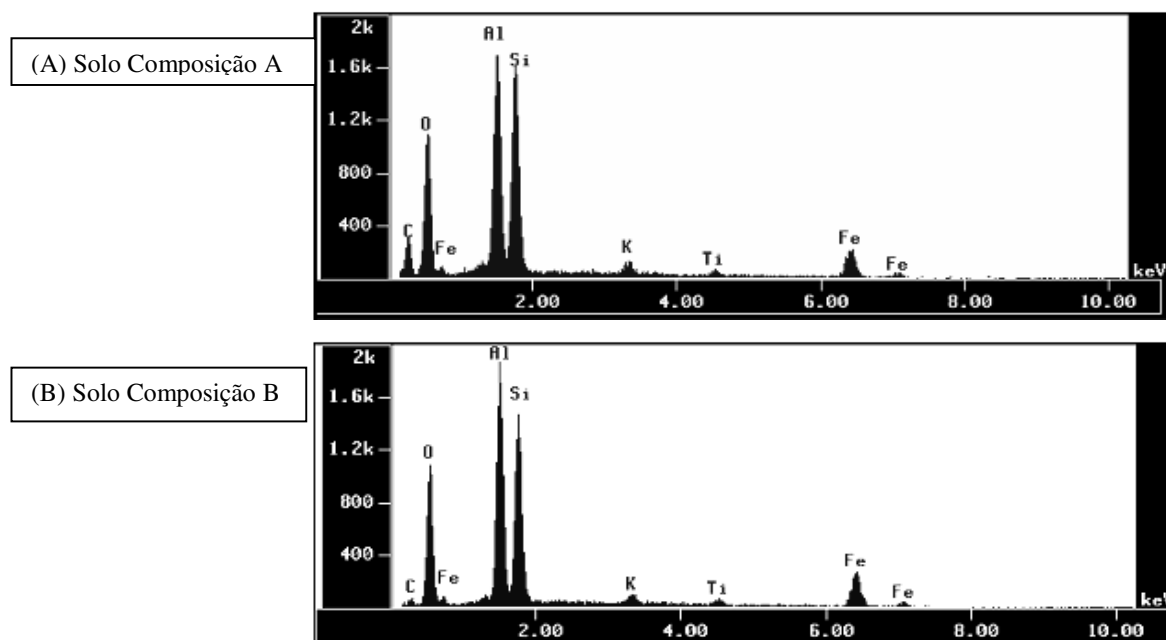


Figura 5.4 – Análise em EDS; (A) Composição química do Solo A; (B) Composição química do Solo B.

Fonte: Laboratório de Microanálise - convênio Física / Química / Geologia – UFMG / CDTN.CNEN

Os resultados do EDS (Figura 5.5) mostram que os elementos predominantes nas amostras são alumínio e silício, os quais são os principais componentes das argilas. A presença de ferro e titânio possivelmente combinados com oxigênio formando óxidos, são elementos que conferem aos solos estudados a coloração vermelho-alaranjada. A presença de carbono pode indicar a presença de matéria orgânica já que os solos estudados foram utilizados em estado natural e ainda, foram adicionadas a eles pequenas quantidades de amido. Na Tabela 5.9 se encontram as frações percentuais de cada elemento presente no solo A e no solo B.

Tabela 5.9 – Composição química do solo composição A e B

	Elemento	C	O	Al	Si	K	Ti	Fe
Solo A	Fração(%)	1,15	20,67	35,43	29,15	3,23	2,49	7,88
Solo B	Fração(%)	5,23	20,14	33,48	30,36	2,98	2,23	5,58

Fonte: Laboratório de Materiais do Departamento de Química da UFMG

Para a determinação das fases presentes nas amostras das composições de solo estudadas procedeu-se à análise por difração de raios X, cujos resultados podem ser vistos na Figura 5.5.

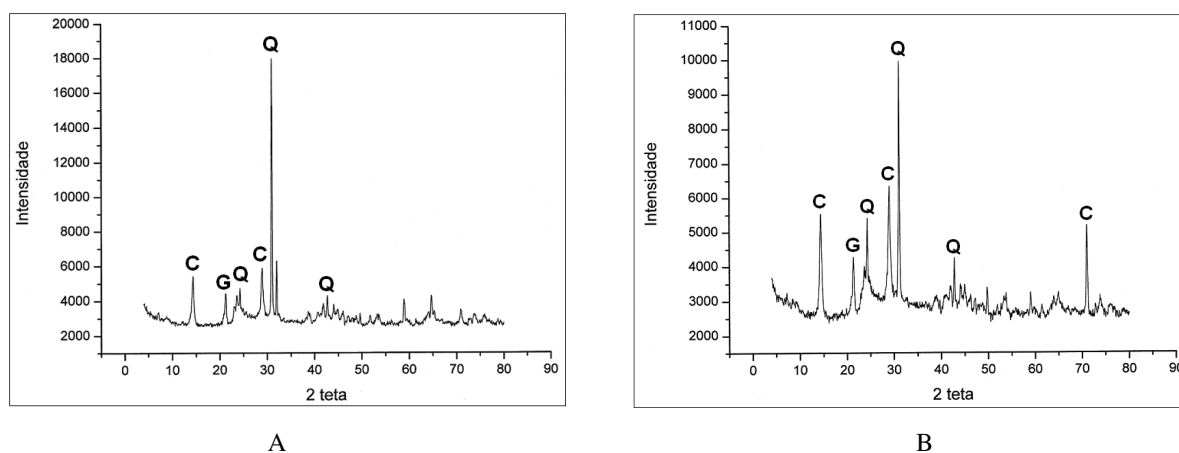


Figura 5.5 – Difratomogramas de raios X (A) Difrátograma Solo A; (B) Difrátograma Solo B

Fonte: Departamento de Química da UFMG

Desta análise podemos observar a predominância de constituintes dos argilominerais como quartzo SiO_4 cuja estrutura cristalina pode ser vista na Figura 5.6;

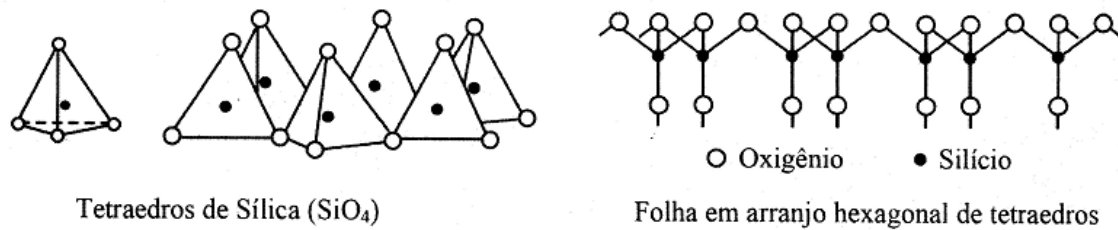


Figura 5.6 - Unidade cristalina dos tetraedros de sílica

Fonte: Centro de Tecnologia – Laboratório de solos - UFSM

gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$ conforme Figura 5.7;

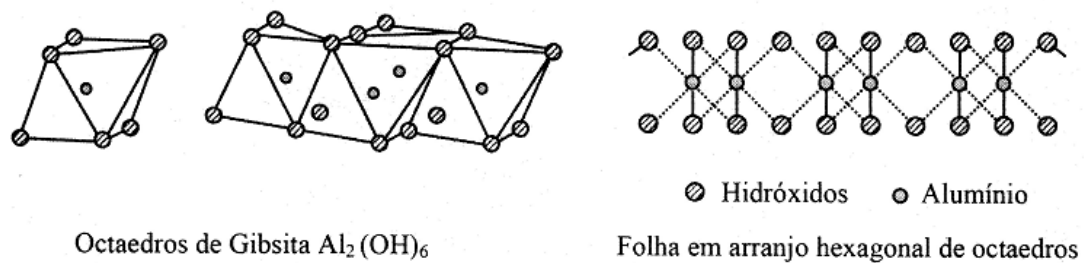


Figura 5.7 – Unidade cristalina dos octaedros de gibsite

Fonte: Centro de Tecnologia – Laboratório de solos - UFSM

e destes sob o arranjo estrutural da caulinita como visto na Figura 5.8.

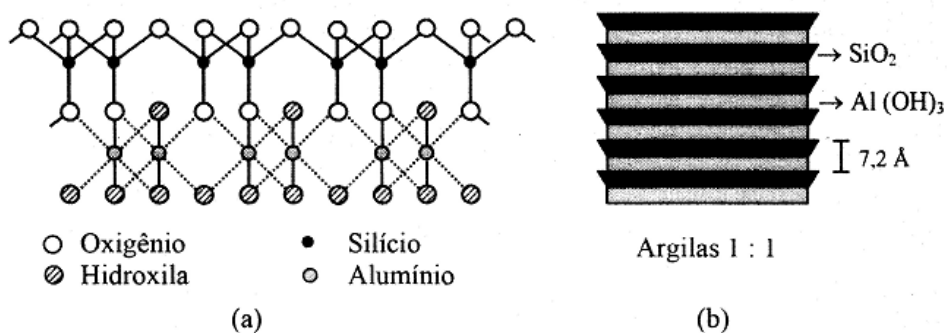


Figura 5.8 – (a) Unidade estrutural das caulinitas; (b) Arranjo de seis unidades estruturais das caulinitas

Fonte: Centro de Tecnologia – Laboratório de solos - UFSM

Associada à presença de óxido de ferro, o elevado teor de caulinita atesta a elevada retração sofrida pelos adobes, já que segundo Corrêa et al. (2006), materiais com alto teor de óxido de ferro e baixo caulínítico, tendem a ser pouco expansivos, e que sua presença no solo pode evitar a retração e o aparecimento de trincas e fissuras no processo de secagem.

A presença de caulinita determinada pelos limites de consistência está em concordância com o resultado verificado pela DRX.

5.4 Resistência à compressão dos adobes

Do ensaio de resistência a compressão simples observou-se que os corpos-de-prova rompidos (ver anexo I) apresentaram em sua maioria a forma de taça, típica para este material, como mostrado na figura 5.9.



Figura 5.9 – Corpo-de-prova rompido - formato típico: taça
Fonte: Autor

Para determinação da média de resistência à compressão simples tomou-se a média simples dos valores de resistência das dez amostras conforme ABNT-NBR 4892. Os resultados podem ser vistos na tabela 5.10:

Tabela 5.10 – Resultados do ensaio de compressão simples

Amostra	Área (cm ²)	Carga(kgf)	σ (Mpa)
KT1	144,00	2360	1,61
KT3	145,25	2370	1,60
KT4	143,40	2350	1,61
KT5	140,32	2140	1,49
KT6	140,00	2255	1,58
KT7	147,68	2530	1,68
KT8	148,33	2505	1,66
KT9	139,42	2560	1,80
KT10	145,42	2450	1,65
KT11	142,50	2350	1,62
Média da resistência do lote			1,63

Amostra	Área (cm ²)	Carga(kgf)	σ (Mpa)
RT2	110,83	2080	1,84
RT4	115,05	2280	1,94
RT5	115,89	2280	1,93
RT6	112,26	2180	1,90
RT7	116,52	2190	1,84
RT12	112,82	2230	1,94
RT15	109,53	1920	1,72
RT16	112,77	2220	1,93
RT17	115,34	2120	1,80
RT19	114,78	2090	1,78
Média da resistência do lote			1,86

Amostra	Área (cm ²)	Carga(kgf)	σ (Mpa)
KA2	134,14	2700	1,97
KA3	140,31	2980	2,08
KA6	131,04	2720	2,03
KA7	132,61	3210	2,37
KA9	136,20	3440	2,48
KA10	133,08	3030	2,23
KA11	131,01	2555	1,91
KA13	132,78	2805	2,07
KA14	142,12	2960	2,04
KA18	138,16	3020	2,14
Média da resistência do lote			2,13

Amostra	Área (cm ²)	Carga(kgf)	σ (Mpa)
RA2	107,67	2830	2,58
RA5	102,03	2700	2,59
RA6	105,08	2940	2,74
RA7	108,58	2850	2,57
RA9	104,05	2500	2,35
RA10	106,61	2605	2,39
RA11	109,15	2700	2,42
RA16	105,60	2960	2,75
RA19	106,05	3000	2,77
RA20	110,81	2460	2,18
Média da resistência do lote			2,54

Amostra	Área (cm ²)	Carga(kgf)	σ (Mpa)
KB4	144,10	2470	1,68
KB5	142,59	2315	1,59
KB7	143,51	2000	1,37
KB8	140,98	2090	1,45
KB9	142,29	2110	1,45
KB10	141,24	2210	1,53
KB11	140,44	2150	1,50
KB12	142,43	2300	1,58
KB15	136,31	2060	1,48
KB20	147,75	2665	1,77
Média da resistência do lote			1,54

Amostra	Área (cm ²)	Carga(kgf)	σ (Mpa)
RB4	110,30	2005	1,78
RB9	113,20	2020	1,75
RB12	114,47	2030	1,74
RB13	112,90	1930	1,68
RB14	105,59	1920	1,78
RB16	110,75	1920	1,70
RB17	114,29	1940	1,66
RB18	107,11	1930	1,77
RB19	112,38	2070	1,81
RB20	108,09	1900	1,72
Média da resistência do lote			1,74

Fonte: Autor

Para a análise dos resultados do ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova de tijolos adobe, tem-se como aceitável o valor referência de 2,0MPa, tal como estabelecido pela norma ABNT-NBR 4891 para a média da resistência de cada lote. A Norma ainda prescreve que nenhum resultado individual deve estar abaixo de 1,7MPa.

Verificou-se que a composição determinada para os adobes Testemunha, de ambas as dimensões K (26 x 13 x 8cm) e R (24 x 12 x 6cm), apresentaram a média dos resultados (1,63 e 1,86Mpa, respectivamente) abaixo da norma, sendo que, dentre as amostras KT

apenas um único resultado individual atingiu valor superior a 1,7MPa. Para as amostras RT, todos os resultados individuais se apresentaram acima do mínimo.

Para a série A com adição de 10% de pasta com 0,8% de amido, para ambas as dimensões K e R verificou-se uma diferença expressiva na resistência à compressão em relação às Testemunhas, estando a média dos valores acima do especificado pela norma (2,13MPa para lote KA e 2,53MPa para lote RA). Verificou-se que no lote KA duas amostras tiveram resistência abaixo de 1,7MPa, enquanto que no lote RA todas as amostras tiveram resistência acima de 2,0MPa.

Pode-se verificar que as médias de resistência à compressão para os lotes de menor dimensão (R), para todas as composições T, A e B foram superiores às médias das resistências dos lotes de maior dimensão (K), o que está de acordo com os resultados de Corrêa et al. (2006) quando se verifica que adobes mais robustos não significam que apresentam maior resistência à compressão. A menor resistência das amostras de maior dimensão pode ser atribuída à maior distância a ser percorrida pela água do interior até a superfície no processo de secagem produzindo maior porosidade.

Em análise dos resultados das amostras da série B contendo 10% de pasta com 0,4% de amido, verificou-se que ambas as dimensões apresentaram valores médios de resistência abaixo do valor tomado como referência, notando que para o lote KB todos os resultados individuais se apresentaram abaixo do mínimo e para o lote RB apenas duas amostras não atingiram 1,70MPa.

A baixa resistência apresentada pelos lotes de composição B pode ser consequência do maior teor de água na pasta, a qual não pôde ser absorvida no processo de gelatinização e geleificação do amido, promovendo, portanto, menor viscosidade do material e maior formação de poros durante a secagem.

Considera-se que a porosidade seja o fator de maior relevância na avaliação da resistência à compressão. O efeito da porosidade pode ser visto na Figura 5.10, que mostra a relação entre a porosidade média percentual e a média da resistência à compressão de cada lote de amostras.

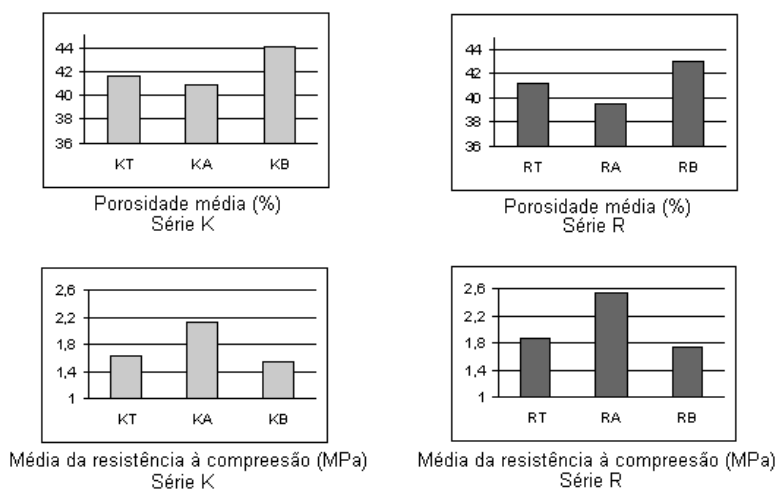


Figura 5.10 – Relação entre porosidade e resistência à compressão dos adobes
Fonte: Autor

Esta figura indica que maior teor de vazios implica em menor resistência à compressão, pois a resistência a este esforço é atribuída às partículas sólidas. Cabe observar que os materiais apresentam poros de grandes dimensões, conforme verificado em análise das isotermas apresentadas na Figura 5.11a e 5.11b para os solos de composição A e B respectivamente. Verifica-se que ambas se aproximam da Isoterma do tipo II que é característica de materiais macroporosos, nas quais se verifica histerese pouco significativa, resultante da saída dos gases dos poros na dessorção.

Composição A

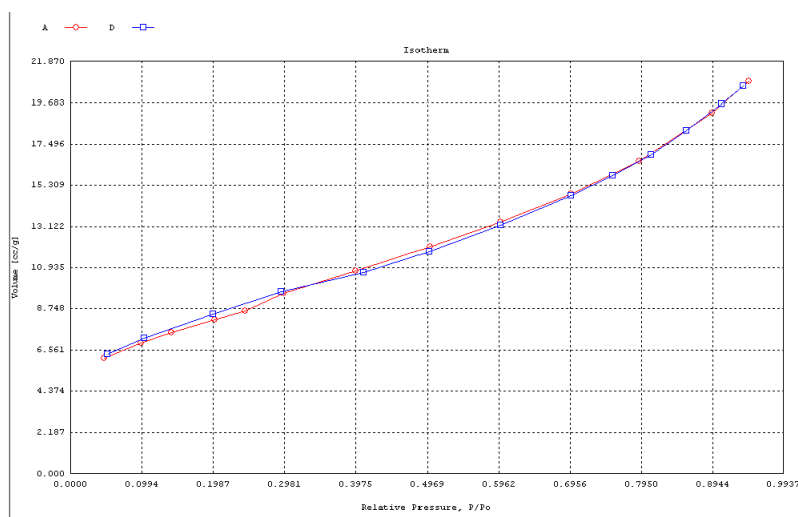


Figura 5.11a – Análise de BET; Isoterma Solo A
Fonte: Laboratório de Materiais Nanoestruturados - Departamento de Química da UFMG

Composição B

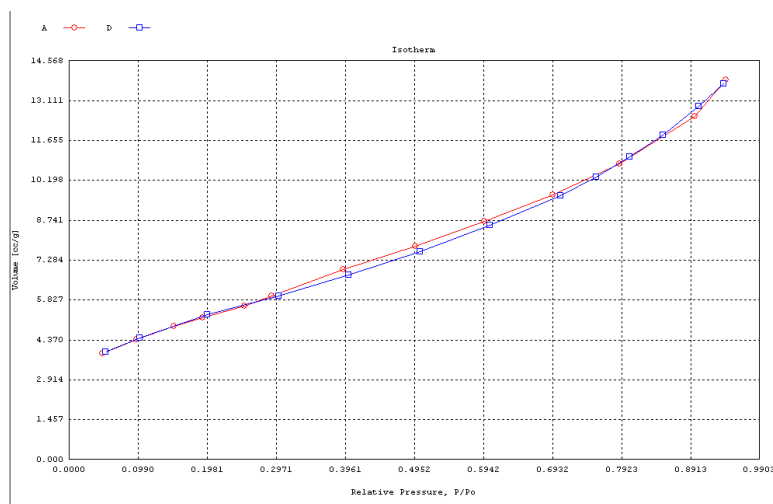


Figura 5.11b – Análise de BET; Isotherma Solo B

Fonte: Laboratório de Materiais Nanoestruturados - Departamento de Química da UFMG

Portanto, do mesmo modo, o ar contido nos poros pode ser expelido durante a aplicação do esforço de compressão, já que a porosidade nestes materiais é constituída principalmente de poros abertos, pois os adobes não são submetidos a processos de sinterização.

As baixas resistências apresentadas pelos adobes podem ser justificadas por suas elevadas porosidades. Porém, pôde ser identificado que determinada composição com amido proporcionou resistência adequada ao adobe, atendendo às exigências, quanto à resistência à compressão, necessárias para sua utilização.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Através do trabalho realizado pode-se concluir que houve convergências entre os modos de identificação de características quanto à composição granulométrica e propriedades de plasticidade dos materiais de solo selecionados para confecção de adobes realizados por testes expeditos e por análises procedidas em laboratório.

Tendo havido estas convergências na caracterização do solo, considera-se que o conhecimento popular pode proporcionar decisões empíricas, de caráter qualitativo eficientes, que atestam o reconhecimento e a valorização da combinação dos saberes populares com os conhecimentos técnicos, aplicados, neste caso, a um objetivo comum: a seleção de solos para a produção de adobes.

A elevada retração observada nas amostras pode ser atribuída ao alto teor de caulinita, associado à presença de ferro no solo utilizado, como verificado pela difração de raios X.

Verificou-se que a quantidade de água utilizada proporcionou um teor de umidade muito próximo do limite de contração, o que causou elevado índice de perdas por fissuras. Observou-se também que pequenas variações de umidade, possivelmente ocasionadas por fatores climáticos durante a secagem na preparação do solo, conferiram à série de composição B, menor perda por fissuras.

Diante desta elevada perda por fissuras, considera-se que o controle da temperatura, umidade do ar e ventilação visando diminuição desta ocorrência possa ser feita. Porém, estes processos de controle envolvem consumo de energia.

As baixas resistências à compressão apresentadas podem ser atribuídas à composição argilosa do solo verificada pelo elevado índice de plasticidade (IP = 19%), sendo que este acima de 15% atesta alta compressibilidade e, portanto, baixa resistência, assim como o

grau de contração que estando acima de 15% ($C = 15,32\%$) atribui ao solo a condição péssima quanto à compressibilidade.

Atribui-se também, à baixa resistência à compressão, a elevada porosidade (em torno de 40%), que significa elevado teor de vazios, os quais não contribuem com a resistência mecânica.

Observou-se que a composição de solo contendo 10% de pasta de amido com 8% de amido na pasta proporcionou aumento significativo da média de resistência à compressão em relação à média de resistência à compressão dos adobes testemunha. Este efeito foi observado para ambas as dimensões, K e R.

O mesmo não ocorreu com resistência à compressão dos adobes com composição de solo contendo 10% de pasta de amido com 4% de amido na pasta, considerando que este efeito pode ser atribuído ao maior teor de água na pasta, a qual não pôde ser absorvida no processo de gelatinização e geleificação do amido, promovendo, portanto, maior formação de poros no processo de secagem.

Pelos resultados da determinação da resistência à compressão dos corpos-de-prova confirmou-se que adobes de maior dimensão não significam que apresentam maior resistência a este esforço. A dimensão do corpo tem influência sobre o processo de secagem, e este sobre a retração e a porosidade. Sabe-se, conforme descrito, que a secagem é dependente do equilíbrio entre a taxa de difusão capilar e a taxa de evaporação na superfície e que ambas as taxas devem ser mantidas mais próximas possível. Optou-se pela secagem em condição determinada previamente (galpão coberto) referida pela literatura como adequada por se tratar de processo artesanal, enquanto que o controle da temperatura e ventilação envolve considerável consumo de energia em comparação a processos naturais.

Considerando que determinada composição de adobe estudada atendeu às determinações sistematizadas para a resistência à compressão, conclui-se que, somados a outros benefícios

conhecidos como atendimento aos princípios do ecodesenvolvimento, viabiliza-se sua utilização na construção de moradias.

Os resultados desta pesquisa serão levados aos integrantes do Instituto Kairós onde foi realizada a produção dos adobes e onde periodicamente são realizados cursos e oficinas ligadas às técnicas de construção com solo.

Pode-se concluir que, devido à comparativamente mais elevada resistência à compressão dos adobes contendo 8% de amido na pasta, justifica-se proceder a novos ensaios com a mesma proporção de amido, porém se incluindo a correção granulométrica sugerida pela literatura.

Sugere-se também verificar os efeitos produzidos por diferentes composições de amido com dosagens intermediárias às já verificadas com objetivo de se estabelecer a dosagem ótima de amido de mandioca.

Cabe-se ainda, a pesquisa dos efeitos de amido de outras fontes botânicas tal como amido de fubá grosso ou aplicação, em adobes, de outros estabilizantes não-tradicionais, como nódoa de bananeira, óleo de tungue e outros disponíveis em diversas regiões do país.

Pode-se considerar que parte de conhecimentos tradicionais ainda se conservam, como foram identificados na realização de alguns dos testes expeditos e que se justifica promover pesquisa na busca de outros saberes que possam fazer parte dos conhecimentos locais relacionados à construção com solo.

REFERÊNCIAS

ABNT-NBR 5734: Peneiras para ensaio. Fixa condições exigíveis para peneiras que são utilizadas nos ensaios de separação de materiais suscetíveis de serem classificados segundo o tamanho de seus grãos, 1989

_____-NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e de caracterização, 1986

_____-NBR 6459: Solo - Determinação do limite de liquidez: método de ensaio, 1984

_____-NBR 6461: Bloco Cerâmico para Alvenaria-Determinação da Resistência à Compressão, 1983

_____-NBR 7170: Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria, 1983

_____-NBR 7180: Solo - Determinação do limite de plasticidade: método de ensaio, 1984

_____-NBR 7181: Solo – Análise granulométrica: método de ensaio, 1984

_____-NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento: Especificação, 1984

_____-NBR 8492: Tijolo maciço de solo-cimento - Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água: método de ensaio, 1984

ALMEIDA, F. A.; MELO, F. C. L.; THIM, G. P. Obtenção de cerâmica porosa a partir da técnica de conformação direta com amido comercial. Departamento de Química- Instituto Tecnológico de Aeronáutica/ ITA- CTA; Divisão de Materiais/AMR- CTA São Paulo, SP

BARBOSA, N. P.; SOUZA, S. M. T.; MATTONE, R.; GOGGI, F. Uma experiência de transferência de tecnologia de construção de casa com tijolos prensados de terra crua em uma favela paraibana. Revista de Extensão, ano I, n. 2, Pró-reitoria de assuntos comunitários, João Pessoa. P. 31-43, 1996

BARRETO, M. G. C.; DA SILVA, F. M. G. Análise das interfaces da alvenaria em adobe com diferentes elementos construtivos. Caso: Habitação no assentamento rural Pirituba, Itapeva-SP. Brasil. 12ºSimpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo. Ficha 4650, 2005

BARRETO, M. G. C.; DA SILVA, F. M. G. Relação entre planejamento, projeto e execução na fabricação de tijolos de adobe e construção de moradia. Caso: Habitação no assentamento rural Pirituba, Itapeva-SP. Brasil. 12ºSimpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo. Ficha 4650, 2005

BINICI, H.; AKSOGAN, O.; SHAH, T. Investigation of fibre reinforced mud as a building material. *Construction and Buildings Materials* 19,313-318, 2005

BISH, D. L.; REYNOLDS JR., R. C. SAMPLE PREPARATION FOR X-RAY DIFFRACTION. IN: BISH, D. L.; POST, J. E. (EDITORS) MODERN POWDER DIFFRACTION (REVIEWS IN MINERALOGY, v.20) WASHINGTON. D.C.: MINERALOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 1989. CAP. 4, p.73-99

BRUNAUER, S., DEMING, L. S., DEMING, W. S., TELLER, E. *J. Amer. Chem. Soc.* (62), 1940, 1729-1732.

BRUNAUER, S., EMMETT, P. H., TELLER, E. *J. Amer. Chem. Soc.* (60), 1938, 309-319

CALLISTER JR, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*. LTC Editora, 2002

CANTELMO, O. A.; PEZZATO, L. E.; BARROS, M. M.; PEZZATO, A. C. Características físicas de dietas para peixes confeccionadas com diferentes aglutinantes. *Revista Acta Scientiarum* v.24, n.4, p.949-955, Maringá PR, 2002

CEREDA, M. P. (Org.), *Culturas de Tuberosas amiláceas Latino-americanas - Propriedades gerais do amido* – v. 1, Fundação CARGILL, 2002

CORRÊA, A. A. R.; TEIXEIRA, V. H.; LOPES, S. P.; OLIVEIRA, M. S. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas do adobe (tijolo de terra crua). *Ciências Agrotécnicas*, Lavras, v.30, n.3, p.503-515, mai/jun., 2006

DALLACORT, R.; LIMA JÚNIOR, H. C.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído. *SciELO Brazil. Revista brasileira de Engenharia Ambiental*, vol.6 n.3 Campina Grande, 2002

FARIA RODRIGUES, Paulina. Problemática dos revestimentos de paredes em terra crus. Lisboa: Instituto Superior Técnico. Jornada sobre Construção com Terra Aditivada - A Terra como Material de Construção de Edifícios, 1999

FERREIRA, R. C.; FALEIRO, H. T.; FREIRE, W. J. Desempenho físico-mecânico de solo argiloso estabilizado com cal e silicato de sódio visando aplicação em construções rurais. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 35 (3):191-198, 2005

FERREIRA, Regis de C.; FREIRE, Wesley J. Eficiência da estabilização do solo e qualidade de tijolos prensados de terra crua tratada com aditivos químicos, avaliadas pela combinação de testes destrutivos e não-destrutivos. *SciELO Brazil. Engenharia Agrícola* vol.24 n.3 Jaboticabal, 2004

FONTES, P. J. P. de; QUIRINO, W. F.; PASTORE JÚNIOR. F.; FILGUEIRAS, S. M. S. Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais /DPQ/IBDF, 1984

GARCIA, L. R. A. *Introdução à Microscopia Eletrônica de Varredura e à Microanálise*. 2001, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CDTN/CNEN, 23 p. 2001

GREGG, S. J., SING, K. S. W. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. 2^a ed. New York: Academic Press Inc., 1982

HLAVÁČ Jan. *The technology of glass and ceramics: an introduction*. Elsevier scientific publishing company: Amsterdam, p. 1983

JUSTI PISANI, Maria Augusta. Arquitetura com terra. In BRUNA, Gilda Collet (org.) Promoção do Desenvolvimento Sustentável: Comunidades do semi-árido. Relatório Técnico. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2004

KAWABATA, Celso Yoji. Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos fibrosos para a construção rural. (Tese) Universidade de São Paulo, 2004

KRÜGER, E. L. Tecnologias Apropriadas: Reflexões In Krüger E.L. (org). Coletânea. Tecnologias Apropriadas. Curitiba, p.11-16, 2000

KRZYZANOWSKI, Renato Fávero. Novas Tecnologias em assentamentos humanos: a permacultura como proposta para o planejamento de unidades familiares em Florianópolis. (Dissertação) Engenharia de Produção – UFSC Florianópolis, 2005

LANGMUIR, I. *J. Amer. Chem. Soc.*, (40), 1918, 1368

MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; PORTUGAL, C. R. M. Reações químicas entre solos e estabilizantes em estradas. 7º Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal-SIF. Viçosa, 2005

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 1994

MESA VALENCIANO, Martha del Carmen. Incorporação de resíduos agroindustriais e seus efeitos sobre as características físico-mecânicas de tijolos de solo melhorados com cimento. (dissertação) UNICAMP São Paulo, 1999

MINKE, Gernot. Manual de construcción em tierra: la tierra como material de construcción y sus aplicaciones em la architecture actual. Uruguay: Nordan-Comunidad, 2001

NEVES, C.; FARIA, O.; ROTONDARO, R.; CEVALLOS, P.; HOFFMANN, M. Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – Praticas de campo. PROTERRA /CYTED, IV SIACOT / III ATP, 2005

QUIRINO, Soraya de Fátima Silvestre. (Dissertação) UFSC Florianópolis, 1999

ROLIM, Mário Monteiro. Avaliação físico-mecânica do material solo-vinhaça concentrada e sua utilização para fins de fabricação de tijolos. (dissertação) Universidade Estadual de Campinas, 1996

SACHS, Ignacy. Ecodesenvolvimento: Crescer sem destruir. São Paulo: Vértice, 1986

SANTOS, M. D. Construção com Terra Crua: Viabilidade Tecnológica e Energética em Habitações Sociais. Curitiba, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Dissertation (Mestrado em Programa de Pós Graduação em Tecnologia), 2002

STULZ, R.; MUKERJI, K. Appropriate Buildings Materials, St Gallen: SKAT, 1993

SUGUIO, Kenitiro. Introdução à sedimentologia. São Paulo: Edgard Blücher, Ed da Universidade de São Paulo, 1973

UFSC – Centro de Tecnologia – Laboratório de solos – Mecânica dos solos, Notas de aula: Unidade 4, p.38-56

VIEIRA, F. Utilização de Adsorção Gasosa na Caracterização de Materiais; Ouro Preto, Dissertação (Mestrado), REDEMAT (2000).

ZARDO, A. M.; DI CAMPOS, M. S.; KAWABATA, C. S.; MARTELLO, L. S. Aproveitamento de cinzas da queima de resíduos agroindustriais na produção de compósitos para construções. 13º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Alimentos / ZEA. Ficha 5272, 2005.

ANEXO I



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Laboratório de Geomorfologia

Análise de Umidade

• Amostra:

LV01 - SOLO KAIRÓS 1,5 - 2,0 m

RESULTADO

UMIDADE GRAVIMÉTRICA: 41,1%

PORCENTAGEM DE UMIDADE NA AMOSTRA: 29,1%

Belo Horizonte, 08 de outubro de 2007.

Ricardo Carvalhaes Henrique
Auxiliar de Laboratório

Profa. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira
Coordenadora Laboratório de Geomorfologia

SELEÇÃO, MEDIÇÃO* DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO E POROSIDADE DAS AMOSTRAS

Amostras excluídas
Amostras selecionadas para corpos-de-prova
Amostras excedentes

Amostra	Largura(cm)	Profund.(cm)	Altura(cm)	Volume(cm ³)	Massa (g)
KT1	25,40	12,30	7,40	2311,91	3778
KT2	25,40	12,15	7,50		
KT3	25,40	12,10	7,60	2335,78	3806
KT4	25,30	12,40	7,70	2415,64	3743
KT5	25,55	11,90	7,60	2310,74	3702
KT6	25,70	12,20	7,50	2351,55	3705
KT7	26,00	12,30	7,40	2366,52	3770
KT8	25,90	12,40	7,20	2312,35	3808
KT9	25,05	12,40	7,50	2329,65	3781
KT10	25,70	12,10	7,35	2285,63	3907
KT11	25,50	12,40	7,40	2339,88	3772
KT12	Excluído - presença de fissura				
KT13	Excluído - presença de fissura				
KT14	25,80	12,50	7,60		
KT15	Excluído - presença de fissura				
KT16	Excluído - presença de fissura				
KT17	Excluído - presença de fissura				
KT18	Excluído - presença de fissura				
KT19	Excluído - presença de fissura				
KT20	Excluído - presença de fissura				
Média	25,55	12,25	7,47	2336,45	3777
Fórmula K	26,00	13,00	8,00	2704,00	
Retração linear (%) =					1,73
Retração volumétrica (%) =					13,59
Porosidade média (%) =					41,64

Amostra	Largura(cm)	Profund.(cm)	Altura(cm)	Volume(cm ³)	Massa (g)
RT1	22,40	11,00	5,70		
RT2	22,50	11,20	5,60	1411,20	2248
RT3	22,60	11,00	5,75		
RT4	22,50	11,20	5,60	1411,20	2320
RT5	22,55	11,40	5,70	1465,30	2251
RT6	22,80	10,80	5,50	1354,32	2299
RT7	22,20	11,10	5,70	1404,59	2363
RT8	23,00	11,25	5,50		
RT9	Excluído - presença de fissura				
RT10	Excluído - presença de fissura				
RT11	23,00	11,50	5,60		
RT12	22,50	11,00	5,70	1410,75	2322
RT13	Excluído - presença de fissura				
RT14	Excluído - presença de fissura				
RT15	22,40	11,10	5,70	1417,25	2328
RT16	23,05	11,50	5,60	1484,42	2336
RT17	21,80	11,10	5,80	1403,48	2336
RT18	Excluído - deformação na moldagem				
RT19	22,60	11,50	5,60	1455,44	2376
RT20	Excluído - deformação na moldagem				
Média	22,49	11,19	5,65	1421,80	2318
Fórmula R	24,00	12,00	6,00	1728,00	
Retração linear (%) =					6,28
Retração volumétrica (%) =					17,72
Porosidade média (%) =					41,15

* O valor médio de cada dimensão do tijolo é resultado da média de pelo menos três determinações executadas em pontos diferentes, com precisão de 1 mm.

Data: 12/nov/2007.

SELEÇÃO, MEDIÇÃO*, DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO E POROSIDADE DAS AMOSTRAS

Amostras excluídas
 Amostras selecionadas para corpos-de-prova
 Amostras excedentes

Amostra	Largura(cm)	Profund.(cm)	Altura(cm)	Volume(cm ³)	Massa (g.)
KA1	25,00	11,60	7,40		
KA2	24,80	11,50	7,00	1996,40	3350
KA3	24,30	11,95	7,00	2032,70	3547
KA4	24,90	11,90	6,90		
KA5	24,75	11,50	7,00		
KA6	24,50	11,50	7,30	2056,78	3088
KA7	24,30	11,60	6,90	1944,97	3168
KA8	Excluído - deformação na moldagem				
KA9	24,70	12,00	6,75	2000,70	3359
KA10	25,00	11,90	6,90	2052,75	3062
KA11	25,15	11,40	7,05	2021,31	3306
KA12	Excluído - deformação na moldagem				
KA13	25,20	11,70	7,40	2181,82	3529
KA14	25,10	11,40	7,00	2002,98	3486
KA15	Excluído - presença de fissura				
KA16	Excluído - presença de fissura				
KA17	Excluído - presença de fissura				
KA18	24,60	11,90	6,90	2019,91	3396
KA19	Excluído - presença de fissura				
KA20	Excluído - presença de fissura				
Média	24,77	11,69	7,02	2031,03	3329
Fórmula K	26,00	13,00	8,00	2704,00	
Retração linear (%) =	4,75				
Retração volumétrica (%) =	24,89				
Porosidade média (%) =	40,83				

Amostra	Largura(cm)	Profund.(cm)	Altura(cm)	Volume(cm ³)	Massa (g)
RA1	21,70	10,50	5,75		
RA2	21,50	10,50	5,70	1286,78	2086
RA3	21,00	10,30	5,40		
RA4	Excluído - deformação na moldagem				
RA5	21,30	10,20	5,40	1173,20	2035
RA6	21,55	10,80	5,30	1233,52	2077
RA7	21,60	10,40	5,60	1257,98	2161
RA8	Excluído - deformação no transporte				
RA9	21,50	10,40	5,70	1274,52	2116
RA10	21,50	10,40	5,65	1263,34	2147
RA11	21,70	10,30	5,40	1206,95	2039
RA12	Excluído por presença de fissura				
RA13	Excluído por presença de fissura				
RA14	Excluído por presença de fissura				
RA15	21,90	10,60	5,30		
RA16	21,60	10,40	5,40	1213,06	2038
RA17	Excluído - deformação na moldagem				
RA18	Excluído - deformação no transporte				
RA19	22,30	10,70	5,40	1288,49	2107
RA20	22,00	10,70	5,50	1294,70	2155
Média	21,68	10,48	5,51	1249,33	2096
Fórmula R	24,00	12,00	6,00	1728,00	
Retração linear (%) =	9,77				
Retração volumétrica (%) =	27,70				
Porosidade média (%) =	39,43				

* O valor médio de cada dimensão do tijolo é resultado da média de pelo menos três determinações executadas em pontos diferentes, com precisão de 1mm.

Data: 12/nov/2007.

SELEÇÃO, MEDIÇÃO*, DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO E POROSIDADE DAS AMOSTRAS

Amostras excluídas					
Amostras selecionadas para corpos-de-prova					
Amostras excedentes					
Amostra	Largura(cm)	Profund.(cm)	Altura(cm)	VOLUME(cm ³)	Massa (g)
KB1	Excluído - deformação na moldagem	25,10	12,10	7,10	
KB2	Excluído - deformação na moldagem	25,30	12,10	7,50	2295,98
KB3	Excluído - deformação na moldagem	25,10	12,10	7,10	2156,34
KB4	Excluído - deformação na moldagem	25,40	12,80	7,80	2535,94
KB5	Excluído - deformação na moldagem	25,20	12,20	7,20	2213,57
KB6	Excluído - deformação na moldagem	25,10	12,10	7,40	2247,45
KB7	Excluído - deformação na moldagem	25,20	11,90	7,35	2204,12
KB8	Excluído - deformação na moldagem	25,20	12,10	7,10	2164,93
KB9	Excluído - deformação na moldagem	24,70	12,20	7,30	2199,78
KB10	Excluído - presença de fissura	24,70	12,00	7,20	2134,08
KB11	Excluído - presença de fissura	25,00	11,90	7,10	
KB12	Excluído - presença de fissura	25,05	12,10	7,20	
KB13	Excluído - presença de fissura	25,50	12,30	7,30	
KB14	Excluído - presença de fissura	26,00	12,00	7,50	2340,00
KB15	Excluído - presença de fissura	25,19	12,15	7,35	2249,22
KB16	Excluído - presença de fissura	26,00	13,00	8,00	2704,00
KB17					3,12
KB18					16,82
KB19					44,04
KB20					3,12
Média					3486
Fórmula K					
Retração linear (%) =					3,12
Retração volumétrica (%) =					16,82
Porosidade média (%) =					44,04

Amostra	Largura(cm)	Profund.(cm)	Altura(cm)	VOLUME(cm ³)	Massa (g)
RB1	22,50	10,80	5,50		
RB2	Excluído - presença de corpo estranho				
RB3	22,30	10,80	5,60		
RB4	22,00	10,70	5,50	1294,70	2059
RB5	Excluído - deformação na moldagem				
RB6	Excluído - deformação na moldagem				
RB7	Excluído - presença de fissura				
BR8	Excluído - presença de fissura				
RB9	22,30	10,90	5,50		
RB10	22,00	10,90	5,40		
RB11	23,00	11,30	5,20	1351,48	2085
RB12	22,00	10,90	5,70	1366,86	2134
RB13	22,05	10,80	5,60	1333,58	2073
RB14	21,50	11,00	5,60	1324,40	2118
RB15	22,00	11,00	5,65		
RB16	22,00	10,90	5,70	1366,86	2182
RB17	22,00	11,00	5,70	1379,40	2099
RB18	21,80	10,80	5,60	1318,46	2136
RB19	22,10	10,90	5,50	1324,90	2128
RB20	21,80	10,90	5,50	1306,91	2105
Média	22,03	10,92	5,56	1336,76	2112
Fórmula R	24,00	12,00	6,00	1728,00	
Retração linear (%) =					8,23
Retração volumétrica (%) =					22,64
Porosidade média (%) =					42,96

* O valor médio de cada dimensão do tijolo é resultado da média de pelo menos três determinações executadas em pontos diferentes, com precisão de 1mm.



ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CONJUNTA

Projeto / Interessado		Trecho	
Luis Felipe Veiga- REDEMAT/UFOP		Registro	Data
Amostra	Furo	2095	
Profundidade (m)			
Operador		Classificação do Material	
Felipe			
Cálculos			
Felipe			

Amostra Total	
M _t	2.125,0
M ₂	52,70
M ₆	2084,54

Amostra parcial	
M _{med}	70,0
M _{med}	68,63

Penelamento Grosso			
# abertura (mm)	M _{ret} (g)	M _{ret} (%)	Pg (%)
50,0	0,00	0,00	100,00%
38,0	0,00	0,00	100,00%
25,0	0,00	0,00	100,00%
19,0	0,00	0,00	100,00%
12,7	0,00	0,00	100,00%
9,5	0,00	0,00	100,00%
4,8	2,34	99,89%	
2,0	50,36	97,47%	

Penelamento Fino		
# abertura (mm)	M _{ret} (g)	Pf (%)
1,200	1,49	95,36%
0,600	3,92	89,79%
0,420	2,16	86,72%
0,250	2,28	83,48%
0,150	4,83	77,52%
0,075	2,55	73,75%
Piolo	0,00	

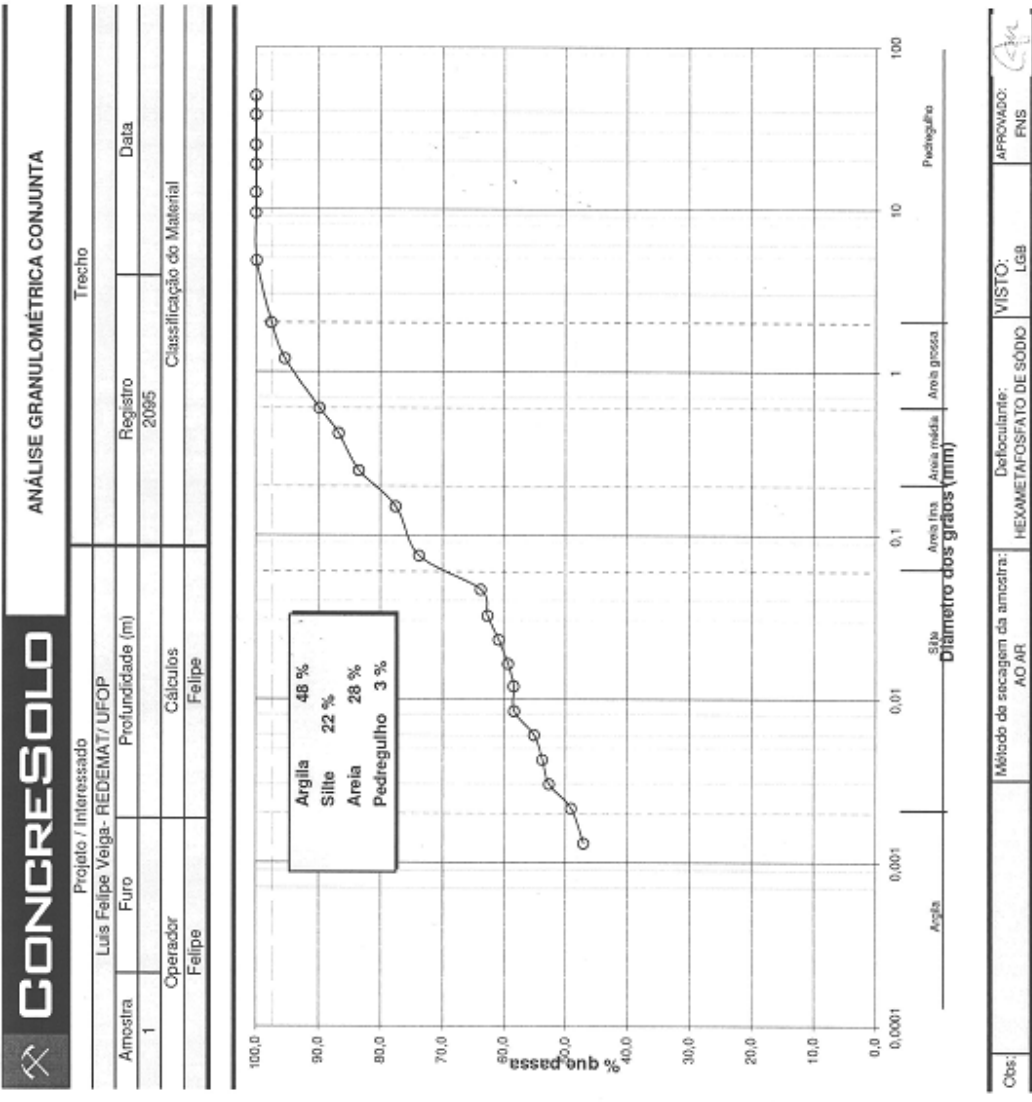
Dados p/ Sedimentação	
Diâmetro Nº	1
Vol do desmató	41,00 cm ³
Proveita nº	18
Área (cm ²)	27,64
V/(2vA)	0,74
ρ _s	2,777 (g/cm ³)

Teor de Umidade			
Determinação Nº	1	2	3
Cápsula Nº	56	78	63
M _{100°C} (g)	70,87	74,21	77,90
M _{105°C} (g)	69,63	73,09	76,81
M ₁ (g)	16,65	16,14	23,49
M ₂ (g)	52,88	56,95	53,32
M ₃ (g)	1,04	1,12	1,09
w (%)	2,0%	2,0%	2,0%

Utilizar valor na tabela (90)		5	5	8
w (para corpos a massa)		2,0%	2,0%	2,0%
w _{max} (%)				2,0%

Sedimentação											
# abertura (mm)	M _{ret} (g)	Pf (%)	R	L _s	L _t	T (°C)	H ₀ (mm:ss)	H _t (mm:ss)	Δt (s)	ρ _w = (kg/cm ³)	ρ _s = (kg/cm ³)
0,06520			3,76	29,74	0,9982	20,0	10:12:30	10:12:30	0	0,9982	2,777
0,04659			3,76	28,74	0,9982	20,0	10:13:00	10:13:00	60	0,9982	2,777
0,03210			3,76	28,24	0,9982	20,0	10:14:00	10:14:00	120	0,9982	2,777
0,02207			3,76	27,44	0,9982	20,0	10:16:00	10:16:00	240	0,9982	2,777
0,01628			3,76	26,74	0,9982	20,0	10:20:00	10:20:00	480	0,9982	2,777
0,01153			3,76	26,34	0,9982	20,0	10:27:00	10:27:00	900	0,9982	2,777
0,00841			3,76	26,30	0,9982	20,0	10:42:00	10:42:00	1800	0,9982	2,777
0,00601			3,66	24,84	0,9981	20,0	11:12:00	11:12:00	3600	0,9981	2,777
0,00427			3,66	24,24	0,9981	20,0	12:12:00	12:12:00	7200	0,9981	2,777
0,00350			3,46	23,74	0,9979	20,0	14:12:00	14:12:00	14400	0,9979	2,777
0,00214			3,36	22,14	0,9978	20,0	18:12:00	18:12:00	28800	0,9978	2,777
0,00131			3,68	22,22	0,9982	20,0	8:41:00	8:41:00	8040	0,9982	2,777

Defloculante:	HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO
Método de secagem da amostra:	AOAR
VISTO:	LGB
APROVADO:	FMS



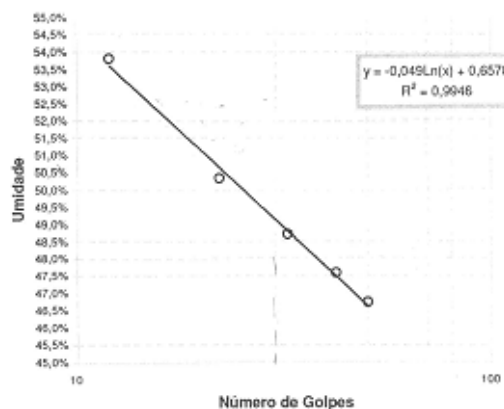
Obs: Método da secagem da amostra: AO AR Defloculante: HEXAMETAFOSFATO DE SÓDIO VISTO: LGB APROVADO: FNS

CONCRESOLO LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Projeto / Interessado Luis Felipe Veiga- REDEMAT/ UFOP			Trecho		
Amostra 1	Furo	Profundidade (m)		Registro Nº 2095	
Operador Noir		Cálculos Felipe		Data 30/6/2008	

RESUMO	LL= 50%	LP= 31%	IP= 19%
---------------	----------------	----------------	----------------

Limite de Liquidez							
Determinação	1	2	3	4	5	6	7
Cápsula No	22	4	75	83	166		
Mc+s+w (g)	10,91	15,78	11,70	12,54	13,06		
Mc+s (g)	8,72	13,50	9,63	10,28	11,06		
Mc (g)	4,65	8,97	5,38	5,53	6,78		
Ms (g)	4,07	4,53	4,25	4,75	4,28		
Mw (g)	2,19	2,28	2,07	2,26	2,00		
w (%)	53,8%	50,3%	48,7%	47,6%	46,7%		
Número de Golpes	12	22	32	42	50		
ln(N)	2,48	3,09	3,47	3,74	3,91		
Utilizar valor (s/n)	s	s	s	s	s		



Resultados do Ensaio	
Equação da Retra: $w = a \ln(N) + b$	
a =	-0,0490
b =	0,6578
Dados Satisfatórios (s/n):	s

LL = 50%

OBSERVAÇÕES

VISTO:	
LGB	
APROVADO:	<i>[Assinatura]</i>
FNS	

Limite de Plasticidade						
Determinação	1	2	3	4	5	6
Cápsula Nº	72	117	120	129	178	
M_{c+s+w} (g)	5,92	5,88	5,95	10,04	8,33	
M_{c+s} (g)	5,65	5,58	5,63	9,73	8,04	
M_c (g)	4,79	4,60	4,65	8,75	7,09	
M_p (g)	0,86	0,98	0,98	0,98	0,95	
M_u (g)	0,27	0,30	0,32	0,31	0,29	
w (%)	31,4%	30,6%	32,7%	31,6%	30,5%	
Utilizar valor na média (s/n)	S	S	S	S	S	
w (para compor a média) (%)	31,4%	30,6%	32,7%	31,6%	30,5%	
LP (médio) (%)	31%					



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
Setor de Testes Físicos (STF) - Laboratório Robert Hooke

ENSAIO À: <input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSÃO <input type="checkbox"/> TRAÇÃO		Folha: <u>01</u> / <u> </u>
GAS Nº:		CERTIFICADO Nº:
Data de recebimento:		Data do ensaio: <u>13.12.07</u>
Objeto:		
Método: <input type="checkbox"/> Procedimentos do Laboratório <input checked="" type="checkbox"/> Outro. Citar: <u>X</u>		
Operador / Rubrica: <u>Munilo</u>		
Acompanhamento dos ensaios / Empresa:		
Condições ambientais: Temperatura / °C: Umidade relativa do ar / %:		
Instrumentos utilizados no ensaio - Id. controle STF Nº:		

Resultados

Objeto		Força de ensaio		Observações
Id. lab	Id. cli	/ kgf	/	
	KT1	2360		Rup. com taça
	KT3	2370		"
	KT4	2350		"
	KT5	2140		
	KT6	2255		"
	KT7	2530		"
	KT8	2505		" -
	KT9	2560		"
	KT10	2450		Rup Paralela e Taça
	KT11	2350		Taça
Observações: <u>* Procedimentos da NBR 8492/1984</u>				
<u>ITEM 4.2.1.6</u>				



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
Setor de Testes Físicos (STF) - Laboratório Robert Hooke

ENSAIO À: <input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSÃO <input type="checkbox"/> TRAÇÃO		Folha: <u>02</u>
GAS Nº:		CERTIFICADO Nº:
Data de recebimento:		Data do ensaio: <u>13.12.07</u>
Objeto:		
Método: <input type="checkbox"/> Procedimentos do Laboratório		<input checked="" type="checkbox"/> Outro. Citar: *
Operador / Rubrica: <u>Marcos</u>		
Acompanhamento dos ensaios / Empresa:		
Condições ambientais: Temperatura / °C:		Umidade relativa do ar / %:
Instrumentos utilizados no ensaio - Id. controle STF Nº:		

Resultados

Objeto		Força de ensaio		Observações
Id.lab	Id.cli	/ kgf	/	
	KA2	2700		Rup. TAC
	KA3	2980		"
	KA6	2720		"
	KA7	3210		"
	KA9	3440		"
	KA10	3030		"
	KA11	2555		Ruptura fora de TAC **
	KA13	2805		Rup. TAC
	KA14	2960		" "
	KA18	3020		
Observações:				
**				



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
Setor de Testes Físicos (STF) - Laboratório Robert Hooke

ENSAIO À: <input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSÃO <input type="checkbox"/> TRAÇÃO		Folha: <u>031</u>
GAS Nº:		CERTIFICADO Nº:
Data de recebimento:		Data do ensaio:
Objeto:		
Método: <input type="checkbox"/> Procedimentos do Laboratório <input checked="" type="checkbox"/> Outro. Citar: ✕		
Operador / Rubrica: <u>Munho</u>		
Acompanhamento dos ensaios / Empresa:		
Condições ambientais: Temperatura / °C: Umidade relativa do ar / %:		
Instrumentos utilizados no ensaio - Id. controle STF Nº:		

Resultados

Objeto		Força de ensaio		Observações
Id.lab	Id.cli	/ kgf	/	
	KB 4	2470		RUP TRAÇÃO
	KB 5	2315		"
	KB 7	2000		"
	KB 8	2090		"
	KB 9	2100		"
	KB 10	2210		"
	KB 11	2150		RUP. <input type="checkbox"/> TRAÇÃO
	KB 12	2300		RUP TRAÇÃO
	KB 15	2060		"
	KB 20	2665		"
		2110		
Observações:				



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
Setor de Testes Físicos (STF) - Laboratório Robert Hooke

ENSAIO À: <input type="checkbox"/> COMPRESSÃO <input type="checkbox"/> TRAÇÃO		Folha: <u>04,</u>
GAS Nº:		CERTIFICADO Nº:
Data de recebimento:		Data do ensaio: <u>13.12.07</u>
Objeto:		
Método: <input type="checkbox"/> Procedimentos do Laboratório <input checked="" type="checkbox"/> Outro. Citar: <u>☞</u>		
Operador / Rubrica: <u>Mambrs.</u>		
Acompanhamento dos ensaios / Empresa:		
Condições ambientais: Temperatura / °C: Umidade relativa do ar / %:		
Instrumentos utilizados no ensaio - Id. controle STF Nº: <u>STF</u> <u>STF 109.00 esc 1000 Kst / 10Kst mesd. 5Kst</u>		

Resultados

Id.lab	Objeto		Força de ensaio		Observações
	Id.ci		/ kgf	/	
	RT2		2080		Rup. Traçn <input checked="" type="checkbox"/>
	RT4		2280		"
	RT5		2280		"
	RT6		2180		"
	RT7		2190		"
	RT12		2230		"
	RT15		1920		"
	RT16		2220		"
	RT17		2120		"
	RT19		2090		"
Observações: <u>* vide fl. 01</u>					



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
Setor de Testes Físicos (STF) - Laboratório Robert Hooke

ENSAIO À: <input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSÃO <input type="checkbox"/> TRAÇÃO		Folha: <u>051</u>
GAS Nº: _____		CERTIFICADO Nº: _____
Data de recebimento: <u>13.12.07</u>		Data do ensaio: <u>13.12.07</u>
Objeto: _____		
Método: <input type="checkbox"/> Procedimentos do Laboratório <input checked="" type="checkbox"/> Outro. Citar: *		
Operador / Rubrica: <u>Mauricio</u>		
Acompanhamento dos ensaios / Empresa: _____		
Condições ambientais: Temperatura / °C: _____ Umidade relativa do ar / %: _____		
Instrumentos utilizados no ensaio - Id. controle STF Nº: <u>vide folha 01</u>		

Resultados

Objeto		Força de ensaio		Observações
Id. lab	Id. cli	/ kgf	/	
	RA 2	2830		Rup tipo TRAÇA
	RA 5	2700		"
	RA 6	2940		"
	RA 7	2850		"
	RA 9	2500		"
	RA 10	2605		"
	RA 11	2700		"
	RA 16	2960		"
	RA 19	3000		"
	RA 20	2460		"
Observações: * <u>vide fl 01</u>				
<u>eps preparados pelo cliente</u>				



Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC)
Setor de Testes Físicos (STF) - Laboratório Robert Hooke

ENSAIO À: <input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSÃO <input type="checkbox"/> TRAÇÃO		Folha: <u>06,06</u>
GAS Nº:		CERTIFICADO Nº:
Data de recebimento: <u>13.12.07</u>		Data do ensaio: <u>13.12.07</u>
Objeto:		
Método: <input type="checkbox"/> Procedimentos do Laboratório		<input checked="" type="checkbox"/> Outro. Citar: <u>κ</u>
Operador / Rubrica: <u>Maurício</u>		
Acompanhamento dos ensaios / Empresa:		
Condições ambientais: Temperatura / °C: <u>22</u> Umidade relativa do ar / %: <u>55</u>		
Instrumentos utilizados no ensaio - Id. controle STF Nº: <u>vide folha 01</u>		

Resultados

Objeto		Força de ensaio		Observações
Id.lab	Id.cli	/ kgf	/	
	<u>RB 4</u>	<u>2005</u>		<u>Rup tipo Traç</u>
	<u>RB 9</u>	<u>2020^o</u>		<u>''</u>
	<u>RB 12</u>	<u>2030</u>		<u>''</u>
	<u>RB 13</u>	<u>1830^o</u>	<u>1930^o</u>	<u>''</u>
	<u>RB 14</u>	<u>1820^o</u>	<u>1920^o</u>	<u>''</u>
	<u>RB 16</u>	<u>1820^o</u>	<u>1920^o</u>	<u>Rup. <input checked="" type="checkbox"/></u>
	<u>RB 17</u>	<u>1940^o</u>	<u>1940^o</u>	<u>Traç</u>
	<u>RB 18</u>	<u>1930</u>		<u>''</u>
	<u>RB 19</u>	<u>2070</u>		<u>''</u>
	<u>RB 20</u>	<u>1900</u>		
		<u>2020^o*</u>		
Observações: <u>κ vide folha 01</u>				