



## LISTA DE SÍMBOLOS e SIGLAS

### SIGLAS

- ABCP** Associação Brasileira de Cimento Portland
- ABCTerra** Associação Brasileira dos Construtores e Pesquisadores da Terra
- ABMTENC** Associação Brasileira de Ciências de Materiais e Tecnologias não Convencionais
- ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANTAC** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
- BTC** bloco de terra comprimida
- CEPED** Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
- CERESIS** Centro Regional de Sismologia para a América del Sur
- CESP** Centrais Energéticas de São Paulo
- CRA** Centro de Estudos Ambientais (do Governo do Estado da Bahia)
- CRATerre** Centre International de la Construction en Terre
- CRDI** Centre de Recherches pour le Développement International
- CRHEA** Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
- CYTED** Programa de Ciencia y Tencologia para el Desarrollo
- EAG** École d'Architecture de Grenoble
- EESC** Escola de Engenharia de São Carlos
- FEB** Faculdade de Engenharia de Bauru (UNESP-Bauru)
- GHab** Grupo de Pesquisa em Habitação
- HRB** Highway Research Board
- ICCROM** International Centre for the Conservation and Restoration of Cultural Property
- IDRC** International Development Reserach Center
- IPMet** Instituto de Pesquisas Metereológicas, da UNESP-Bauru

<b>NBR</b>	Norma Brasileira Registrada
<b>NEAMA</b>	Núcleo de Estudos Avançados do Meio Ambiente
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>PVC</b>	Cloreto de Polivinila
<b>UFSCar</b>	Universidade Federal de São Carlos
<b>UGRHI</b>	Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
<b>UNESP</b>	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
<b>USP</b>	Universidade de São Paulo
<b>WHO</b>	World Health Organization

## **SIMBOLOS (unidades)**

<b>A</b>	área média da seção de ruptura ( $\text{cm}^2$ )
<b>AA</b>	absorção de água (%)
<b>Bps</b>	biomassa por unidade de superfície do estande ( $\text{g}/\text{m}^2$ )
<b>C</b>	índice de contração do solo
<b>CA</b>	coeficiente de atividade do solo
<b>C<sub>m1000</sub></b>	consumo de biomassa, em massa, para a produção de 1.000 tijolos (g)
<b>C<sub>s1000</sub></b>	consumo de solo, em massa, para a produção de 1.000 tijolos (Kg)
<b>CV<sub>s1000</sub></b>	consumo de solo solto, em volume, para a produção de 1.000 tijolos ( $\text{m}^3$ )
<b>Enc<sub>m1000</sub></b>	total de substância encapsulada pela macrófita em 1.000 tijolos (g)
<b>Enc<sub>s1000</sub></b>	total de substância encapsulada pelo solo em 1.000 tijolos (g)
<b>Enc<sub>T1000</sub></b>	total de substância encapsulada em 1.000 tijolos (g)
<b>Es<sub>m</sub></b>	estoque por unidade de superfície do estande de macrófita ( $[\text{M}]/[\text{L}]^2$ )
<b>ET</b>	estado trófico
<b>Ev<sub>s</sub></b>	estoque de substância química relativo à unidade de volume do solo ( $\text{g}/\text{m}^3$ )
<b>IC</b>	índice de consistência do solo
<b>IET</b>	índice de estado trófico
<b>IP</b>	índice de plasticidade do solo
<b>LC</b>	limite de contração do solo
<b>LL</b>	limite de liquidez do solo
<b>LP</b>	limite de plasticidade do solo

- MCT** Miniaturas de corpos-de-prova, Compactados mediante procedimento especiais destinados especialmente para solos Tropicais
- Mp** concentração de metais pesados
- NKT** nitrogênio orgânico (Kjeldahl) total
- N<sub>Ta</sub>** número de tijolos de adobe utilizados na construção (mil)
- P-TOT** fósforo total
- RL** retração linear dos tijolos
- RR<sub>m</sub>** retração relativa linear média (%)
- RR<sub>x</sub>** retração relativa na direção x (**C**omprimento, **L**argura, ou **A**ltura) (%)
- S<sub>m1000</sub>** área da superfície do estande de macrófitas para a produção de 1.000 tijolos (m<sup>2</sup>)
- V<sub>a</sub>** valor de azul
- SR<sub>Proj</sub>** área da superfície do estande de macrófitas removida com a construção do projeto (m<sup>2</sup>)
- T<sub>M</sub>** traço em massa (%)
- T<sub>V</sub>** traço em volume (%)
- U<sub>hm</sub>** teor de umidade higroscópica da macrófita (%)
- U<sub>hT</sub>** teor de umidade higroscópica do tijolo (%)
- U<sub>s</sub>** teor de umidade natural do solo (%)
- conc<sub>m</sub>** concentração da substância química (P-TOT, ou NKT, ou Mp) relativa à biomassa seca ([M]/[M])
- conc<sub>s</sub>** concentração da substância química no solo (P-TOT, ou NKT, ou Mp) relativa ao solo seco ([M]/[M])
- f<sub>c</sub>** resistência à compressão (MPa)
- m<sub>T0</sub>** massa média de um tijolo seco (g)
- pH** potencial hidrogeniônico do solo
- r<sub>ap macr seca</sub>** massa específica aparente da macrófita seca (g/cm<sup>3</sup>)
- r<sub>ap macr</sub>** massa específica aparente da macrófita a U<sub>hm</sub> (g/cm<sup>3</sup>)
- r<sub>ap solo seco</sub>** massa específica aparente do solo seco (g/cm<sup>3</sup>)
- r<sub>ap solo</sub>** massa específica aparente do solo solto a U<sub>s</sub> (g/cm<sup>3</sup>)
- r<sub>ap T</sub>** massa específica aparente do tijolo a U<sub>hT</sub> (g/cm<sup>3</sup>)
- DpH** diferença de pH



## LISTA DE FIGURAS

	pág
Fig. 1.01 Alguns materiais ecológicos (MAISON, 1998) .....	4
Fig. 1.02 Vista parcial da degradação da paisagem no barreiro (a) e detalhe mostrando o descarte de resíduos da produção, em primeiro plano, e as construções da olaria, ao fundo (b). Imagens tomadas no município de Barbosa-SP. ....	6
Fig. 1.03 Vistas da olaria, com os tijolos secos e empilhados, aguardando a queima nos fornos mostrados ao fundo (a). Detalhe da precariedade dos fornos e pilha de madeira para a queima dos tijolos (b). (Barbosa-SP) .....	7
Fig. 1.04 Diferentes compartimentos de um ecossistema lacustre, evidenciando suas comunidades e inter-relações (adaptado de ESTEVES & BARBOSA, 1992) .....	12
Fig. 1.05 Vista da Represa de Salto Grande (Americana - SP), a 50 m da barragem, no compartimento 3 (v. fig. 3.4). Tomada da margem direita, vendo-se ao fundo a margem esquerda .....	12
Fig. 1.06 Esquema simplificado da eutrofização artificial e suas conseqüências no equilíbrio do ecossistema lacustre (adaptado de ESTEVES & BARBOSA, 1992) .....	13
Fig. 2.01 Comunidade vegetal da região litorânea, com os 5 grupos ecológicos de macrófitas aquáticas, além da comunidade epilítica (1), comunidade epipélica (2), comunidade epipsâmica (3) e comunidade epifítica. (adaptado de ESTEVES, 1988) .....	21
Fig. 2.02 Helicóptero aplicando herbicida .....	22
Fig. 2.03 Explosão de <i>Salvinia molesta</i> , em um lago no Zambia, em 1960 (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984) .....	23
Fig. 2.04 Remoção manual de macrófitas aquáticas em lago de piscicultura (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1984) .....	23
Fig. 2.05 Algumas máquinas para remoção mecânica de macrófitas aquáticas em lagos da Califórnia e México (USA, 1998). ....	24
Fig. 2.06 Algumas das principais formas de utilização das macrófitas aquáticas no pantanal matogrossense, destacando-se a proposta de inclusão do item “produção de materiais de construção” (adaptado de ESTEVES, 1988). ....	25
Fig. 2.07 Pesquisa realizada pelo Prof. Paulo Rodolfo Leopoldo, do Dept <sup>o</sup> de Eng. Rural, da Fac. de Ciências Agronômicas, da UNESP-Câmpus de Botucatu, utilizando uma seqüência de tanques contendo	

“aguapé”, “junco”, “taboa”, “lírio-do-brejo” e “inhame”, para tratamento de efluentes domésticos (GRELLET, 1999) .....	26
Fig. 2.08 Esquema do ciclo biogeoquímico do mercúrio (Hg) e sua entrada na cadeia alimentar (MAURO et al., 1999). .....	27
Fig. 2.09 Ciclo hipotético do mercúrio em reservatórios artificiais (LACERDA & MENESES, 1995) .....	28
Fig. 2.10 Concentração e massa de mercúrio (Hg) acumulada no reservatório de Tucuruí (adaptado de LACERDA & MENESES, 1995). .....	28
Fig. 2.11 Construção vernacular, “Casas obus” (em forma de granadas), na República dos Camarões. Concepção de planta com separação da cozinha. (PHOTOTHEQUE, 190-a). .....	30
Fig. 2.12 Construção de 1981, do arquiteto egípcio Hassan Fathy, em Gharb Husayn, na Núbia, para residência de descanso do presidente Anwar Sadat (STEELE, 1997) .....	30
Fig. 2.13 João-de-barro ( <i>Furnarius rufus</i> ) (VERTEBRADOS 1, 1998). .....	30
Fig. 2.14 Formas orgânicas da construção, protegida das intempéries. ....	32
Fig. 2.15 Ao contrário do homem, este joão-de-barro migrou para a cidade, como o caboclo, mas preserva a técnica de construção de sua casa (foto tomada no Câmpus da UNESP-Bauru, 2001) .....	32
Fig. 2.16 À esquerda, “condomínio” com “edifícios” de um, dois e três pavimentos (FAJARDO, 2002). À direita, planta esquemática da construção, observando-se seus vários compartimentos. ....	32
Fig. 2.17 As grandes correntes da construção em terra crua (adaptado de MEUNIER, 1988). .....	33
Fig. 2.18 Vista parcial e mapa de localização da Grande Muralha da China (CONSTRUÇÕES ..., 1995) .....	34
Fig. 2.19 Vista geral de Shibam, no lêmén do Sul, um ícone da construção em terra (VILELA, 2002). .....	34
Fig. 2.20 Fortaleza de Bam (ano 250 a. C.), no lêmén (LEZAMA, 1997). .....	35
Fig. 2.21 Abóbadas do templo funerário de Ramsés II, próximo a Luxor (Egito), de mais de 3.300 anos (STEELE, 1997) .....	35
Fig. 2.22 A grande mesquita de terra, em Djénne (no Mali), outro ícone da construção em terra, projetada pelo arquiteto Ismaila Traoré e construída entre 1906 e 1907, com sua localização geográfica (LANGE, 2001 e MINKE, 1995a). .....	35
Fig. 2.23 Localização geográfica da cidade de Chanchán, Peru (PERU, 1998). .....	36
Fig. 2.24 Vista aérea do conjunto de ruínas das cidadelas que compunham a cidade de Chanchán, Peru (PERU, 1998). .....	36
Fig. 2.25 Detalhe das ruínas das construções em adobe, de Chanchán, Peru (PERU, 1998). .....	36
Fig. 2.26 Consumo de energia com refrigeração, para manter a temperatura interna da construção em 26 °C, ao longo do ano (adap. de P. - GÁNDARA et al., 2001). .....	37

Fig. 2.27	Variação da temperatura externa, após o alvorecer, para as 4 estações do ano. (adaptado de PORTA-GÁNDARA et al., 2001).	37
Fig. 2.28	Representação esquemática das causas e efeitos do desgaste das construções em terra (DI MARCO, 1984b)	40
Fig. 2.29	Vista geral e detalhe de uma construção em pau-a-pique, sem manutenção, em Iporanga – SP. (foto de out. 1992)	40
Fig. 2.30	Países onde a doença de Chagas é endêmica (acima) e iniciativas regionais para sua erradicação (à direita) (WHO, 2002b e WHO, 2002c).	41
Fig. 2.31	Diagrama mostrando os limites entre os quais se distribuem as dimensões das diversas partículas de que se compõem os solos, em escala logarítmica, com a indicação das peneiras ABNT (MILANEZ, 1958).	45
Fig. 2.32	Diagrama de classificação trilinear dos solos, ou “Diagrama de Witney” (CAPUTO, 1978)	45
Fig. 2.33	Execução do “teste da queda da bola”, vindo-se na parte inferior, da esquerda para a direita, os resultados variando-se o solo de argiloso para arenoso.	46
Fig. 2.34	Teste da “bola seca” ao sol, para dois tipos de solos (MINKE, 1995b).	46
Fig. 2.35	Exemplo de “teste do vidro”, para solo arenoso.	46
Fig. 2.36	Casa de adobe estabilizado com “baba-de-cupim”, na Estância Demétria, em Botucatu-SP (1999). Vista geral durante a construção, fachada e detalhes do telhado de grama em formação.	49
Fig. 2.37	Casa com 480 m <sup>2</sup> , construída na região serrana do Espírito Santo em toras de <i>Eucalyptus sp.</i> , com cobertura de grama (esquematizada ao lado), que além de conferir ótimo conforto térmico também promove uma perfeita integração do edifício com o entorno, a paisagem (SANTANA, 2001).	49
Fig. 2.38	As doze principais técnicas de terra-crua, em função do seu estado hídrico. (CRATerre, 199-)	50
Fig. 2.39	Freqüentemente citada como a mais velha casa de apartamentos do mundo, este povoado em adobe é um dos mais belos exemplares desta arquitetura ainda em uso. Taos Pueblo, Novo México (PETLEY STUDIOS, [197-?]).	51
Fig. 2.40	Casa bioclimática em adobe, Albuquerque-USA, de 1981.	52
Fig. 2.41	Casa em adobe, Cuernavaca – México.	52
Fig. 2.42	Escola primária rural, em adobe, Nongané-Burkina Faso, de 1989-90.	52
Fig. 2.43	Casa em adobe, do delegado da Comissão das Comunidades Européias, Kigali-Ruanda, de 1984.	52
Fig. 2.44	Duas casas de dois pavimentos em adobe, em Cusco, no Peru. Ambas sem reforços anti-sismos e sem qualquer manutenção. A da esquerda (ZEGARRA, 2002), avariada após um terremoto e a da	

direita (REFORZAMIENTO, 2002a), em processo inicial de restauração e reforço. ....	52
Fig. 2.45 Casa em adobe, estruturada em madeira, com 4 níveis, construída em 2000 pelo arquiteto Marcos “Reco” Borges (para o Dr. Paulo Maurício O. Vieira), ao pé da Serra de São José (Tiradentes-MG). Note-se a perfeita integração da construção com a paisagem e a utilização de materiais de demolição (todo o madeiramento e telhado), inclusive parte dos adobes .....	53
Fig. 2.46 Casa particular construída em bauge, pelo próprio morador (arquiteto), em Liffrée – França, de 1991. ....	53
Fig. 2.47 Palácio em bauge, na região de Najran – Arábia Saudita .....	53
Fig. 2.48 Sede do governo de Maiote, em Mamoudzou, de 1989, em BTC. ....	54
Fig. 2.49 Construção de uma parede curva, em taipa, com forma adaptada e socador pneumático. Dauphiné – França. ....	55
Fig. 2.50 Casa “palmeira” em Marrakech – Marrocos, em taipa de 1982. ....	55
Fig. 2.51 Vista geral da fachada em taipa tradicional. Uma arquitetura que toma suas referências numa linguagem arquitetural regional, aquela das granjas dauphinesas massivas, com beirais avantajados, em Dauphiné – França. ....	55
Fig. 2.52 Vista geral de 4 apartamentos em taipa, divididos em duas construções geminadas, em três níveis. Um projeto que exprime bem a modernidade da terra, em Villefontaine, Dauphiné – França. ....	55
Fig. 2.53 Escola municipal, em taipa do fim do séc. XIX, Isère – França. ....	55
Fig. 2.54 Casa em pau-a-pique no Brasil, do arquiteto J. Zanine (CRATerre-EAG, 1994). ....	56
Fig. 2.55 Reforma com ampliação do piso superior em pau-a-pique, sobre térreo em adobe (Tiradentes-MG). ....	56
Fig. 2.56 Casa construída em c. 1750, em adobe, taipa e pau-a-pique, restaurada em 1996 pelo arquiteto Marcos “Reco” Borges (Tiradentes-MG). ....	57
Fig. 2.57 Aldeia escavada no loess (solo sedimentar, não estratificado, misto de areia quartzosa e argila), no norte da China. Habitações tradicionais que vêm sendo substituídas por construções de adobe (BILLARD & MUXART, 1997). ....	57
Fig. 2.58 Aldeia troglodita de Uçhisar, na Capadócia (Turquia), escavadas em rochas vulcânicas brandas, naturalmente esculpidas pela natureza na forma de cones (KUZUCUOGLU, 1997). ....	57
Fig. 2.59 Ilustração de Marcelo Tramontano para a técnica de terra cortada (CRATerre-EAG, 1994) .....	58
Fig. 2.60 Ilustrações da forma de extração e utilização da técnica de terra cortada (VIÑUALES, [1994?]). ....	58
Fig. 2.61 “Casa obus” na República dos Camarões em manutenção (PHOTOTHEQUE, 190-b). ....	58
Fig. 2.62 Bloco de terra-palha produzido no Ghab – São Carlos. ....	59

Fig. 2.63 Construção e conjunto acabado de 6 habitações em terra-palha, com paredes preenchidas de forma monolítica, em estrutura de madeira, com proteção exterior por lambris de madeira. ....	60
Fig. 3.01. Localização da área de estudo no Estado de São Paulo (adaptado de LEITE, 1998) .....	62
Fig. 3.02. Localização da Represa de Salto Grande na UGRHI 5, com informações sobre impactos ambientais, qualidade da água e atividades de uso/ocupação do solo (SÃO PAULO, 1999) .....	63
Fig. 3.03. Mapa da hidrografia do Estado de São Paulo, destacando-se (no círculo) os reservatórios de Salto Grande (Americana – SP) e do Lobo (Itirapina – SP) (adaptado de SÃO PAULO, 1999) .....	64
Fig. 3.04. Mapa do Reservatório de Salto Grande, mostrando as áreas de coletas de materiais e os três compartimentos, além do leito original do Rio Atibaia (adaptado de COELHO, 1993) .....	65
Fig. 3.05. Vista aérea do início da represa, próximo ao final do compartimento superior, observando-se a grande extensão dos bancos de macrófitas. (fotos cedidas pela CESP, 1998) .....	66
Fig. 3.06. Vista da cabeceira do reservatório, de jusante para montante, em 08/02/2000 .....	66
Fig. 3.07. Trecho de desvio do rio, ocasionado pelo assoreamento. Vista de montante para jusante (08/02/2000). ....	66
Fig. 3.08. Mapa representando o grau de urbanização do Estado de São Paulo, no ano de 1996 (adaptado de SÃO PAULO, 1999). ....	67
Fig. 3.09. Mapa representativo da densidade demográfica do Estado de São Paulo, em 1996 (adaptado de SÃO PAULO, 1999). ....	68
Fig. 3.10. Mapa representativo da taxa de crescimento da população total do Estado de São Paulo, no período 1991 – 1996 (adaptado de SÃO PAULO, 1999). ....	68
Fig. 3.11. Precipitações médias mensais no município de Americana – SP, entre 1951 e 2001 (adaptado de IPMet, 2002) .....	70
Fig. 3.12. <i>Eichhornia crassipes</i> . Representação botânica e detalhes das flores (POTT & POTT, 2000) .....	72
Fig. 3.13. <i>Pistia stratiotes</i> . Representação botânica e fotos de banco (ou estande) e de indivíduos adultos (POTT & POTT, 2000) .....	73
Fig. 3.14. <i>Brachiaria arrecta</i> . Representação botânica e fotos de bancos em reservatórios no rio Tietê .....	73
Fig. 3.15. Banco de macrófitas, na praia dos Namorados (v. fig. 3.4), com predominância de <i>Eichhornia crassipes</i> e algumas manchas de <i>Brachiaria arrecta</i> . ....	73
Fig. 3.16. Banco de <i>Pistia stratiotes</i> , com algumas manchas de <i>Eichhornia crassipes</i> , no início do compartimento 2 (v. fig. 3.4). ....	73
Fig. 3.17. Bancos de <i>Brachiaria arrecta</i> , no delta formado na cabeceira do reservatório, início do compartimento 1 (v. fig. 3.4). Tomada de montante para jusante. ....	74



Fig. 3.18. Aspecto de um exemplar adulto de <i>P. stratiotes</i> , observando-se sua forma de propagação (HOYER & CANFIELD, 1997). .....	74
Fig. 4.01. Vista panorâmica do compartimento superior, também conhecido como “Mini Pantanal”. No detalhe superior, o técnico Marcelo Nogueira durante a coleta complementar. No detalhe inferior, pessoas pescando neste ambiente (fotomontagem, dez. 2001). .....	77
Fig. 4.02. Esquerda: lançamento do quadrado de madeira sobre um banco de <i>Pistia stratiotes</i> . Centro: Corte das plantas contidas dentro de um quadrado de <i>Eichhornia crassipes</i> . Direita: Acondicionamento das plantas coletadas em sacos plásticos identificados (espécie/nº quadrados). .....	79
Fig. 4.03. Barco utilizado nas coletas, estacionado no compartimento 1 (ao fundo). .....	79
Fig. 4.04. Secagem ao ar livre, com o barco de coleta ao fundo. Manuseio e transporte para a estufa de secagem, a 60°C. ....	81
Fig. 4.05. André ao triturador forrageiro TRAPP-TRF70, adaptado para reduzir perda de biomassa (detalhe). .....	81
Fig. 4.06. Material utilizado na determinação da massa específica aparente .....	83
Fig. 4.07. Homogeneização do material triturado, amostragem por quarteramento e embalagem. ....	84
Fig. 4.08. Moinho WILLEY – TE340, utilizado para a última trituração da biomassa e material pulverizado, já seco e embalado para os ensaios de análise química (no frasco da esquerda, amostra do solo). .....	85
Fig. 4.09. Material calcinado, pronto para ser diluído com ácido clorídrico (nos cadinhos da esquerda, o branco e a amostra de solo) e a filtragem da mistura com papel filtro. ....	86
Fig. 4.10. Aparelho digestor (módulo B-435 do analisador “BÜCHI), com detalhe do sistema de captação dos gases liberados na digestão. ....	87
Fig. 4.11. Aparelho de destilação “TECNAL”, em operação com o material digerido. ....	87
Fig. 4.12. Conjunto de titulação, vendo-se à esquerda a bureta de pistão de 10ml e, à direita, o agitador magnético. ....	87
Fig. 4.13. O técnico Marcelo Nogueira, coletando solo na Praia dos Namorados, próximo à linha d’água, com um banco de <i>E. crassipes</i> à direita.....	88
Fig. 4.14. Acima: etapas da extração do solo utilizado na produção dos tijolos. À esquerda: vista geral da área da jazida, com grande banco de <i>E. crassipes</i> , atrás da retro-escavadeira e o “flutuante”, ao fundo. ....	90
Fig. 4.15. Destorroamento e peneiramento do solo, para determinação da concentração de nutrientes e metais. ....	92
Fig. 4.16. Ensaio de determinação do limite de liquidez, no “aparelho de Casagrande” (conduzido pelo técnico do Lab. de Mec. dos Solos, FE/UNESP- Bauru, Sr. Felisberto). ....	95
Fig. 4.17. Ensaio de determinação do limite de plasticidade. ....	95

Fig. 4.18. Materiais utilizados no ensaio de limite de contração e pastilhas já secas. ....	97
Fig. 4.19. Aspectos do ensaio de adsorção de azul de metileno, notando-se, à direita, o disco de papel filtro para definição da viragem da solução .....	98
Fig. 4.20. Preparação do solo com um dos cinco teores de umidade previstos, preenchimento do molde de compactação e extrusão de 1 cm dos cilindros de solo já compactado. ....	99
Fig. 4.21. Imersão em água dos cilindros metálicos, contendo o solo compactado (com extrusão de 1 cm), com os recipientes para coletar o solo desprendido. Acima, solo úmido coletado e, abaixo, o mesmo solo já seco em estufa, para cálculo da perda por imersão. ....	99
Fig. 4.22. Equipamentos utilizados na medição de pH e, diluição do solo e leitura do pH. ....	100
Fig. 4.23. Formas de madeira para produção de tijolos e para o ensaio de retração, utilizadas em trabalhos anteriores. ....	102
Fig. 4.24. Projeto da forma para 4 tijolos e sua forma de fixação, por parafusos com borboleta, na superfície-base de trabalho, além de uma imagem dela pronta. ....	102
Fig. 4.25. Projeto e unidade pronta da forma para tijolos de ligação com colunas de madeira. ....	103
Fig. 4.26. Projeto e forma pronta para o ensaio de retração linear. ....	103
Fig. 4.27. Projeto do gabarito para preparo do corpo-de-prova do ensaio de resistência à compressão; forma de utilização e gabarito pronto. ....	103
Fig. 4.28. Arranjo físico do canteiro e fluxo de trabalho (sem escala). ....	104
Fig. 4.29. Alysson e Newman no transporte e destorroamento do solo. ....	107
Fig. 4.30. Biomassa picada e embalada em sacos plásticos de 60 l. ....	107
Fig. 4.31. Alto: Pipa de tração animal para amassamento do barro, utilizada em Tiradentes-MG (foto de Luciana F. Melo). À direita: maromba mecanizada, utilizada na casa da fig. 2.36, em Botucatu-SP. Ao lado: amassamento com os pés, em duplas, executado neste trabalho. ....	108
Fig. 4.32. Barro amassado com biomassa de <i>E. Crassipes</i> . ....	109
Fig. 4.33. Vista parcial dos corpos-de-prova de retração linear. ....	110
Fig. 4.34. Esquerda: untura da forma com óleo mineral. Centro: colocação do barro na forma. Direita: alguns tijolos desmoldados e formas com tijolos prontos, antes da desmoldagem. ....	111
Fig. 4.35. Carimbos utilizados na identificação dos tijolos. Abaixo, unidades já secas. ....	112
Fig. 4.36. Aspectos da primeira etapa de secagem dos tijolos, com detalhe da proteção contra chuva (com ventilação) e da mudança de posição dos mesmos. ....	113
Fig. 4.37. Segunda etapa de secagem, na calçada do laboratório .....	113

Fig. 4.38. Armazenamento dos tijolos, já numerados com giz, em duas laterais de uma sala no interior do laboratório. ....	113
Fig. 4.39. Tijolo e meio-tijolo de ligação de parede com coluna de madeira .....	114
Fig. 4.40. Fernanda, na medição dos tijolos. ....	115
Fig. 4.41. Vista da estufa de secagem dos tijolos e a pesagem do tijolo seco. Observar a proteção do prato da balança com “bolacha” de madeira e as luvas isolantes. ....	117
Fig. 4.42. Vista das cubas de imersão dos tijolos em água (devidamente identificados por série e números) e a pesagem do tijolo saturado, observando-se a proteção do prato da balança com um tecido absorvente, de algodão .....	118
Fig. 4.43. Serragem dos tijolos ao meio .....	119
Fig. 4.44. Nas oito fotos acima, aspectos da preparação dos corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão. Nas duas ao lado, uma série de corpos-de-prova, já prontos para o carregamento (na prensa ao fundo) .....	120
Fig. 4.45. Medição das dimensões da seção de ruptura .....	121
Fig. 4.46. Ensaio de determinação da resistência à compressão, realizado pelo técnico Israel. À esquerda: instalação do corpo-de-prova na prensa. Ao centro: aplicação do carregamento. À direita: escalas de leitura da carga de ruptura. Abaixo, à esquerda: um corpo-de-prova já rompido, mas não levado à ruína .....	122
Fig. 5.01. Variação da biomassa de <i>Brachiaria arrecta</i> ao longo do transecto, podendo ocorrer inclusive desprendimento e flutuação de touceiras (c) .....	127
Fig. 5.02. Curva média de distribuição granulométrica do solo, com indicações dos limites segundo ABNT e MINKE (1995a) .....	142
Fig. 5.03. Curvas de variação do teor de umidade de amassamento do barro ( $U_b$ ) com o traço em massa ( $T_M$ ) .....	147
Fig. 5.04. Curvas de retrações ( $RL$ e $RR_m$ ) em função do traço em massa ( $T_M$ ), para as três macrófitas .....	150
Fig. 5.05. Curvas de massas específicas aparentes médias dos tijolos ( $\rho_{ap T}$ ) em função do traço em massa ( $T_M$ ) .....	153
Fig. 5.06. Forma de desagregação dos corpos-de-prova do ensaio de absorção de água .....	154
Fig. 5.07. Aspectos da desagregação dos corpos-de-prova da massada C2, ainda submersos em água (acima), e o “despetalamento” (detalhes ao lado) .....	154
Fig. 5.08. Teor de umidade higroscópica dos tijolos ( $U_{hT}$ ) em função do traço em massa ( $T_M$ ) .....	155
Fig. 5.09. Absorção de água nos tijolos ( $AA$ ), em função do traço em massa ( $T_M$ ) .....	156
Fig. 5.10. Aspectos das massadas P3, P4 e P5, durante a saturação e após o ensaio .....	157

Fig. 5.11. Resistência à compressão média dos tijolos ( $f_c$ ), em função do traço em massa (TM) .....	158
Fig. 5.12. Área de superfície do estande de macrófita removida ( $S_{m1000}$ ), para a produção de 1.000 adobes, em função do traço em massa (TM) .....	163
Fig. 5.13. Encapsulamento de chumbo em um milheiro de tijolos produzidos com biomassa de <i>E. crassipes</i> .....	165
Fig. 5.14. Tijolos comuns e de adobe: formas, dimensões e juntas de assentamento, para paredes em $\frac{1}{2}$ tijolo.....	167
Fig. 5.15. Alguns aspectos do projeto “Habitações bioclimáticas na cidade de Bauru-SP” (adaptado de ENCAC99, 1999) .....	169
Fig. 5.16. Plantas das tipologias 2 e 3 dormitórios do projeto “Habitações bioclimáticas na cidade de Bauru – SP” (adaptado de ENCAC99, 1999) .....	170

**OBS.:** Todas as ilustrações com autorias não creditadas são do próprio autor.



## LISTA DE TABELAS

	pág
Tab. 1.01 Consumo de energia para a produção de 1 m <sup>3</sup> de componentes construtivos, de acordo com HIILTI (1996) e CARUANA (1990) .....	8
Tab. 1.02 Consumo de energia para a produção de diversos materiais de construção (adaptado de EARTH, 2002) .....	8
Tab. 1.03 Consumo de energia para a produção de 1 kg de diversos materiais de construção (traduzido de LE CENTRE DE LA CULTURE ET DES TECHNIQUES DE LA TERRE, 2002a) .....	8
Tab. 3.01. Variação temporal e espacial do Índice de Estado Trófico (IET) médio e classificação do Estado Trófico (ET), no reservatório de Salto Grande (adaptado de DORNFELD, 2002) .....	71
Tab. 3.02. Variação temporal e espacial das concentrações médias de nitrogênio orgânico total e fósforo total, na água do reservatório de Salto Grande (adaptado de DORNFELD, 2002) .....	71
Tab. 4.01. Quantidades de macrófitas coletadas em cada expedição. ....	80
Tab. 4.02. Sistema de classificação do H. R. B. (adaptado de CAPUTO, 1978). ....	96
Tab. 5.01. Biomassa por unidade de superfície (Bps), na coleta preliminar .....	125
Tab. 5.02. Biomassa por unidade de superfície (Bps), na primeira coleta .....	125
Tab. 5.03. Comparação dos resultados de biomassa por unidade de superfície (Bps) do presente trabalho* com os resultados médios de outros autores (no compartimento 1) .....	128
Tab. 5.04. Resultados do ensaio de determinação da umidade higroscópica (U <sub>hm</sub> ) .....	129
Tab. 5.05. Resultados do ensaio de determinação da massa específica aparente da macrófita triturada, úmida ( $\rho_{ap\ macr\ a\ U_{hm}}$ ) e seca ( $\rho_{ap\ macr\ seca}$ ) .....	129
Tab. 5.06. Concentração (P-TOT <sub>m</sub> ) e estoque (Es <sub>Pm</sub> ) de fósforo total nas macrófitas .....	131
Tab. 5.07. Concentração (NKT <sub>m</sub> ) e estoque (Es <sub>Nm</sub> ) de nitrogênio orgânico (Kjeldahl) total nas macrófitas .....	131
Tab. 5.08. Concentrações e estoques de nutrientes nas macrófitas, no compartimento 1. Resultados do presente trabalho <sup>1</sup> e de MORAES (1998) <sup>2</sup> .....	131

Tab. 5.09. Concentração ( $M_{p_m}$ , em mg/g) e estoque de metais ( $Es_{M_{p_m}}$ , em $g/m^2$ ) nas macrófitas aquáticas (com indicação de Bps abaixo do título de cada espécie) .....	134
Tab. 5.10. Estoque de metais ( $Es_{M_{p_m}}$ , em $g/m^2$ ) nas macrófitas aquáticas encontrados no presente trabalho <sup>1</sup> e por MORAES (1998), no compartimento 1 .....	135
Tab. 5.11. Concentração de metais pesados (mg/g) encontrados em <i>E. crassipes</i> e concentrações aceitáveis para água e solo não-poluídos e a dose letal (LD50) para mamíferos (adaptado de PINTO-COELHO & GRECO, 1998) .....	135
Tab. 5.12. Teor de umidade natural do solo ( $U_s$ ) .....	138
Tab. 5.13. Massa específica aparente do solo solto e úmido ( $\rho_{ap\ solo}$ ) .....	139
Tab. 5.14. Concentração ( $Conc_s$ ) e estoque ( $Ev_s$ ) de nutrientes e metais no solo, relativo à massa de solo seco .....	140
Tab. 5.15. Potencial hidrogeniônico do solo, medido em água destilada ( $pH_{H_2O}$ ) e em solução de cloreto de potássio ( $pH_{KCl}$ ) .....	141
Tab. 5.16. Resumo dos traços em volume ( $T_V$ ) e em massa ( $T_M$ ) .....	146
Tab. 5.17. Resumo dos teores de umidade de amassamento do barro ( $U_b$ ), com indicação do traço em volume ( $T_V$ ) de cada massada .....	146
Tab. 5.18. Teores de umidade de amassamento do barro ( $U_b$ ) para solos com diferentes teores de argila, indicados entre parênteses .....	148
Tab. 5.19. Resumo das retrações, linear (RL) e relativa média ( $RR_m$ ), com indicação do traço em volume ( $T_V$ ) de cada massada .....	150
Tab. 5.20. Retrações lineares (RL) para solos com diferentes teores de argila, indicados entre parênteses .....	151
Tab. 5.21. Massas específicas aparentes médias dos tijolos ( $\rho_{ap\ T}$ ) com indicação do traço em volume ( $T_V$ ) de cada massada .....	152
Tab. 5.22. Teor de umidade higroscópica ( $U_{hT}$ ) e absorção de água dos tijolos (AA), com indicação do traço em volume ( $T_V$ ) de cada massada .....	155
Tab. 5.23. Resistência à compressão, média, dos tijolos ( $f$ ) com indicação do traço em volume ( $T_V$ ) de cada massada .....	157
Tab. 5.24. Resistências à compressão ( $f$ ) e massa específica aparente de tijolos, para solos com diferentes teores de argila (indicados entre parênteses) .....	159
Tab. 5.25. Consumo de biomassa ( $C_{m1000}$ ), a equivalente área de superfície dos estandes de macrófitas ( $S_{m1000}$ ) e o consumo de solo solto em volume ( $CV_{s1000}$ à umidade natural) para a produção de um milheiro de adobe .....	162
Tab. 5.26. Encapsulamentos totais ( $Enc_{T1000}$ , em g) de nutrientes e metais, pelas macrófitas e pelo solo, para produção de 1.000 tijolos .....	166
Tab. 5.27. Crescimento médio do <i>Eucalyptus sp.</i> , com indicação do volume de tronco da árvore (adaptado de NAVARRO DE ANDRADE [1961?]) .....	168

Tab. 5.28. Dados do projeto, quantidades de tijolos e consumo de lenha para a produção dos tijolos comuns .....	170
Tab. 5.29. Quantidades de árvores de <i>Eucalyptus sp.</i> que podem ser poupadas, para as várias idades, com a substituição do tijolo comum pelo adobe .....	171
Tab. 5.30. Áreas de superfície do estande de macrófitas removidas ( $SR_{Proj}$ em $m^2$ ), com a substituição dos tijolos comuns por tijolos de adobe, para as duas tipologias de projeto (01 e 02 dormitórios) .....	172
Tab. 6.01 Resultados médios de resistência à compressão ( $f_c$ ), massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ) e absorção de água (AA), para tijolos cerâmicos alveolares (“baianos”) de 8 furos, procedentes de cerâmicas da região de Bauru-SP (FARIA, 2002) .....	179
Tab. 6.02 Resistência mínima à compressão ( $f_c$ ), para tijolos maciços cerâmicos, em relação à categoria, segundo NBR7170, ABNT (1983b) .....	179



## RESUMO

FARIA, O. B. (2002). **Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no Reservatório de Salto Grande (Americana-SP)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**E**ste trabalho busca otimizar a utilização de biomassa de macrófitas aquáticas na produção de adobe (tijolos de terra crua, secos ao sol), baseado na determinação e estudo de suas características físicas e mecânicas, assim como nas características físicas e químicas destas plantas. A pesquisa foi desenvolvida no reservatório de Salto Grande, no município de Americana - SP. Este lago está localizado em uma área com déficit de habitações de interesse social, apresentando altos índices de urbanização e industrialização, o que acarreta no seu avançado processo de eutrofização artificial, decorrente das ações antrópicas. As macrófitas aquáticas predominantes no reservatório (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*) apresentam níveis elevados de metais pesados e nutrientes (nitrogênio e fósforo), o que torna inviável sua utilização como forragem ou fertilizante. A utilização desta biomassa em materiais de construção é aqui apresentada como uma alternativa de manejo integrado do lago, na forma de encapsulamento (ou solidificação / estabilização) destas substâncias químicas, além de possibilitar a autoconstrução de habitações de baixo custo. Uma outra função do uso da biomassa no adobe é a estabilização do solo, que apresenta alto teor de argila (59 %, com 21 % de silte e 20 % de areia, classificado como A-7-6 HRB) e sofreria grandes retrações durante o processo de secagem, com surgimento de fissuras excessivas e conseqüente redução de resistência mecânica dos tijolos. A adição da biomassa contribuiu com a redução destas fissuras e da massa específica dos tijolos. Os resultados demonstraram ser esta utilização perfeitamente viável, com expressiva retirada de biomassa (juntamente com os metais e nutrientes) do sistema, além de significativas melhorias na qualidade do adobe, tanto físicas como mecânicas. Em linhas gerais, *Eichhornia crassipes* se mostrou a mais eficiente neste aspecto. Além de tudo, os resultados da pesquisa mostram que, apesar do adobe ser talvez o mais antigo material de construção manufaturado, sua aplicação se mostra perfeitamente viável, numa perspectiva mais ampla de sustentabilidade, se apresentando como um material completamente ecológico e adequado para regiões tropicais.

**Palavras-chave:** materiais de construção, construção em terra, adobe, macrófitas aquáticas, nutrientes, eutrofização de lagos, manejo integrado de reservatórios.





## ABSTRACT

FARIA, O. B. (2002). **Utilization of aquatic macrophytes in the adobe's production: a case study in the Salto Grande reservoir (Americana – SP)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**T**his work intends to optimise the utilization of aquatic macrophyte biomass in the adobe (a sun-dried mud brick) production, based on the study of the physical and mechanical characteristics of these bricks and the macrophytes biomass estimate as well as their chemical characteristics. The research was developed in the Salto Grande Reservoir region, in Americana (a town in São Paulo State, Brazil). This lake is located in an area of high urbanization and industrialization level, with common dwelling deficit, which is in advanced artificial eutrophication process by human activity action. The aquatic macrophytes found in that place (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) present a high level of heavy metals and nutrients that make impracticable their utilization as forage or fertilizer. The biomass utilization in the construction of materials appears here as an alternative of integrated management of the lake in the stabilization/solidification (or “encapsulation”) of these chemical substances, in addition to the fact that it makes possible the self-building of low cost dwellings. The other biomass function is to stabilize the soil that has a high clay concentration (59%, with 21% silt and 20% sandy) and would suffer a large drawing back during the drying process, with the introduction of excessive fissures. This biomass addition was made to reduce these fissures and the specific mass of the bricks. Besides, the research results show that, even though the adobe bricks are perhaps the oldest manufactured building material, their application persists practicable mainly in the sustainability hopes for being a completely ecological building material and adequate for the tropical regions.

**KEYWORDS:** building materials, earth construction, adobe, aquatic macrophytes, nutrients, lake eutrophication, integrated management of reservoirs.



## RÉSUMÉ

FARIA, O. B. (2002). **Utilization des macrophytes aquatiques pour la production d' adobe: une étude de cas à propos du réservoir du Salto Grande (Americana-SP, au Brésil)**. São Carlos, 200p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

**L**e travail qui est présenté furète l'utilisation optimale de biomasse des macrophytes aquatiques comme renforcement d' adobe (briques de terre crue, sechés au soleil). Cette étude est basée sur les caractéristiques physiques et mécaniques des briques et sur les physiques e chimiques des plantes. La recherche a été réalisée au réservoir du Salto Grande (à Americana, une ville de l'état São Paulo, au Brésil). Ce lac artificiel est situé dans une région avec déficit des habitations d'intérêt social, où les niveaux d'urbanisation et d'industrialisation sont très hauts, ce qui entraîne de leur avancé stade d'eutrophization artificiel, avec d'infestation par les macrophytes aquatiques, aussi pour conséquence des actions anthropiques. Les macrophytes les plus abondantes dans le réservoir (*Brachiaria arrecta*, *Eichhornia crassipes* et *Pistia stratiotes*) présentent hauts niveaux des métaux lourds et des éléments nutritifs (l'azote et le phosphore), ce qui se rend inviable leur utilisation comme fourrage ou pour la production des engrais. L'utilisation de cette biomasse dans la production des matériaux de construction est ici présenté comme une alternative de la gestion intégrée du lac, en produisant l'encapsulation de cettes substances chimiques, outre possibiliter l'autoconstruction des habitations en bas coût. Une outre fonction de l'addition de biomasse aux briques est la stabilisation du sol, qui présent haute pourcentage d'argile (59%, avec 21% silt et 20% sable, donc il est classé par A-7-6 HRB) et il sofras des grandes rétractions pendant la séchage, avec d'émergence des fissures excessives et, par conséquent, la réduction de la résistance mécanique des briques. L'addiction de biomasse a contribué à la réduction de ces fissures et de la masse spécifique des briques. Les résultats sont démontré que cette utilisation est admirablement viable, avec de significative remuement de biomasse (ci-joint des métaux et des éléments nutritifs) de l'écosystème et, en outre, significative amélioration des qualités physiques et mécaniques des briques. D'un point de vue général, *Eichhornia crassipes* s'est montrée d'être la plus efficiente à cet égard. Outre le fait que les résultats montrent que, encore que l'adobe soit le plus ancien des matériaux de construction, il se montre actuel et viable, comme un matériau pleinement écologique et approprié aux régions tropicaux.

**MOTS CLÉS:** matériaux de construction, construction en terre, adobe, macrophytes aquatiques, eutrophization des réservoirs, gestion intégrée des lacs.